

ผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลต่อค่าควันดำและคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่น ในเครื่องยนต์เกษตรขนาดเล็กชนิดห้องเผาไหม้ลว่งหน้า

คณิต วัฒนวิเชียร¹ พิชญ์ ปริญญารักษ์²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

โทร 0-2218-6607 โทรสาร 0-2252-2889 E-mail: wkanit@chula.ac.th¹, nongpich@yahoo.com²

Kanit Wattanavichien¹ Pich Prinyachan²

Internal Combustion Engine Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering,

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,

Bangkok, 10330, THAILAND

Phone: +66-2218-6607, Fax: +66-2252-2889, E-mail: wkanit@chula.ac.th¹, nongpich@yahoo.com²

บทคัดย่อ

การนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมาใช้งานทดแทนน้ำมันดีเซลอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กนอกจากจะก่อให้เกิดความผิดปกติกับชุดหัวฉีดซึ่งส่งผลทำให้เกิดลักษณะการเผาไหม้ที่ผิดปกติอันเป็นสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของค่าควันดำแล้วยังมีผลกระทบต่อสมรรถนะ และการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์อีกด้วย บทความนี้จะนำเสนอผลการวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบจากการจำลองการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล (น้ำมันปาล์มดิบ 10 ส่วนต่อน้ำมันดีเซล 90 ส่วนโดยปริมาตร) กับเครื่องยนต์เกษตรขนาดเล็กชนิดห้องเผาไหม้ลว่งหน้าภายใต้วัฏจักรภาระที่กำหนดต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 320 ชั่วโมง โดยการเฝ้าติดตามตรวจวัดค่าควันดำ สภาพคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น ปริมาณโลหะตกค้างในน้ำมันหล่อลื่นโดยการสุ่มตัวอย่างอย่างต่อเนื่องตลอดการทดสอบ ซึ่งการจำลองสภาวะการทำงานดังกล่าวจะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใหม่ตามข้อแนะนำของผู้ผลิตคือที่ชั่วโมงการทำงานที่ 100 และ 210 และ 320 และนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลปกติภายใต้วัฏจักรภาระที่กำหนดต่อเนื่องเดียวกัน พร้อมผลการเปรียบเทียบน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ และผลการตรวจพินิจสภาพการสึกหรอชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่สภาวะก่อนและหลังทำการทดสอบ เพื่อประกอบผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น ปริมาณโลหะตกค้างและผลวิเคราะห์พฤติกรรมการสึกหรอจากภาพถ่ายของอนุภาคที่พบในน้ำมันหล่อลื่นและจากกระบวนการเฟอโรกราฟีตลอดช่วงการทดสอบ

ผลจากการเฝ้าติดตามซึ่งพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล มีปริมาณควันดำเพิ่มขึ้นตามชั่วโมงการทำงานและสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล การสุ่มวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นพบความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นมีค่าเกินระดับการเตือนขั้นวิกฤตในชั่วโมงการใช้งาน

น้ำมันหล่อลื่นที่ 100 และ 110 พบปริมาณโลหะตกค้างในน้ำมันหล่อลื่นสูงกว่าและมีค่าสูงเพิ่มขึ้นเมื่อใกล้จุดสิ้นสุดอายุ น้ำมันหล่อลื่นคือ 100 ชั่วโมงในทุกค่าที่ทำการตรวจวัด และพบปริมาณเหล็กและตะกั่วในปริมาณที่สูงมากเมื่อใช้งานเกินอายุน้ำมันหล่อลื่น และพบสภาพการสึกหรอในแบริ่งก้านสูบ อีกด้วย จากการตรวจพินิจยังพบปริมาณเขม่าจับตัวหนาที่ปลายหัวฉีด ตลอดจนพบปริมาณตะกอนตกค้างในกระบอกไสลกรองน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณที่มากกว่าเมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซล และพบคราบตะกอนสีแดงส้มที่ผนังฝาสูบของเครื่องยนต์อีกด้วย สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญที่ช่วยในการพัฒนาน้ำมันหล่อลื่น พัฒนาเครื่องยนต์และปรับปรุงคู่มือบำรุงรักษาเพื่อรองรับการนำเชื้อเพลิงทดแทนดังกล่าวมาใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

1. บทนำ

เนื่องจากราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ประชาชนจำนวนมากหันมาสนใจนำน้ำมันพืชโดยเฉพาะน้ำมันปาล์มดิบซึ่งหาได้ในประเทศและมีราคาถูกกว่ามาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลเพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดปริมาณการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ แต่การนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้งานยังขาดการวิเคราะห์หาหลักเกณฑ์ในการใช้งานเพื่อลดและควบคุมผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อเครื่องยนต์และปริมาณควันดำจากแก๊สไอเสียให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม บทความนี้จะนำเสนอผลการศึกษาถึงวิธีการและสัดส่วนที่เหมาะสมของการผสมน้ำมันปาล์มดิบเข้ากับน้ำมันดีเซลเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลผลกระทบระยะยาวที่เกิดขึ้นจากการนำน้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันดีเซลมาใช้อย่างต่อเนื่องในเครื่องยนต์เกษตรขนาดเล็กชนิดห้องเผาไหม้ลว่งหน้า ในด้านปริมาณควันดำที่เปลี่ยนแปลงและด้านการสึกหรอของเครื่องยนต์ซึ่งประเมินจากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นเปรียบเทียบกับผลจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลปกติ

การนำน้ำมันพืชมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นกระทำได้หลายรูปแบบ โดยวิธีการหลักที่นิยมใช้มี 4 วิธี [1] คือ การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรง การลดความหนืดของน้ำมันพืชโดยการผสมตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์ น้ำมันดีเซล (Micro-emulsification) การแปลงโมเลกุลของไขมันในน้ำมันพืชให้เป็นเอสเตอร์ (Transesterification) และการทำให้โมเลกุลแตกตัวเพื่อให้น้ำมันดีเซลโดยการให้ความร้อนหรือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Cracking or Pyrolysis) [2], [3] เป็นต้น การนำมาใช้อาจจะใช้แทนน้ำมันดีเซลทั้งหมดหรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลเพียงบางส่วน (Diesel Extender or Blending) งานวิจัยนี้ได้มุ่งประเด็นที่จะนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้โดยตรงในเครื่องยนต์ด้วยการแปลงรูปโมเลกุลของไขมันดิบด้วยความร้อนก่อนนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลเนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกในการผลิต ผู้ใช้สามารถทำการผสมได้เองและมีต้นทุนในการผลิตต่ำ

