

ลักษณะการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E20 E85 และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว

Characterization of E20 E85 Engine Wear and Lubricating Used Oil

พลเอก บุญยhem^{1*}, จินดา เจริญพรพาณิชย์¹ และ ปรีชา การินทร์²

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

² วิทยาลัยนานาชาติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

*ติดต่อ: อีเมล pol.lake.kmitl@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 088-0805535

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วเพื่อวิเคราะห์สภาพการสึกหรอของเครื่องยนต์ การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นและสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น รูปร่างของเศษโลหะในน้ำมันหล่อลื่นถูกวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายของชิ้นเศษโลหะและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งในการทดสอบใช้เครื่องยนต์ 4 กระบอกสูบ 16 วาล์ว i-VTEC น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E20 และ E85 น้ำมันหล่อลื่นมาตรฐาน 0W20 โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน การทดสอบแบบที่หนึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจากระบบที่ใช้งานจริงทุกระยะทาง 1,000 กม. จนถึง 10,000 กม. ในปริมาณ 80-100 มล. และการทดสอบแบบที่สองคือการทดสอบด้านไทรโบโลยีโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือโฟร์บอลซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อวัดคุณสมบัติการป้องกันการสึกหรอด้วยการปนเปื้อนของเขม่าที่จำลองโดยใช้คาร์บอนแบล็คและน้ำมันเชื้อเพลิงในน้ำมันหล่อลื่นเพื่อวิเคราะห์การสึกหรอของพื้นผิวลูกบอลเหล็ก

ผลการทดลองพบว่าปริมาณของโลหะที่สึกหรอมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นแต่ในทางตรงกันข้ามค่าความหนืดและค่าความเป็นด่างของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจะมีค่าลดลง นอกจากนี้ในการทดสอบโฟร์บอลพบว่าการสึกหรอของพื้นผิวลูกบอลเหล็กในน้ำมันหล่อลื่นที่มีการปนเปื้อนของคาร์บอนแบล็คและน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าการสึกหรอมากกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ไม่มีการปนเปื้อน

คำหลัก: น้ำมันหล่อลื่น, การสึกหรอ, เครื่องยนต์, ไทรโบโลยี, การทดสอบโฟร์บอล

Abstract

This research is studied to analyze the physical and chemical properties of the lubricant used to analyze the wear of engine, deterioration of the lubricant oil and contamination in the lubricating oil. The shapes of metals wear debris is investigated by ferrography and scanning on electron microscope. The engine is a 4-cylinder 16 valve i-VTEC used E20 and E85 fuel which has the viscosity grade SAE 0W20 used to testing and divided into two types; the first type is the samples of lubricating oil used from the vehicle actually at distance range of 1,000 to 10,000 km with quantity oil 80-100 ml. The second type is the tribology behavior which is studied by four ball test. It is used to measure the anti wear when mixing the fuel and carbon black to analyze wear surface of the steel ball.

The results showed that the quantities of metals wear has increased with in the intervals of the lubricating oil. In contrast, the viscosity value and total base number (TBN) are decreased. In addition, the four ball test showed that the wear in the surface of the steel ball in lubricating oil when mixing with fuel and carbon black wears more than the new oil.

Keywords: lubricant, wear, engine, tribology, four ball test

1. บทนำ

ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์สูญเสียพลังงานไปกับก๊าซไอเสีย (Exhaust) และการถ่ายเทความร้อน (Cooling) พลังงานกลที่ได้นั้นสูญเสียไปกับการเสียดทานในส่วนต่างๆ โดยเฉพาะภายในเครื่องยนต์ส่วนใหญ่เป็นการเสียดทานจากส่วนประกอบของลูกสูบ [1]

ขอบเขตของการหล่อลื่นนั้นแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือขอบเขตการหล่อลื่นแบบบาวนด์รี (boundary) แบบกึ่งสมบูรณ์ (Mixed) และแบบสมบูรณ์ (full-film) [1-2] พบว่าช่วงที่เริ่มสตาร์ทและดับเครื่องยนต์และปัจจัยของอุณหภูมิที่สูงมีผลทำให้ฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นบางลงจนอาจนำไปสู่การขาดการหล่อลื่นมักพบในขอบเขตการหล่อลื่นแบบบาวนด์รี [3]

กลไกการสึกหรอภายในเครื่องยนต์มีกลไกแบบยึดติด (adhesive wear) เกิดจากความหยาบหน้าผิวชิ้นงานฉีกขาดออกไปในขณะที่ชิ้นงานเคลื่อนที่ กลไกแบบขูดขีด (abrasive wear) เกิดจากเนื้อชิ้นงานถูกสารที่มีความแข็งสูงขูดขีดชิ้นงาน กลไกการสึกหรอแบบล้าตัว (fatigue wear) เกิดจากชิ้นงานมีการรับภาระเป็นวงรอบ (cycles) และเกิดรอยแตกและกลไกแบบกัดกร่อน (corrosive wear) เกิดจากชิ้นงานที่มีการขัดสีและเกิดผลพวงจากปฏิกิริยาเคมี [4-5] ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยเฟอโรโรกราฟฟีทำให้ทราบถึงลักษณะกลไกการสึกหรอจากเศษโลหะที่สึกหรอที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น [6-7]

การวิเคราะห์น้ำมันที่ใช้งานแล้วมี 3 ส่วนหลัก ส่วนที่หนึ่งการวิเคราะห์ถึงชนิดธาตุของการสึกหรอ (wear condition) เพื่อวิเคราะห์หาแหล่งที่มาปริมาณของเศษ

โลหะสึกหรอว่ามี การสึกหรอในปริมาณที่ปกติหรือผิดปกติ และรูปร่างหน้าตาของเศษโลหะสึกหรอ ส่วนที่สองการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของน้ำมันหล่อลื่น (oil condition) ในรูปของคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นเช่น ค่าความหนืด ค่าออกซิเดชัน ค่าไนเตรชัน ค่าความเป็นด่างในน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่สามการปนเปื้อน (contamination) สามารถปนเปื้อนได้ทั้งทางภายในและภายนอกเครื่องยนต์ ตัวอย่างการปนเปื้อนเช่น น้ำมันเชื้อเพลิง เขม่า ฝุ่นละออง น้ำ เป็นสาเหตุหนึ่งที่สำคัญที่ส่งผลต่อการสึกหรอภายในเครื่องยนต์และการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น [3] [8-9]

ดังนั้นการศึกษาคูณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างใช้งานในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและการวิเคราะห์การสึกหรอในเครื่องยนต์ดังกล่าวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อจะช่วยให้ทราบถึงกลไกที่ทำให้เกิดปัญหาและแนวทางการแก้ไข

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 เครื่องยนต์ น้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเชื้อเพลิง

งานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลจากรถยนต์ 1 คัน ก่อนทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นได้ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น เปลี่ยนไส้กรองอากาศและไส้กรองน้ำมันหล่อลื่น กำหนดให้รถคันนี้รอบแรกเติมน้ำมันเชื้อเพลิงเฉพาะ E20 จนถึงระยะเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นโดยเฉลี่ย 10,000 กม. และทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น เปลี่ยนไส้กรองอากาศและไส้กรองน้ำมันเครื่อง รอบสองเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงจาก E20 เป็น E85 ในการเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจะทำการเก็บตัวอย่างเมื่อทำการดับเครื่องยนต์ไปแล้ว 10 นาที ใช้ปั๊ม

สูญญากาศต่อเข้ากับสายดูดน้ำมัน เสียหายดูดน้ำมันหล่อลื่นเข้าทางช่องวัดระดับน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ เก็บตัวอย่างปริมาณ 80-100 มล. ต่อระยะทาง 1,000 กม. รายละเอียดเครื่องยนต์ น้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เครื่องยนต์ น้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเชื้อเพลิง

Engine type	4-cylinder,16-valve,SOHC i-VTEC
Displacement (CC)	1497
Bore x Stroke (mm)	73 x 89.4
Compression Ratio	10.3:1
Transmission	Automatic
Engine oil	SAE 0W20
Fuel	E20,E85

2.2 การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วทำการวิเคราะห์ดูจากการเปลี่ยนแปลงไปของคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งาน (new oil) การวิเคราะห์น้ำมันที่ใช้งานแล้วมี 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งการวิเคราะห์หลังชนิดธาตุของการสึกหรอ ส่วนที่สองการวิเคราะห์ความเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น ส่วนที่สามการปนเปื้อนแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีและมาตรฐาน

Physical/Chemical properties		Testing standard	Unit
Wear condition	Iron	ASTM D6595	PPM
	Chromium		
	Lead		
	Copper		
	Tin		
	Aluminum		
	Shape	Ferrogaphy	
Oil condition	Viscosity	ASTM D445	cSt
	TBN	ASTM D-4739	mgKOH/g
Contamination	Fuel	E2412M	% Wt
	Soot	E2412M	% Wt

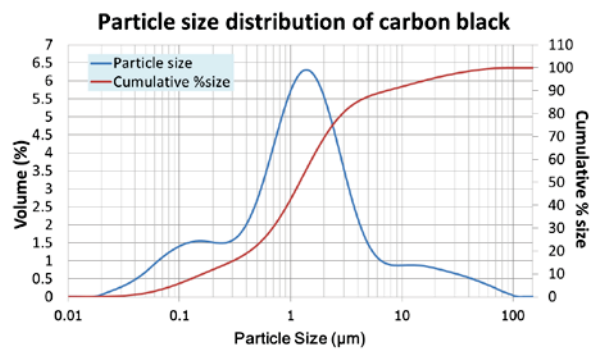
*TBN – ค่าความเป็นด่างของน้ำมันหล่อลื่น (Total Base Number)

2.3 การทดสอบด้วยโฟร์บอล

การทดสอบด้วยโฟร์บอลเป็นการทดสอบเพื่อวัดคุณสมบัติการป้องกันการสึกหรอ (anti wear) และภาระสูงสุดที่รับได้ (extreme pressure) ของน้ำมันหล่อลื่น ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบแบบวัดคุณสมบัติการป้องกันการสึกหรอของน้ำมันหล่อลื่นโดยนำลูกบอลเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มม. สามลูกแช่ลงในน้ำมันหล่อลื่นจนท่วมจับยึดแน่นไม่มีการเคลื่อนที่ กดลูกบอลเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มม. อีกลูกลงบนช่องว่างระหว่างลูกบอลสามลูกจะเกิดจุดผิวสัมผัสทั้งสามลูกด้วยแรง 394 นิวตัน ความเร็ว 1,200 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที เปรียบเทียบคุณสมบัติการป้องกันการสึกหรอโดยวิเคราะห์จากเส้นผ่านศูนย์กลางของแผลการสึกหรอ (scar) บนผิวลูกบอลเหล็กทั้งสามลูกด้านล่างที่เกิดจากการเสียดสีของลูกบอล ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบนี้มีด้วยกัน 4 ตัวอย่าง ประกอบด้วย น้ำมันหล่อลื่นที่ไม่มีการปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิงและเขม่า น้ำมันหล่อลื่นปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E20 1 %Wt. น้ำมันหล่อลื่นปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E85 1 %Wt. และน้ำมันหล่อลื่นปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E85 1 %Wt. กับคาร์บอนแบล็ค 1 %Wt.

2.4 เขม่า

เขม่าเกิดมาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะส่งผลทำให้มีปริมาณเขม่าสูงผิดปกติ เขม่าเข้ามาปนเปื้อนในอ่างน้ำมันหล่อลื่นได้โดยวิธีโบลบายซึ่งจะส่งผลให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็วทำให้เกิดคราบสกปรกตกตะกอนในระบบ เกิดการอุดตันในไส้กรองและการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆในเครื่องยนต์ ในเขม่าประกอบไปด้วย คาร์บอน 90 % ออกซิเจน 4 % ไฮโดรเจน 3 % และธาตุอื่นๆ 3 % ในงานวิจัยนี้จะจำลองการปนเปื้อนเขม่าโดยใช้คาร์บอนแบล็ค เนื่องจากอนุภาคของคาร์บอนแบล็คมีขนาดและรูปร่างที่มีความคล้ายคลึงกับอนุภาคของเขม่า [10] คาร์บอนแบล็คมีขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสดงขนาด (μm) และการกระจายตัวของอนุภาคของคาร์บอนแบล็ค (volume%)

“รูปที่ 1” กราฟแสดงขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของคาร์บอนแบล็คด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนแสง คาร์บอนแบล็คมีขนาด 0.03-108 ไมโครเมตร สารปรุงแต่งขยายเข้ามาในน้ำมันหล่อลื่นจะเสื่อมสภาพเร็วขึ้นถ้ามีการปนเปื้อนเข้ามาที่จับตัวเป็นก้อนขนาดมากกว่า 1 ไมโครเมตร [3,10] และจะส่งผลต่อการสึกหรอมากขึ้น จะเห็นได้ว่าคาร์บอนแบล็คมีขนาดมากกว่า 1 ไมโครเมตรมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

2.5 รูปร่างของเศษโลหะและพื้นผิว

การวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายของชิ้นเศษโลหะ (Ferrography) เป็นการตรวจเช็คน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้วโดยใช้หลักการผ่านตัวอย่างน้ำมันไปบนแผ่นสไลด์ที่มีแม่เหล็กแรงสูงวางอยู่ ซึ่งแม่เหล็กจะดูดเหล็กตามขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็ก ชิ้นเศษโลหะขนาดใหญ่จะอยู่บริเวณด้านบนของสไลด์ ชิ้นเศษโลหะขนาดเล็กจะอยู่บริเวณด้านล่างของสไลด์ การวิเคราะห์ทำให้ทราบถึงลักษณะอนุภาคเศษโลหะสึกหรอรูปแบบการสึกหรอและสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อน