ขั้นตอนแรกของการวิจัยเป็นการทดสอบอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมกับน้ำมันดีเซลที่สัดส่วนการผสมต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบปริมาณไอและตะกอนที่เกิดขึ้นซึ่งใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาส่วนผสมที่ใช้ในงานวิจัย จากนั้นนำส่วนผสมที่เลือกมาทดสอบกับเครื่องยนต์เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสมรรถนะ ปริมาณควันดำและตัวแปรสภาวะการทำงานต่างๆ ของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบกับผลจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการทดสอบความทนทานโดยนำเครื่องยนต์สองเครื่องมาใช้งานภายใต้ภาระจำลองที่กำหนด โดยเครื่องหนึ่งใช้น้ำมันดีเซล อีกเครื่องใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล เป็นเวลา 320 ชั่วโมง โดยจะทำการสูบน้ำมันหล่อลื่นเพื่อนำไปวิเคราะห์เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ พร้อมทำการวัดค่าควันดำที่เกิดขึ้นเมื่อใช้งานที่ระยะเวลาต่างๆ และศึกษาเปรียบเทียบภาพถ่ายและน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์และชุดปั๊มหัวฉีดภายหลังจากการทดสอบตามระยะเวลาที่กำหนด โดยในบทความนี้ได้นำเสนอผลของงานวิจัยในส่วนของผลการศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลต่อค่าปริมาณควันดำและคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบความทนทานและการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่น

2. เชื้อเพลิง การผสมและคุณสมบัติ

ในการพิจารณาส่วนผสมของน้ำมันปาล์มดิบได้ทำการทดสอบส่วนผสมของน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำมันดีเซลที่ส่วนผสมน้ำมันปาล์มดิบร้อยละ 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 และ 20 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ น้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมที่อุณหภูมิ 40°C และ 60°C ซึ่งพบว่าปริมาณตะกอนในทุกส่วนผสมของการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมที่อุณหภูมิ 60°C น้อยกว่าปริมาณตะกอนในทุกส่วนผสมของการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมที่อุณหภูมิ 40°C และ ณ อุณหภูมิ น้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสม 60°C พบว่าสามารถเห็นปริมาณตะกอนได้ชัดเจนในปริมาณที่มากเมื่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่นำมาผสมมีปริมาณตั้งแต่อัตราส่วนผสมที่ 13% โดยปริมาตรขึ้นไป จากผลดังกล่าวข้างต้นน้ำมันปาล์มดิบ 10% ผสมกับน้ำมันดีเซล 90% จึงเป็นส่วนผสมที่ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณตะกอน

น้อยและสะดวกต่อการผสม และเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมเท่ากับ 60°C และพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมนั้นยิ่งมากก็ยังมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดไขตะกอนหลังจากการผสมลดลง

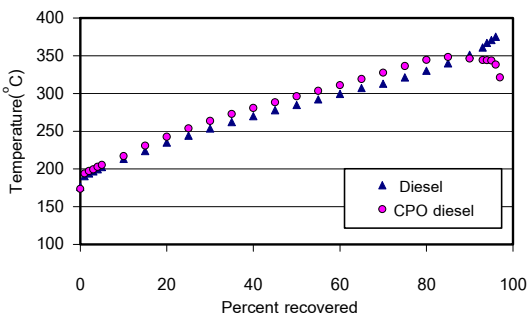
สำหรับงานวิจัยนี้ได้แบ่งเชื้อเพลิงตามรูปแบบการทดสอบออกเป็นสองชนิด คือ (ก) เชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์นั้นได้ดำเนินการทดสอบภายใต้สภาวะที่ถูกควบคุม เนื่องจากการทดสอบกระทำในช่วงเวลาสั้นๆและมีค่าใช้จ่ายสูงดังนั้นจะต้องทำการทดสอบด้วยความระมัดระวังเป็นอย่างมากเพื่อให้ผลที่ได้ออกมามีความเที่ยงตรงและแม่นยำจึงจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงอ้างอิงจากแหล่งเดียวกันตลอดการทดสอบทั้งน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลและน้ำมันดีเซล เพื่อที่จะนำผลมาเปรียบเทียบกันได้ ซึ่งคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิงที่ใช้ในการนำมาผสมกับน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการทดสอบนี้ แสดงดังตารางที่ 1 และ (ข) เชื้อเพลิงสำหรับทดสอบความทนทาน ซึ่งการทดสอบความทนทานเป็นการทดสอบที่ต้องดำเนินการเป็นระยะเวลานาน จึงต้องใช้เชื้อเพลิงเป็นปริมาณมาก ประกอบกับการหาปริมาณที่มาจากแหล่งเดียวกันเพื่อใช้ในการทดสอบตลอดโครงการจำเป็นต้องมีสถานที่จัดเก็บซึ่งไม่สามารถกระทำได้ และเพื่อเป็นการจำลองการนำแนวคิดสูตรเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะไปปฏิบัติจริงตลอดจนศึกษาการสึกหรออันรวมผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากความไม่แน่นอนของค่าคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลที่มีในท้องตลาดซึ่งมาจากแหล่งและ/หรือวาระ (batch) ที่ต่างกัน ดังนั้นเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบนี้จึงควบคุมเฉพาะวิธีการผสมโดยไม่ควบคุมแหล่งหรือ batch ในขั้นตอนการผสมนั้นน้ำมันปาล์มดิบจะถูกนำมาอุ่นจนกระทั่งได้อุณหภูมิประมาณ 60°C จากนั้นจึงนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลในภาชนะที่ได้เตรียมไว้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ

Properties	Test Method	Diesel	CPO/Diesel
Specific Gravity@15.6/15.6°C	ASTM D1298	0.8266	0.8360
Cetane Index	ASTM D976	58.9	-
Cetane number	ASTM D613	59.3	55.4
Viscosity @ 40 °C (CSt)	ASTM D445	3.10	3.910
Pour point (°C)	ASTM D97	-3	-6
Sulfur content (%wt.)	ASTM D4294	0.040	-
Copper strip corrosion number	ASTM D130	1a	1a
Carbon residue (%wt.)	ASTM D4530	< 0.001	0.039
Water and sediment (%vol)	ASTM D2709	Trace	0.025
Ash (%wt.)	ASTM D482	< 0.001	0.002
Flash point (°C)	ASTM D93	70	73
Distillation 90% recovered(°C)	ASTM D86	350.6	346.2
Colour	ASTM D1500	L0.5	-
Lubricity by HFRR (µm)	CEC F-06-A-96	522 (+LA=398)	209
Total Acid Number (TAN)	ASTM D974	0.04	1.02
Gross heating value (J/g)		45,968	44,982