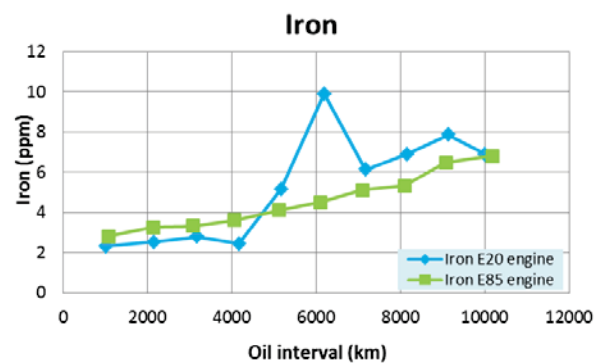
การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ใช้หลักการการยิงลำอิเล็กตรอนบนผิวตัวอย่าง บริเวณที่ถูกลำอิเล็กตรอนจะเกิดสัญญาณซึ่งสัญญาณจะถูกแปลงเป็นภาพบนจอรับภาพ ในงานวิจัยนี้ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดวิเคราะห์

ภาพถ่ายเศษโลหะในไส้กรองน้ำมันหล่อลื่นและผลการสึกหรอ (scar) บนผิวลูกบอลเหล็ก

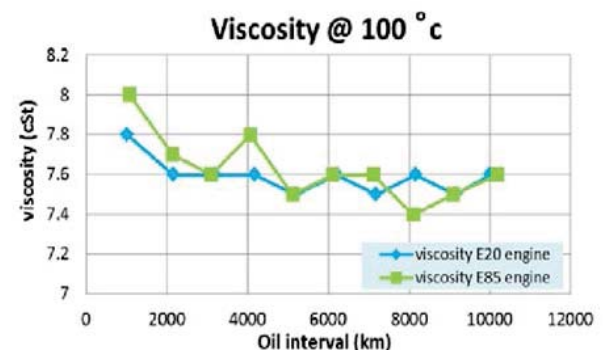
3. ผลการทดลองและอธิบาย

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันหล่อลื่น

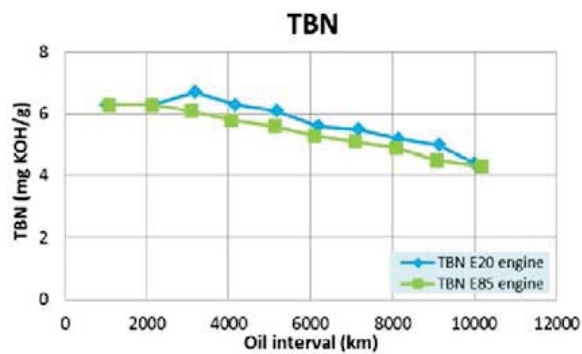
น้ำมันหล่อลื่นหลังจากใช้งานแล้วมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งาน เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเติมน้ำมันเชื้อเพลิง E20 ที่ระยะอายุรถ 22,878 km. ในรอบแรกและเปลี่ยนมาเติมน้ำมันเชื้อเพลิง E85 ที่ระยะอายุรถ 32,951 km. ในรอบที่สอง น้ำมันหล่อลื่นทั้งคู่มีการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีตามอายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นตามรูปที่ 2-6



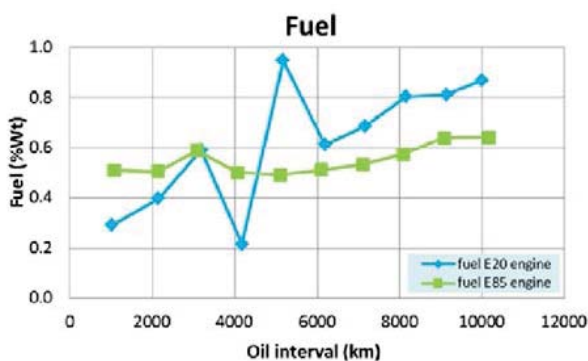
รูปที่ 2 กราฟแสดงปริมาณของเหล็ก (ppm) ในน้ำมันหล่อลื่นและอายุของน้ำมันหล่อลื่น (km)



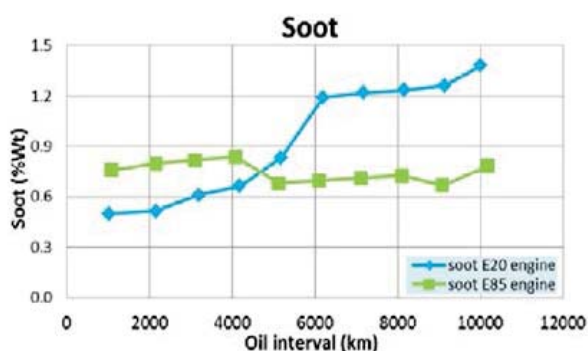
รูปที่ 3 กราฟแสดงความหนืด (cSt) ในน้ำมันหล่อลื่นและอายุของน้ำมันหล่อลื่น (km)



รูปที่ 4 กราฟแสดงค่าความเป็นด่าง (mgKOH/g) ในน้ำมันหล่อลื่นและอายุของน้ำมันหล่อลื่น (km)



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง (%Wt) ในน้ำมันหล่อลื่นและอายุของน้ำมันหล่อลื่น (km)



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าการปนเปื้อนของเขม่า (%Wt) ในน้ำมันหล่อลื่นและอายุของน้ำมันหล่อลื่น (km)

“รูปที่ 2” การตรวจวิเคราะห์ธาตุด้วยสเปกโตรมิเตอร์สามารถตรวจวัดธาตุต่างๆได้ตามความยาวคลื่น เช่น เหล็ก โครเมียม ตะกั่ว ฯลฯ แต่โดยทั่วไปในการเสียหายนภายในเครื่องยนต์ส่วนใหญ่เป็นการเสียหายนจาก

ส่วนประกอบของลูกสูบ เช่น แหวนลูกสูบสัมผัสกับผนังกระบอกสูบซึ่งจะมีการสึกหรอมากตอนช่วงจังหวะจุดระเบิดของเครื่องยนต์เพราะว่าเป็นช่วงที่ฟิล์มน้ำมันบางสุด ซึ่งชิ้นส่วนของแหวนลูกสูบ กระบอกสูบ ลูกสูบ มีธาตุองค์ประกอบหลักเป็นเหล็ก ในกราฟจะเห็นว่าหลังจากช่วงอายุน้ำมันหล่อลื่น 4,000 km. เครื่องยนต์ที่เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E20 มีปริมาณการสึกหรอของเหล็กมากกว่าเครื่องยนต์ที่เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E85 เนื่องจากการปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิงและเขม่ามากกว่าเพราะน้ำมันเชื้อเพลิงจะไปทำลายชั้นฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นและเขม่าจะไปปิดกั้นการเข้าทำหน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่นทำให้ชิ้นงานสัมผัสกันโดยตรงและเขม่ายังเข้าไปอุดตันชิ้นงานอีกด้วย