จากตารางที่ 1 พบว่าน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันดีเซลอ้างอิงเล็กน้อย 1% มีค่าตัวเลขซีเทนน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 6.5% มีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล 2.6% และมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 2.1% และพบว่าในน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่า carbon residue และ ash ที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล และค่าการหล่อลื่นที่ต่ำ และตัวเลขความเป็นกรดรวม (TAN) ที่สูงกว่าในน้ำมันดีเซล

นอกจากนั้นได้นำน้ำมันที่ใช้ทดสอบสมรรถนะทั้งสองตัวอย่างมาทำการทดสอบการกลั่นตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล มีอุณหภูมิของการกลั่นตัว (Distillation Curve) สูงกว่าอุณหภูมิการกลั่นตัวของน้ำมันดีเซลอ้างอิง หมายความว่าที่อุณหภูมิเดียวกันน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลจะมีปริมาณของไอจากการระเหยในปริมาณที่น้อยกว่า และช่วงปลายของการกลั่นตัวพบว่ามีในน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง อาจเกิดการแตกตัว (Cracking) เป็นโครงสร้างที่เล็กลงทำให้อุณหภูมิการกลั่นตัวของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าลดลง ซึ่งรวมถึงค่า T90 ด้วย



รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการกลั่นตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ (ASTM D86)

3. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

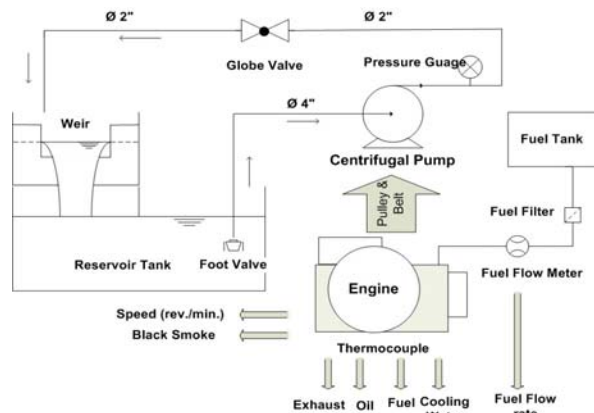
อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย เครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ซึ่งรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์แสดงไว้ในตารางที่ 2 การทดสอบจะทำพร้อมกันทั้งสองชุดทดสอบ ชุดหนึ่งใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอีกชุดใช้น้ำมันดีเซล ก่อนการทดสอบได้ทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ ชุดปั๊มและหัวฉีดใหม่ และทำการซังน้ำหนักชิ้นส่วนก่อนการประกอบ การทดสอบความทนทานใช้ชุดปั๊มน้ำเป็นอุปกรณ์สร้างภาระจำลองให้กับเครื่องยนต์ แผนผังแสดงการติดตั้งเครื่องยนต์และชุดปั๊มน้ำแสดงในรูปที่ 2 โดยเครื่องยนต์ส่งกำลังไปยังชุดปั๊มน้ำด้วยระบบสายพาน การปรับภาระของชุดปั๊มน้ำกระทำโดยการปรับปริมาณการเปิดวาล์วทางด้านส่งของระบบปั๊มน้ำซึ่งภาระของระบบกำหนดจากความดันหัวน้ำทางด้านจ่ายของระบบปั๊มและปริมาณการไหลของน้ำซึ่งวัดได้จากฟลายวheels การไหลของน้ำ

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

เครื่องยนต์	Kubota
รุ่น	ET 115

ชนิด	Single cylinder
ระบบห้องเผาไหม้	Swirl chamber
ขนาดกระบอกสูบ	94 mm. (bore)
ช่วงชัก	90 mm. (stroke)
ปริมาตรกระบอกสูบ	624 cc.
แรงม้าสูงสุด	11.5 hp @ 2400 rpm
แรงบิดสูงสุด	3.7 kg-m @ 1700 rpm
อัตราส่วนกำลังอัด	21:1
ระบบหล่อลื่น	ฉีดส่งโดยปั๊มแบบ rotary
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำรังผึ้ง

การทดสอบความทนทานได้กำหนดให้เครื่องยนต์ทำงานภายใต้วัฏจักรภาระที่กำหนดซึ่งดัดแปลงมาจากวัฏจักร EMA โดยให้เครื่องยนต์ทำงานด้วยสภาวะคงตัวที่ความเร็วรอบคงที่ต่อเนื่องที่ภาระเต็มกำลังสลับกับการทำงานต่อเนื่องที่ภาระบางส่วน เพื่อให้กลไกการทำงานของปั๊มมีการเปลี่ยนตำแหน่งสลับไปมาอยู่เสมอ วัฏจักรที่ใช้ในการทดสอบความทนทานประกอบด้วยสภาวะการทำงาน 3 ภาระ ใน 1 วัฏจักร ใช้เวลารวม 5 ชั่วโมง ดังตารางที่ 3 ซึ่งในการทดสอบจะให้เครื่องยนต์ทั้งสองทำงานต่อเนื่องจำนวน 3 วัฏจักร รวมเวลาทำงาน 15 ชั่วโมงต่อวัน และหยุดเครื่องยนต์ 9 ชั่วโมงเพื่อตรวจสอบสภาพและพักเครื่องยนต์จนครบ 320 ชั่วโมงทำงาน



รูปที่ 2 แสดงแผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์กับชุดปั๊มน้ำ

ตารางที่ 3 แสดงวัฏจักรที่ใช้ในการทดสอบความทนทาน

สภาวะการทำงาน	ภาระ	ความเร็ว (รอบต่อนาที)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
1.	ภาระสูงสุด	2,400	3
2.	90 % ของภาระสูงสุด	2,400	1
3.	80 % ของภาระสูงสุด	2,400	1