“รูปที่ 3” ในกราฟจะเห็นได้ว่ามีค่าความหนืดลดลงทั้งคู่ตามอายุน้ำมันหล่อลื่นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมาจากการปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง

“รูปที่ 4” ในกราฟจะเห็นได้ว่าค่าความเป็นด่างในน้ำมันหล่อลื่นลดลงทั้งคู่ตามอายุน้ำมันหล่อลื่นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทั้งคู่อาจเกิดจากการเล็ดลอดของก๊าซไอเสียจากกระบวนการเผาไหม้ผ่านทางแหวนลูกสูบ

“รูปที่ 5” ในกราฟจะเห็นได้ว่าเครื่องยนต์ที่เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E20 และ E85 มีการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นทั้งคู่ตามอายุน้ำมันหล่อลื่นที่เพิ่มขึ้น แต่เครื่องยนต์ที่เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E20 หลังจากช่วงอายุน้ำมันหล่อลื่น 4,000 km. มีอัตราการปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงมากกว่าเครื่องยนต์ที่เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E85 การปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิงส่งผลต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นลดลง

“รูปที่ 6” ในกราฟจะเห็นได้ว่าเครื่องยนต์ที่เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E20 มีอัตราการมีการปนเปื้อนเขม่ามากกว่าเครื่องยนต์ที่เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E85 เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนผสมเอทานอลที่น้อยกว่าจะปล่อยเขม่าออกมามากกว่า

3.2 ภาพถ่ายของชิ้นโลหะ

“รูปที่ 7” ภาพถ่ายเศษโลหะสึกหรอที่ระยะ 10,000 กม.ของเครื่องยนต์เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E20 ภาพ a) ภาพถ่ายเพอร์โรกราฟที่มีเศษโลหะการสึกหรอแบบขีดถูแบบปกติขนาด 2-3 ไมโครเมตร โดยเฉลี่ย 55% การสึกหรอแบบล้าตัวของแบริ่งขนาด 5-20 ไมโครเมตร โดยเฉลี่ย 15% และมีการสึกหรอแบบตัดเฉือนขนาด 40 ไมโครเมตร โดยเฉลี่ย 5% ภาพ b) ภาพถ่ายไส้กรองน้ำมันเครื่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ลักษณะของเศษโลหะการสึกหรอแบบก้อนหรือแผ่นขนาดใหญ่จากกลไกการล้าตัวมีขนาดโดยประมาณ 230 ไมโครเมตร ผิวหน้าไม่เรียบซึ่งเกิดจากการรับภาระเป็นวงรอบและมีคราบสีน้ำตาลปกคลุมเกิดจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นและได้รับความร้อน ตรงคราบสีน้ำตาลมีเม็ดกลมสีขาวติดอยู่อาจจะเป็นฝุ่นละออง อนุภาคสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนมาจากสิ่งแวดล้อมภาพ c) ภาพถ่ายไส้กรองน้ำมันเครื่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ลักษณะของเศษโลหะการสึกหรอแบบก้อนหรือแผ่นขนาดใหญ่จากกลไกการล้าตัวมีขนาดโดยประมาณ 15 ไมโครเมตร เกิดจากการรับภาระเป็นวงรอบและมีคราบเขม่าที่ติดตามเส้นใยไส้กรองโดยทั่ว

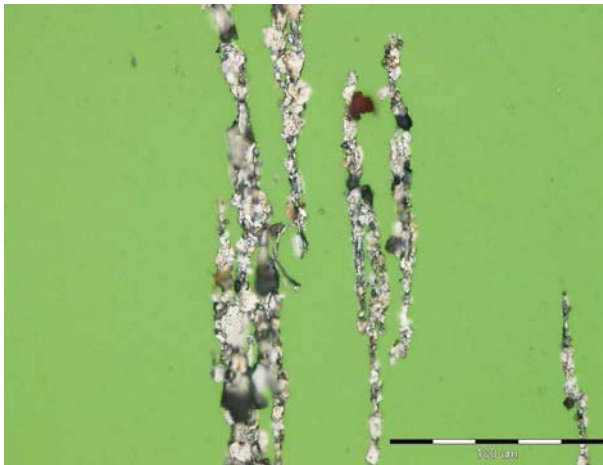
ภาพถ่ายเศษโลหะสึกหรอที่ระยะ 10,000 กม.ของเครื่องยนต์เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E85 ภาพ a) ภาพถ่ายเพอร์โรกราฟที่มีเศษโลหะการสึกหรอแบบขีดถูแบบปกติขนาด 2-3 ไมโครเมตร โดยเฉลี่ย 80% การสึกหรอแบบล้าตัวของแบริ่งขนาด 5-20 ไมโครเมตร โดยเฉลี่ย 10% ภาพ b) ภาพถ่ายไส้กรองน้ำมันหล่อลื่นด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ลักษณะของเศษโลหะการสึกหรอแบบเส้นไถลมีขนาดโดยประมาณ 150 ไมโครเมตร ลักษณะของผิวหน้ามีลักษณะของเส้นตรงลากผ่านผิวหน้าโดยทั่วซึ่งเกิดจากสภาพของผิวชิ้นงานเส้นไถลอย่างรุนแรงภายใต้ภาระสูงและความเร็วสูง ภาพ c) ภาพถ่ายไส้กรองน้ำมันหล่อลื่นด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ลักษณะของเศษโลหะการสึกหรอจากกลไกการล้าตัวมีขนาดโดยประมาณ 29 ไมโครเมตร

3.3 การทดสอบด้วยโฟร์บอล

“รูปที่ 8-9” ภาพถ่ายผลการสึกหรอ (scar) บนลูกบอลเหล็กด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่มีฟังก์ชันวัดเส้นผ่านศูนย์กลางพร้อมกับความหยาบของผลการสึกหรอและกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดตามลำดับ ภาพ a) น้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานมีเส้นผ่านศูนย์กลางของผลการสึกหรอบนลูกบอลเหล็กทั้งสามลูกเฉลี่ย 494 ไมโครเมตร ความหยาบของผิวเฉลี่ย 0.760 ไมโครเมตร และมวลที่หายไปของลูกบอลเหล็กทั้งสามลูกที่ชั่งก่อนและหลังทดสอบมีค่า 0.3 มิลลิกรัม ภาพ b) ปนเปื้อนน้ำมันน้ำมันเชื้อเพลิง E20 ในน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานมีเส้นผ่านศูนย์กลางของผลการสึกหรอเฉลี่ย 366 ไมโครเมตร ความหยาบของผิวเฉลี่ย 0.440 ไมโครเมตร และมวลที่หายไปมีค่า 0.4 มิลลิกรัม ภาพ c) ปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E85 ในน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานมีเส้นผ่านศูนย์กลางของผลการสึกหรอเฉลี่ย 529 ไมโครเมตร ความหยาบของผิวเฉลี่ย 0.800 ไมโครเมตร และมวลที่หายไปมีค่า 0.8 มิลลิกรัม ภาพ d) ปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E85 และคาร์บอนแบล็คในน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานมีเส้นผ่านศูนย์กลางของผลการสึกหรอเฉลี่ย 506 ไมโครเมตร ความหยาบของผิวเฉลี่ย 0.970 ไมโครเมตร และมวลที่หายไปมีค่า 0.5 มิลลิกรัม จะเห็นได้ว่าลูกบอลเหล็กมีการสึกหรอทั้งแบบยึดติด ขูดขีดและการล้าตัว การสึกหรอแบบล้าตัวเห็นได้อย่างชัดเจนในผลการทดสอบที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E20 ในน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานมีลักษณะเป็นหลุม เพราะบริเวณนั้นมีการรับภาระเป็นวงรอบ

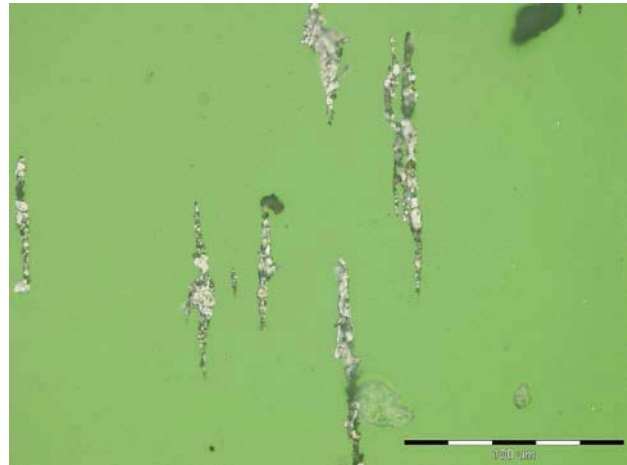
“รูปที่ 10” ในกราฟจะเห็นได้ว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานมีค่าแรงเสียดทานด้านการหมุน (friction torque) เฉลี่ย 5.48 N.mm การปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E20 E85 ในน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานมีค่าแรงเสียดทานด้านการหมุน เฉลี่ย 7.35 N.mm 11.92 N.mm ตามลำดับ และการปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E85 และคาร์บอนแบล็คในน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานมีค่าแรงเสียดทานด้านการหมุนเฉลี่ย 6.06 N.mm การปนเปื้อน

เครื่องยนต์เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E20

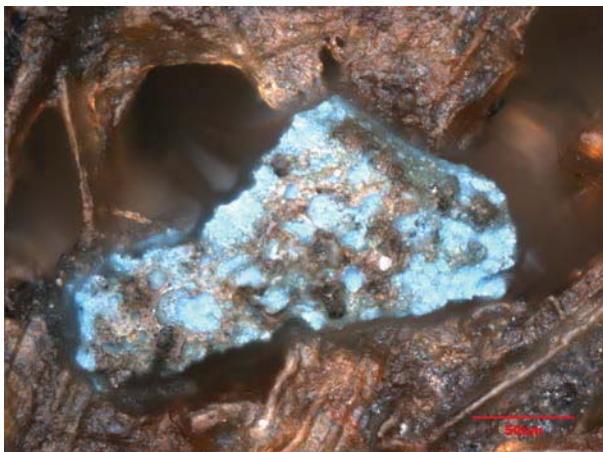


(a)

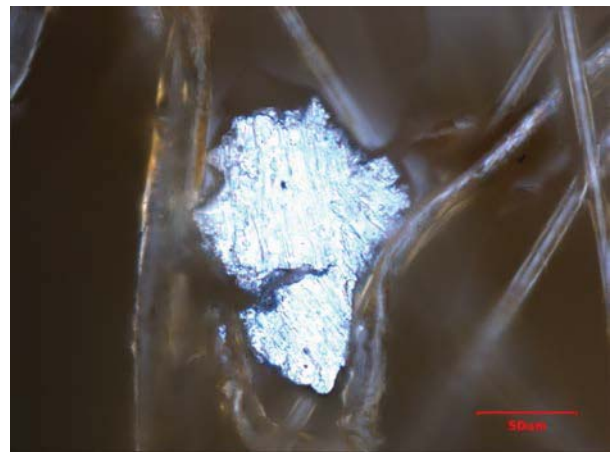
เครื่องยนต์เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E85



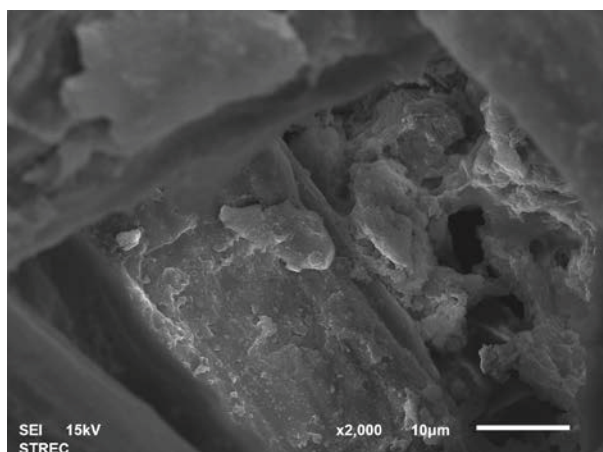
(a)



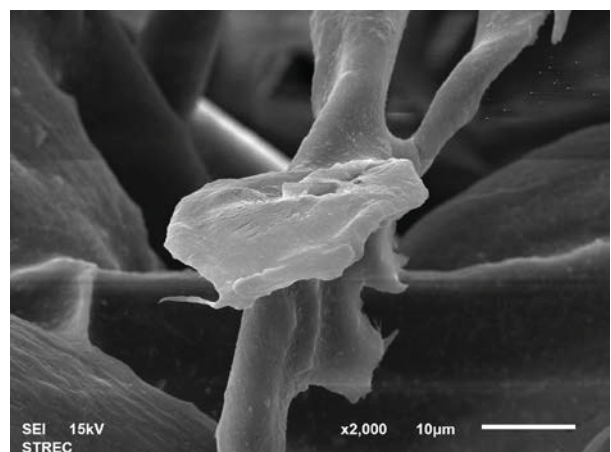
(b)



(b)

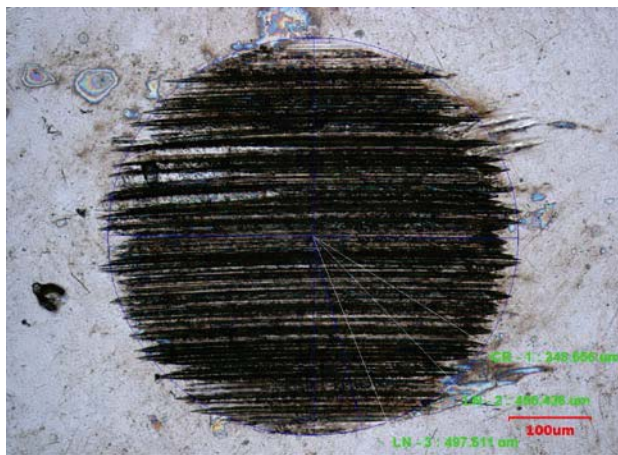


(c)