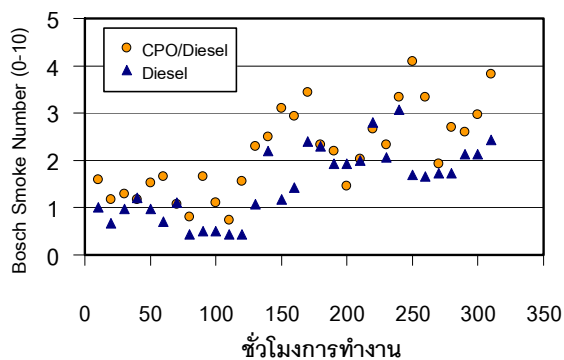
ระหว่างทำการทดสอบได้ทำการติดตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์โดยทำการวัดและบันทึกอุณหภูมิแก๊สไอเสีย อุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น อุณหภูมิ น้ำหนักเชื้อเพลิง ด้วย Thermocouple Type K อัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยใช้วิธีการ

จับเวลาในการไหลของเชื้อเพลิงผ่านหลอดแก้วปริมาตร 10 cc. ทุก ชั่วโมงทำงาน ค่าควันดำวัดโดยใช้ Bosch smoke meter ชนิดกระดาษกรอง รุ่น ETD 020.00 (กระบอกสูมตัวอย่าง) และ ETD 020.50 (ตัวอ่านค่า) ความดันของน้ำทางด้านจ่ายและอัตราการไหลของน้ำในระบบปั้มน้ำทุกสภาวะภาระ และทำการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นซึ่งจะทำการสูมตัวอย่างหลังชั่วโมงทำงานที่กำหนด โดยใช้ปั้มดูดจากอ่างน้ำมันหล่อลื่น ผ่านทางช่องเสียบก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น ขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบเดินเบา (1,000 รอบต่อนาที) ที่อุณหภูมิการทำงานปกติของเครื่องยนต์

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลต่อปริมาณควันดำ

จากรูปที่ 3 พบว่าที่ภาระสูงสุด (2,400 รอบต่อนาที) ในชั่วโมงเริ่มต้นควันดำที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าควันดำสูงกว่าค่าจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และค่าควันดำจากทั้งสองเครื่องยนต์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อชั่วโมงการทำงานเพิ่มขึ้นโดยพบว่าค่าควันดำที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลยังมีแนวโน้มของค่าที่สูงกว่า



รูปที่ 3 ค่าควันดำที่สภาวะภาระสูงสุด (2,400 รอบต่อนาที)

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นสามารถแบ่งตามช่วงระยะเวลาตามการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นได้เป็น 4 ช่วง (ก) ช่วงของการรันอิน(Run in)เครื่องยนต์ คือชั่วโมงที่ -20 ถึง 0 ซึ่งเครื่องยนต์ทั้งสองใช้น้ำมันดีเซลในการรันอิน (ข) ช่วงแรก ชั่วโมงที่ 0 ถึง 100 (ค) ช่วงที่สอง ชั่วโมงที่ 100 ถึง 210 และ (ง) ช่วงที่สาม ชั่วโมงที่ 210 ถึง 320 ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาตามการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งค่าเริ่มต้นของการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใหม่แต่ละช่วง คือที่ ชั่วโมงการทำงานที่ -20 , 0 , 100 และ 210 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4 ค่าความหนืดที่ 40°C ในทั้งสองเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น โดยน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณการเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าปริมาณการเพิ่มขึ้นของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอย่างเห็นได้ชัด และอัตราการเพิ่มขึ้นจะมีค่าสูงขึ้นในช่วง

ที่สองและช่วงที่สามตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ ที่เกิดจากน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีความหนืดที่สูงกว่า

จากรูปที่ 5 ค่าความหนืดที่ 100 °C ในทั้งสองเครื่องยนต์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น โดยน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณการเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าปริมาณการเพิ่มขึ้นของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล อย่างเห็นได้ชัด และอัตราการเพิ่มขึ้นจะมีค่าสูงขึ้นตามชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้น ค่าความหนืดที่ 100°C นี้ได้มีการตั้งเกณฑ์สูงสุดในการเตือน ให้อยู่ที่ค่าไม่เกิน 15% ของค่าเริ่มต้น ซึ่งพบว่าในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล ที่ชั่วโมงการทำงาน 200 และ 210 (อายุน้ำมันหล่อลื่น 100 ชั่วโมง และ 110 ชั่วโมง) และในชั่วโมงการทำงานที่ 310 และ 320 (อายุน้ำมันหล่อลื่น 100 และ 110) มีค่าที่เกินเกณฑ์สูงสุดที่ผู้ผลิตน้ำมันหล่อลื่นได้เตือนไว้

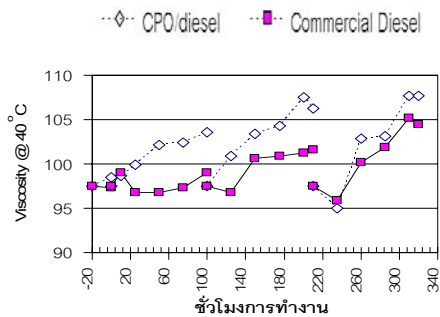
รูปที่ 6,7 และ 8 แสดงค่าออกซิเดชัน ไนโตรเจนและซัลเฟชันตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มที่คล้ายกันทั้งสามค่าซึ่งการแกว่งตัวนี้อยู่ในช่วงที่แคบและไม่เกินค่าเกณฑ์สูงสุดที่ยอมรับได้

รูปที่ 9 แสดงค่า ZDDP (Zinc Dialkylthiophosphate) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยลดและยับยั้งการกัดกร่อน พบว่ามีแนวโน้มที่คล้ายกันทั้งสองเครื่องยนต์ โดยหลังจากเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใหม่จะมีค่าลดลงอยู่ที่ค่าประมาณ 12 (Abs) และ 13 (Abs) จนจบการทดสอบ ยกเว้นในช่วงการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นครั้งสุดท้ายที่ชั่วโมงการทำงานที่ 220 ถึง 320 เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีการลดลงของ ZDDP สูงกว่าจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล