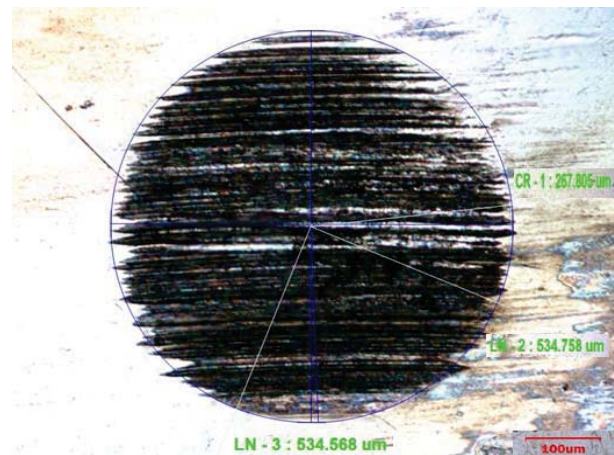


(c)

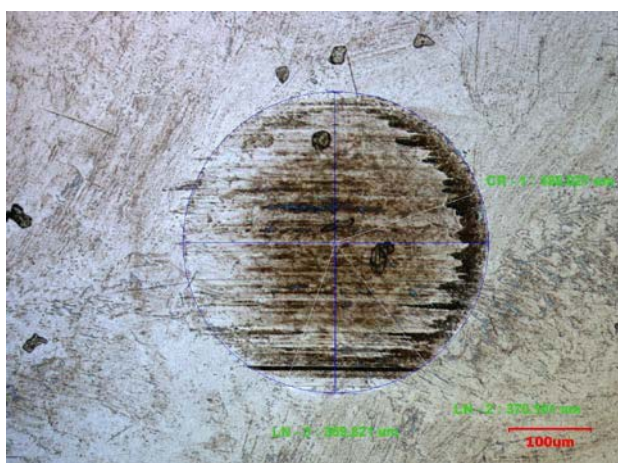
รูปที่ 7 ภาพถ่ายเศษโลหะสีกรรณที่ระยะ 10,000 กม.ของเครื่องยนต์เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E20 E85 a) ภาพถ่ายเพอร์โรกราฟฟี่ที่กำลังขยาย 500X b) ภาพถ่ายไส้กรองน้ำมันเครื่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยาย 500X c) ภาพถ่ายไส้กรองน้ำมันเครื่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 2,000X



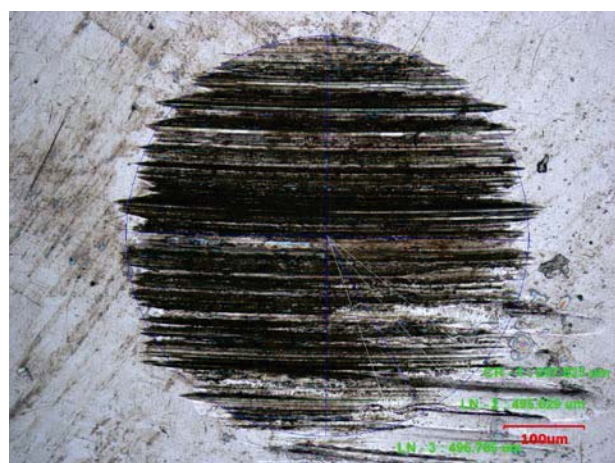
(a)



(c)

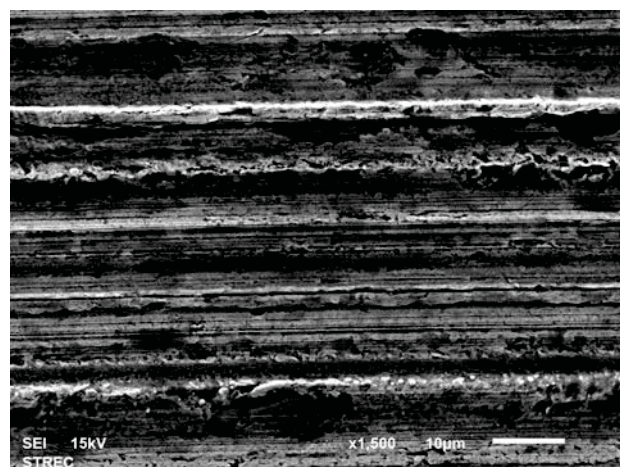
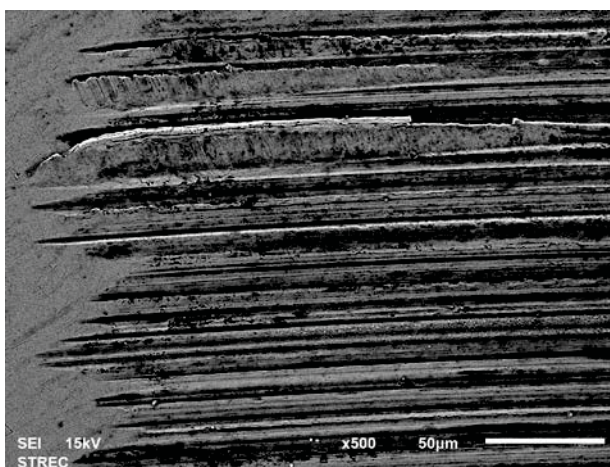


(b)

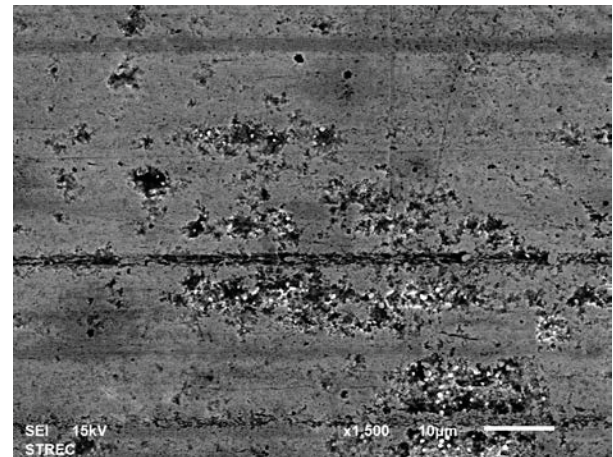
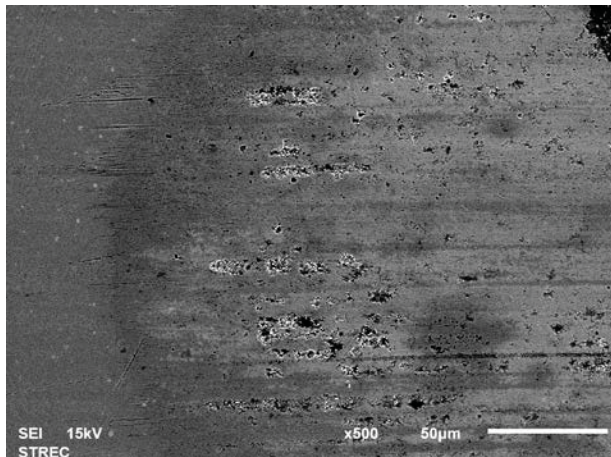