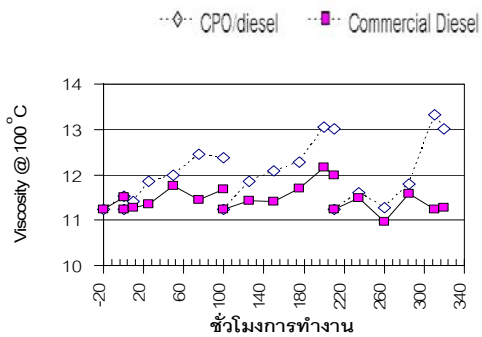
ค่า TBN มีแนวโน้มที่ลดลงตามอายุของน้ำมันหล่อลื่น ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งแสดงถึงความเป็นกรดที่สูงขึ้นในน้ำมันหล่อลื่น โดยจากแนวโน้มพบว่าค่าที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลจะมีค่า TBN ที่ต่ำกว่า เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีการเป็นกรดสูงเมื่อผสมกับน้ำมันหล่อลื่นจึงทำให้ค่า TBN มีแนวโน้มลดลง

รูปที่ 11 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนของเขม่า พบว่าในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล มีค่าการปนเปื้อนของเขม่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเขม่าจากไอเสียที่มีปริมาณสูงกว่าในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล และมีค่าของเขม่าเพิ่มขึ้นตามชั่วโมงการทำงานตลอดทั้งสามช่วงการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น ค่าการปนเปื้อนของเขม่านี้มีผลต่อค่าความหนืด ซึ่งจะทำให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นมีค่าสูงขึ้น

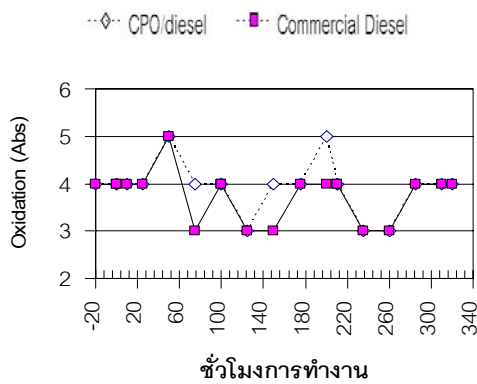
ค่าเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนของเชื้อเพลิงในน้ำมันหล่อลื่นในรูปที่ 12 พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามชั่วโมงการทำงานโดยมีแนวโน้มที่คล้ายกันทั้งสองเครื่องยนต์



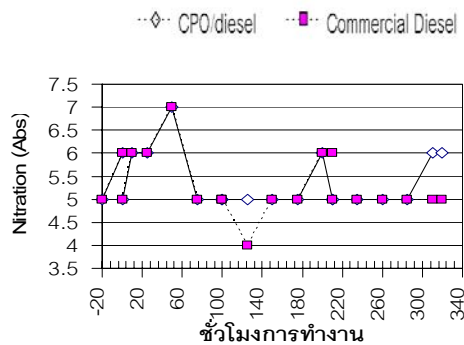
รูปที่ 4 ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ 40°C



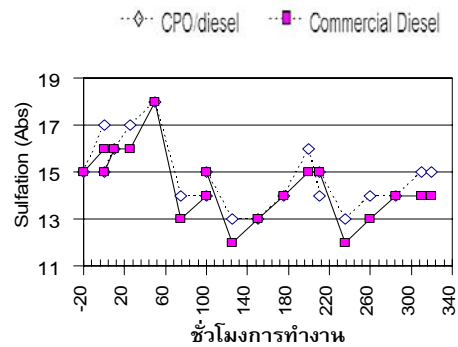
รูปที่ 5 ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ 100°C



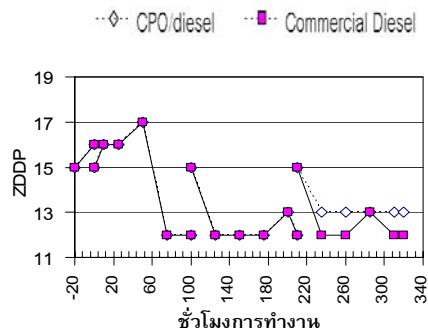
รูปที่ 6 ค่า Oxidation ในน้ำมันหล่อลื่น



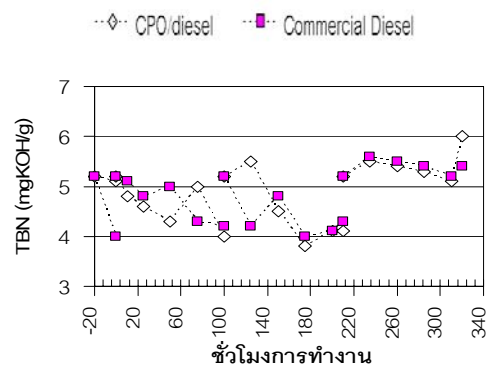
รูปที่ 7 ค่า Nitration ในน้ำมันหล่อลื่น



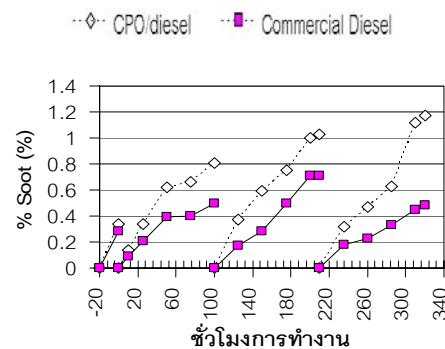
รูปที่ 8 ค่า Sulfation ในน้ำมันหล่อลื่น



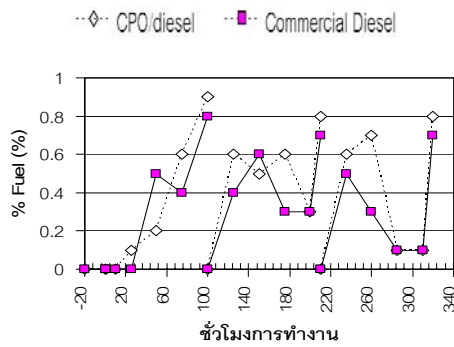
รูปที่ 9 ค่า Zinc Dialkyldithiophosphate (ZDDP)



รูปที่ 10 ค่า Total Base Number (TBN)



รูปที่ 11 ค่าเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนของเขม่า



รูปที่ 12 ค่าเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง

4.3 ผลการวิเคราะห์โลหะปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น

โลหะในน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการวัดคือ เหล็ก โคโรเมียม ตะกั่ว ทองแดง อลูมิเนียม และซิลิกอนซึ่งมักเป็นผลจากการสึกหรอในเครื่องยนต์ โดยในเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้อาจมาจากชิ้นส่วนและที่มาที่ต่างกันดังนี้