(d)

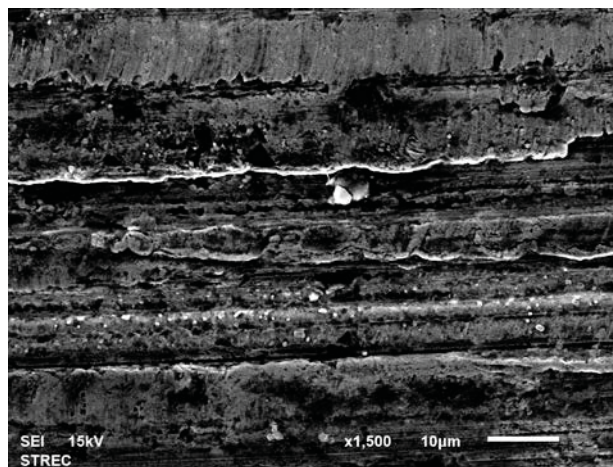
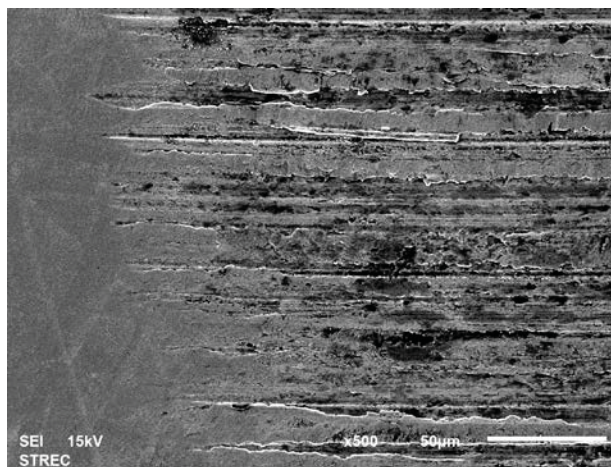
รูปที่ 8 ภาพถ่ายผลการสึกหรอ(scar) บนลูกบอลเหล็กด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง a) new oil ที่กำลังขยาย 200X
b) New oil+E20 ที่กำลังขยาย 200X c) New oil+E85ที่ กำลังขยาย 200X d) New oil+E85+คาร์บอนแบล็ค
ที่กำลังขยาย 200X



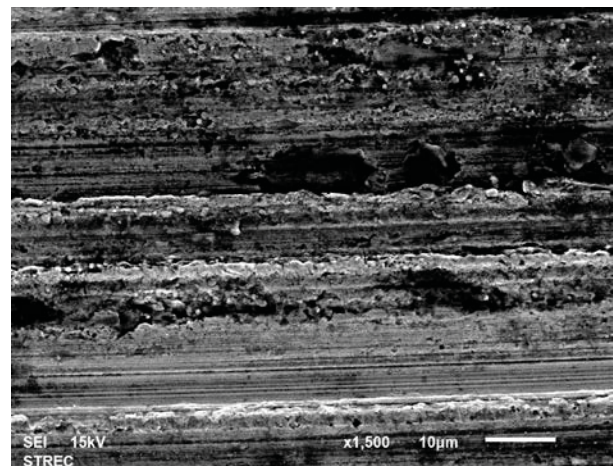
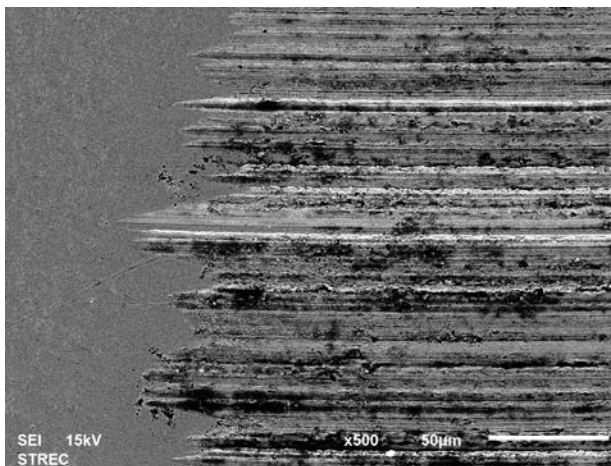
(a)



(b)



(c)

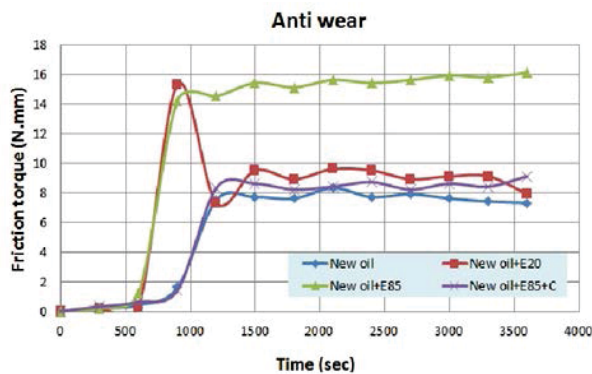


(d)

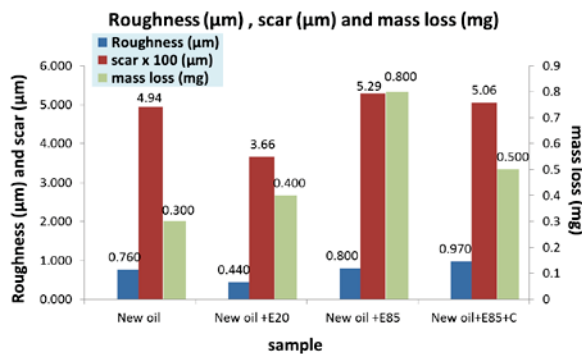
รูปที่ 9 ภาพถ่ายผลการสึกหรอ(scar) บนลูกบอลเหล็กด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500X 1,500X ตามลำดับ a) New oil b) New oil+E20 c) New oil+E85 d) New oil+E85+คาร์บอนแบล็ค

น้ำมันเชื้อเพลิง E85 มีค่าแรงเสียดทานด้านการหมุนที่สูงกว่า E20 ถึง 4.57 N.mm และสูงกว่าที่มีน้ำมันเชื้อเพลิงกับคาร์บอนแบล็คปนเปื้อน 5.86 N.mm

ค่าแรงเสียดทานด้านการหมุนของน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานมีค่าต่ำที่สุด