เหล็ก - กระบอกสูบ , แหวนลูกสูบ , ลูกสูบ(เป็นส่วนผสมระหว่างเหล็กกับอลูมิเนียม), เพลาข้อเหวี่ยง, ก้านสูบ, เพลาลูกเบี้ยว, วาล์ว

โคโรเมียม - เคลือบผิวแหวนอัดตัวที่ 1 และแหวนน้ำมัน

ตะกั่ว - แบร็งก์กันสูบ , บุชกันสูบ

ทองแดง - แบร็งก์กันสูบ , บุชกันสูบ

อลูมิเนียม - ลูกสูบ

ซิลิกอน - ฝุ่นละอองและเศษผงที่หลุดจากกรอบอากาศเข้าสู่เครื่องยนต์

จากรูปที่ 13 ปริมาณเหล็กที่พบหลังช่วงการรันอินจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีค่าสูงกว่าค่าจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล หลังจากการรันอินพบปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้นตามชั่วโมงการทำงานที่สูงขึ้น โดยปริมาณเหล็กในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงกว่าค่าจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลตลอดการทดสอบ และหลังชั่วโมงการทำงานที่ 210 (อายุน้ำมันหล่อลื่น 110 ชั่วโมง) ปริมาณเหล็กจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงขึ้นผิดปกติ มากกว่าปริมาณเหล็กจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

รูปที่ 14 พบว่าปริมาณโคโรเมียมสะสมในน้ำมันหล่อลื่นหลังช่วงรันอินของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงกว่าปริมาณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ตลอดช่วงการทดสอบ และเพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็วในช่วงชั่วโมงการทำงานที่ 100-210 ซึ่งพบปริมาณโคโรเมียมสะสมสูงสุดในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล

จากรูปที่ 15 พบว่าปริมาณตะกั่วที่พบหลังช่วงการรันอินของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล มีค่าสูงกว่าค่าจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล โดยปริมาณตะกั่วเพิ่มขึ้นตามชั่วโมงการทำงานที่สูงขึ้น และปริมาณตะกั่วในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงกว่าค่าจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลตลอดการทดสอบ อนึ่งหลังชั่วโมงการทำงานที่ 210 (อายุน้ำมันหล่อลื่น 110 ชั่วโมง) ปริมาณตะกั่วในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงอย่างผิดปกติ คล้าย

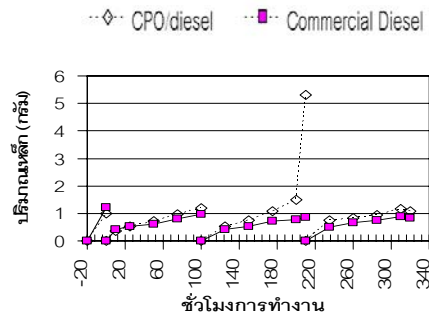
กับการเพิ่มของปริมาณเหล็ก ขณะที่ปริมาณตะกั่วในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลยังคงมีอัตราการเพิ่มขึ้นเป็นปกติ

จากรูปที่ 16 พบว่าปริมาณทองแดง หลังรันอินในชั่วโมงการทำงานที่ 0-50 จากทั้งสองเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นในปริมาณใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นพบปริมาณทองแดงสะสมในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงกว่าในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลตลอดการทดสอบ โดยมีค่าปริมาณต่างกันมากในช่วงชั่วโมงการทำงานที่ 125-210

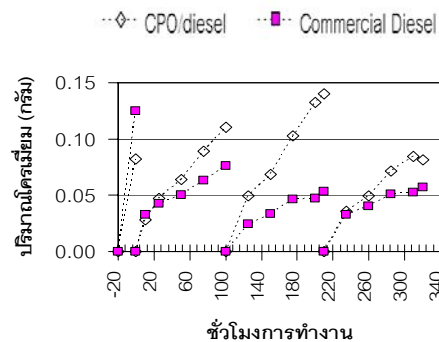
จากรูปที่ 17 พบว่าปริมาณอลูมิเนียมหลังช่วงรันอิน ตลอดช่วงการทดสอบ (ชั่วโมงการทำงานที่ 0-320) ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล มีค่าสูงกว่าปริมาณของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล โดยความแตกต่างเห็นได้ชัดเจนในช่วงชั่วโมงการทำงานที่ 0-210 และความแตกต่างมีปริมาณน้อยลงในช่วงชั่วโมงการทำงานที่ 210-320

จากรูปที่ 18 พบว่าปริมาณซิลิกอนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงกว่าในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งความแตกต่างชัดเจนในช่วงชั่วโมงการทำงานที่ 0-210 และปริมาณซิลิกอนในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีค่าสูงขึ้นใกล้เคียงกับปริมาณจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลในช่วงชั่วโมงการทำงานที่ 210-320 ปริมาณซิลิกอนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่อาจจะมาจากฝุ่นละอองในอากาศ ซึ่งการเพิ่มของซิลิกอนอาจมีผลต่อการเพิ่มของปริมาณโลหะอื่นๆ เนื่องจากอนุภาคของซิลิกอนอาจเป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดการสึกหรอที่เร็วขึ้นกว่าปกติ

จากผลที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ อาจสรุปได้ว่าปริมาณการสึกหรอจะเกิดมากที่สุดในช่วงของการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นช่วงที่ 2

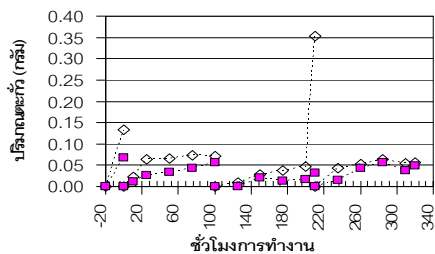


รูปที่ 13 ปริมาณเหล็กสะสมในน้ำมันหล่อลื่น

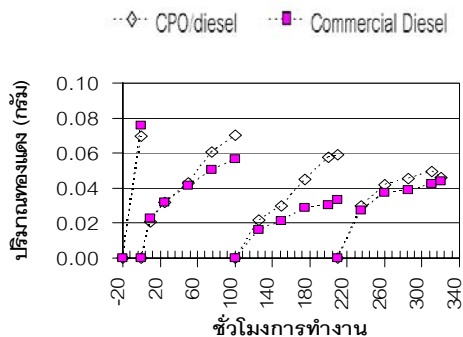


รูปที่ 14 ปริมาณโคโรเมียมสะสมในน้ำมันหล่อลื่น

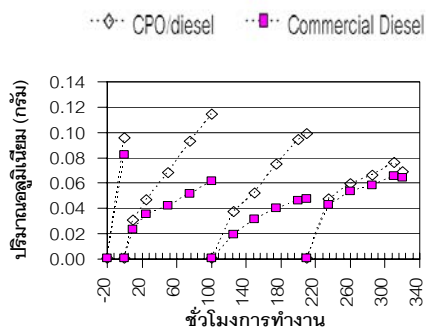
---◇--- CPO/diesel ---■--- Commercial Diesel



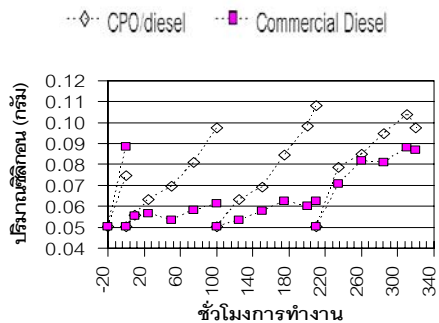
รูปที่ 15 ปริมาณตะกั่วสะสมในน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 16 ปริมาณทองแดงสะสมในน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 17 ปริมาณอลูมิเนียมสะสมในน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 18 ปริมาณซิลิกอนสะสมในน้ำมันหล่อลื่น

4.4 ผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยเฟอโรกราฟี

การวิเคราะห์เฟอโรโรแกรมเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ด้วยการศึกษาลักษณะ รูปร่าง ขนาดของเศษโลหะที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงไม่สามารถวิเคราะห์ในเชิงปริมาณและค่าตัวเลขในการตัดสินใจได้ [4]

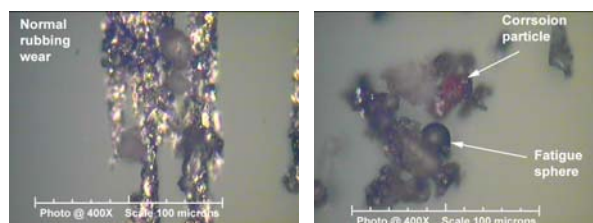
เนื่องจากปริมาณโลหะของการสึกหรอหลังจากชั่วโมงที่ 210 ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล มีปริมาณโลหะบางชนิดเพิ่มขึ้นสูงมากผิดปกติ จึงได้นำกระบวนการเฟอโรกราฟีมาใช้ในการวิเคราะห์ผลข้อมูล โดยทำการทดสอบในตัวอย่างน้ำมันหลังผ่านการใช้งานที่ 200 ชั่วโมง และ 210 ชั่วโมงทั้งของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 200 (อายุน้ำมันหล่อลื่น 100 ชั่วโมง) แสดงดังรูปที่ 19 พบเพียง อนุภาคของ Ferrous ที่เกิดจากการสึกหรอแบบ Rubbing wear ขนาดตั้งแต่ 3-5 ไมโครเมตร ปริมาณอนุภาคชนิดนี้ที่พบบนแผ่นเฟอโรโรแกรมมีค่าสเกล 1 (เต็ม 10)



รูปที่ 19 ภาพเฟอโรโรแกรมของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 200 กำลังขยาย 400 เท่า

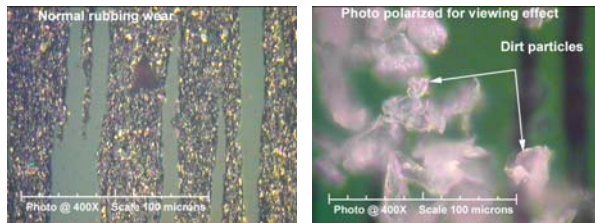
ผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีเฟอโรกราฟี จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 200 (อายุน้ำมันหล่อลื่น 100 ชั่วโมง) แสดงในรูปที่ 20 ซึ่งพบเพียงแค่อนุภาค Ferrous ที่เกิดจากการสึกหรอแบบ Rubbing wear ขนาด 3-5 ไมโครเมตร อนุภาคทรงกลม (Sphere) ขนาด 15 ไมโครเมตร และอนุภาคจากการเกิด Corrosion ขนาด 20 ไมโครเมตร ปริมาณที่ตรวจพบในแต่ละอนุภาคมีค่าสเกล 1 (เต็ม 10)



รูปที่ 20 ภาพเฟอโรโรแกรมของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 200 กำลังขยาย 400 เท่า

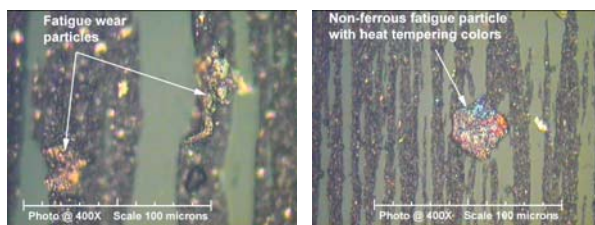
ผลจากการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นด้วยวิธีเฟอโรกราฟี จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 210 (อายุน้ำมันหล่อลื่น 110 ชั่วโมง) แสดงในรูปที่ 21 ซึ่งพบเพียงอนุภาค Ferrous ที่เกิดจาก Rubbing wear ขนาด 3-5 ไมโครเมตร ปริมาณที่

ตรวจพบน้อยกว่าสเกล 1 และอนุภาคการปนเปื้อนของฝุ่นละออง ขนาด 10-100 ไมโครเมตร ปริมาณที่ตรวจพบมีค่าสเกล 1



รูปที่ 21 ภาพเฟอโรแกรมของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 210 กำลังขยาย 400 เท่า

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 210 (อายุน้ำมันหล่อลื่น 110 ชั่วโมง)แสดงรูปที่ 22 ซึ่งพบอนุภาคโลหะ Ferrous ในรูป Rubbing wear ขนาด 3-5 ไมโครเมตร ในปริมาณการพบที่สเกล 6 และอนุภาคโลหะ Ferrous ที่เกิดจากการสึกหรอแบบ Rolling fatigue wear ขนาด 10-100 ไมโครเมตร ปริมาณการพบที่สเกล 3 และพบอนุภาค Non ferrous ขนาด 10-40 ไมโครเมตร ปริมาณการพบที่สเกล 3



รูปที่ 28 ภาพเฟอโรแกรมของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลหลังชั่วโมงการทำงานที่ 210 กำลังขยาย 400 เท่า