รูปที่ 10 กราฟแสดงค่า friction torque (N.mm) และ เวลาที่ทำการทดสอบ (วินาที)



รูปที่ 11 กราฟแสดงค่าของเส้นผ่าศูนย์กลางแผลสึกหรอ (μm) ความหยาบของแผลการสึกหรอ (μm) มวลที่หายไป (mg) ของแต่ละตัวอย่างการทดสอบ

“รูปที่ 11” ในกราฟเห็นได้ว่าการปนเปื้อนของ น้ำมันเชื้อเพลิง E85 สึกหรอมากกว่า E20 เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางแผลสึกหรอของบอลเหล็กใหญ่กว่า 163 ไมครอน ซึ่งค่าแรงเสียดทานด้านการหมุนของ E85 มากกว่า E20 เพราะน้ำมันหล่อลื่นที่ทำหน้าที่ในการปกป้องผิวสัมผัสกันของชิ้นงานมีความเสื่อมสภาพไปจึงทำให้ผิวชิ้นงานสัมผัสกันโดยตรง ทำให้เกิดการสึกหรอและความหยาบของผิวลูกบอลเหล็กที่สึกหรอของ E85 มีค่าความหยาบเกือบ 2 เท่าของผิวลูกบอลเหล็กที่สึกหรอของ E20

การจำลองการปนเปื้อนเขม่าโดยใช้คาร์บอนแบล็ค ที่ปนเปื้อนด้วยกับน้ำมันเชื้อเพลิง E85 ในน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานมีผลทำให้ค่าความหยาบของผลการสึก

หรอบนผิวลูกบอลเหล็กมีค่าความหยาบสูงมากกว่า ตัวอย่างที่ปนเปื้อนเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว อาจจะเป็นเพราะคาร์บอนแบล็คมีการเกาะตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ที่มีความสูงมากกว่าความหนาของฟิล์ม น้ำมันทำให้เกิดการสึกหรอแบบขูดขีดได้และมันอาจจะเข้าไปปิดกั้นการเข้าไปทำงานของน้ำมันหล่อลื่นส่งผลให้ผิวชิ้นงานสัมผัสกันมากยิ่งขึ้น เส้นผ่านศูนย์กลางของผลการสึกหรอของการปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E85 ด้วยกับคาร์บอนแบล็คและปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E85 เพียงอย่างเดียวมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน

4. สรุป

- ปริมาณของเศษโลหะเหล็กมีปริมาณมากขึ้นตามอายุของน้ำมันหล่อลื่นที่เพิ่มสูงขึ้นและปริมาณของเศษโลหะเหล็กมีความสัมพันธ์แปรตามกับการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงและเขม่า ยิ่งปนเปื้อนมากปริมาณของเศษโลหะเหล็กก็เพิ่มมากขึ้นด้วย

- เครื่องยนต์ที่เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E85 มีปริมาณการปนเปื้อนเขม่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E20 แต่ค่าความเป็นด่างในน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E85 มีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E20

- เศษโลหะสึกหรอที่ตรวจพบโดยภาพถ่ายเฟอโรโกราฟีส่วนใหญ่พบการสึกหรอแบบขูดขีดแบบปกติมีขนาดโดยเฉลี่ย 2-3 ไมครอนเมตร

- การทดสอบโฟร์บอล ตัวอย่างที่ปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E85 ในน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานมีเส้นผ่านศูนย์กลางผลการสึกหรอและค่าแรงเสียดทานด้านการหมุนมากกว่าที่ปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E20

- การทดสอบโฟร์บอล ตัวอย่างที่ปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E85 ด้วยกับคาร์บอนแบล็ค ในน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ได้ใช้งานมีความหยาบของผิวผลการสึกหรอมากกว่าตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E20

และ E85 แต่ค่าแรงเสียดทานด้านการหมุนน้อยกว่า
ตัวอย่างที่ปนเปื้อนน้ำมันเชื้อเพลิง E20 และ E85

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบคุณ FOCUSLAB Ltd. ห้องแลป
ปฏิบัติการวิเคราะห์สำหรับความช่วยเหลือในการ
วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันและชุดอุปกรณ์ในการจัดเก็บ
ตัวอย่าง, เจ้าของรถที่อนุญาตให้ทำการเก็บผลตัวอย่าง,
ทุนสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) และ ทุน
สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (EPPO) สำหรับ
เงินทุนในการทำงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Simon C. Tung and George E. Totten, Editors. Automotive Lubricants and Testing. ASTM Stock Number: MNL62. U.S.A
- [2] Syed Q. A. Rizvi, Ph.D. A Comprehensive Review of Lubricant Chemistry Technology Selection and Design. "ASTM stock number: MNL59". ISBN 978-0-8031-7000-1. Printed in the U.S.A.
- [3] James A. Addison, William M. Needelman. DIESEL ENGINE LUBRICANT CONTAMINATION AND WEAR. Pall Corporation 30 Sea Cliff Avenue Glen Cove, NY 11542.
- [4] สุรพล ราชภรณ์นัย(2549).วิศวกรรมกรรมการหล่อลื่นเบื้องต้น, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2549
- [5] ปณิดดา นิรนาทล้ำพงศ์ และคณะ(2547). การสึกหรอในอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2547
- [6] Al-Osaimy A.S., Elhabib O.A. and Ali W.Y. Inspecting metallic wear particles lubricating automotive engine oils contaminating. International journal of control, automation and systems. Vol.2, no.3. October 2013.

[7] Om Prakash Sondhiya, Amit Kumar Gupta. Wear debris analysis of automotive engine lubricating oil using by ferrography. International journal of engineering and innovative technology (IJEIT). Volume 2, issue 5. November 2012

[8] H. KALELI, E. YILDIRIM .Determination of Oil Drain Period in Naval Ship Diesel Engine. Tribology in industry, Volume 30, No. 3&4, 2008, pp. 21-30.

[9] Hakan Kaleli, Used Oil Analysis and Study of Oil Drain Period in Gasoline Engine. ISSN 0148-7191 Copyright 1998 Society of Automotive Engineers, Inc.

[10] D A Green and R Lewis. The effects of soot-contaminated engine oil on wear and friction a review. DOI:10.1243/09544070 JAUTO468. Proc. IMechE Vol. 222 Part D: J. Automobile Engineering.

[11] สถาพร เชื้อเพ็ง. ความเข้ากันได้ของวัสดุชิ้นส่วนยานยนต์กับเชื้อเพลิงผสมเอทานอล-แก๊สโซลีน (อี85), ฉบับที่ 70 ปีที่ 22 พฤศจิกายน 2552 - มกราคม 2553, หน้า 33-44

[12] Charlotte Besser. Investigation of long-term engine oil performance using lab-based artificial ageing illustrated by the impact of ethanol as fuel component. Tribology International, Volume 30, 46 (2012), pp174-182.

[13] Focuslab (2016). Oil Analysis-level 2.

[14] Thanant Sirisithichote. Wear debris.