4.5 ผลการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีด

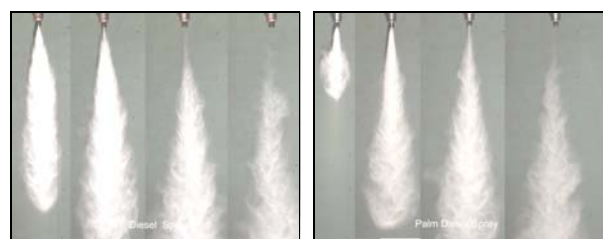
ผลการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดน้ำมันของหัวฉีดที่ใช้ในเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลและเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล ที่สภาวะก่อนการทดสอบความทนทาน (หัวฉีดใหม่) และหลังการทดสอบความทนทาน (หลัง 320 ชั่วโมง) แสดงค่าเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 4 ซึ่งไม่พบการเปลี่ยนแปลงของความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง หลังจากผ่านการทดสอบความทนทานในทั้งสองเครื่องยนต์ อาจกล่าวได้ว่าช่วงที่ทดสอบความทนทานของเชื้อเพลิงทั้งสองไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า stiffness ของสปริงในหัวฉีดของเครื่องยนต์ทั้งสอง

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลความดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิง

รายการ	ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง(kg/cm ²)	
	หัวฉีดใหม่	หลัง 320 ชั่วโมง
หัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล	128-130	128-130
หัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล	128-130	128-130

อย่างไรก็ตามจากผลที่พบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์หลังการทดสอบความทนทานมีอุณหภูมิไอเสียและค่าควันต่ำสูงขึ้น คาดว่าน่าจะมาจากการเผาไหม้ที่ดียิ่งกว่า ดังนั้นจึงมุ่งสมมุติฐานว่าจะมีสาเหตุมาจากพฤติกรรมและลักษณะของสเปรย์การฉีดเชื้อเพลิงที่ต่างกัน จึงทำการตรวจสอบเปรียบเทียบลักษณะของสเปรย์จากการฉีดเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 23 แสดงรูปของสเปรย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงจากหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลและเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลหลังผ่านการทดสอบความทนทาน พบว่ามุมของสเปรย์มีความแตกต่างกัน โดยในรูปแบบของสเปรย์ของหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีมุมแคบกว่าหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล จากการตรวจพินิจหัวฉีดทั้งสองไม่พบลักษณะของสเปรย์ที่เกิดเป็นหยดเชื้อเพลิงซึ่งแสดงถึงการอุดตันที่หัวฉีดในหัวฉีดที่นำออกมาจากเครื่องยนต์ทั้งสอง



รูปที่ 23 แสดงรูปของสเปรย์ ขณะทำการทดสอบความดันในการเริ่มฉีด ภาพซ้ายจากหัวฉีดที่ใช้ น้ำมันดีเซล ภาพขวาจากหัวฉีดที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล

จากมุมของสเปรย์ที่แคบกว่าของหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลนี้มีส่วนให้ละอองฝอยมีขนาด droplet ใหญ่น่าจะส่งผลให้การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ผ่านการทดสอบความทนทานเกิดขึ้นดียิ่งกว่า ตามสมมุติฐานข้างต้น

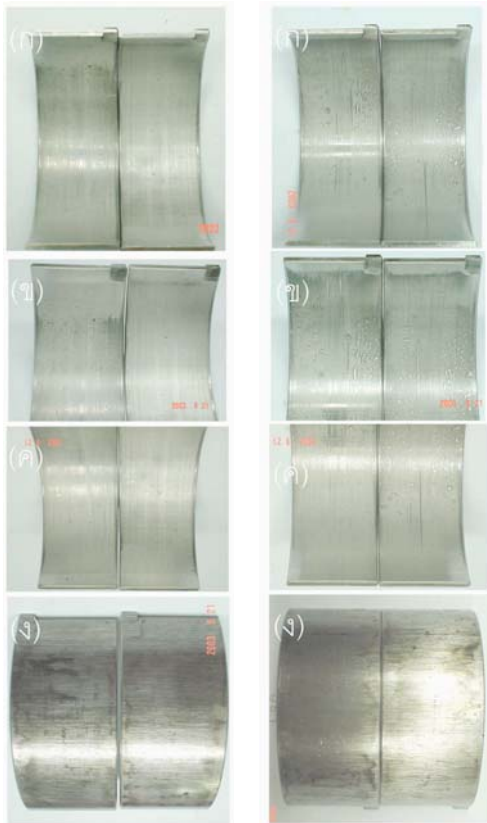
4.6 ผลการตรวจพินิจชิ้นส่วน

หลังการทดสอบความทนทาน ได้ทำการถอดชิ้นส่วนภายในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้และการสึกหรอของทั้งสองเครื่องยนต์ เครื่องยนต์เพื่อทำการตรวจสอบภาพเปรียบเทียบ และได้ทำการถ่ายภาพประกอบเพื่อใช้ในการตรวจพินิจชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์ ซึ่งชิ้นส่วนที่ทำการตรวจพินิจประกอบไปด้วย แบริ่งก้านสูบ ลูกสูบ ผนังกระบอกสูบ ฝาสูบ ปาวาล์วไอดีและไอเสียที่ฝาสูบ วาล์วไอดี วาล์วไอเสีย และหัวฉีด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

จากรูปที่ 24 ในภาพด้านซ้ายแสดงภาพถ่ายของแบริ่งก้านสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล ในภาพขวา โดยรูป (ก) ภาพด้านหน้า ขนาดเต็มรูป ชิ้นส่วนทางด้านซ้ายเป็นแบริ่งชั้นบนติดกับก้านสูบ ชิ้นส่วนทางขวาเป็นชิ้นส่วนที่ติดกับประกับก้านสูบ รูป (ข) แสดงภาพขยายส่วนบนของรูป (ก) รูป (ค) แสดงภาพขยายส่วนล่างของรูป (ก) และรูป (ง) แสดงภาพด้านหลังของแบริ่ง จากรูปที่ 24 แบริ่งก้านสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลซึ่งไม่พบสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นกับผิวของแบริ่ง พบรอยขีดข่วนขนาดเล็กอยู่ทั่วไป พบคราบน้ำมันหล่อลื่นและรอยจุดซึ่งเกิดการสึกหรอใน

ปริมาณเล็กน้อย และในภาพด้านขวาแสดงแบร้งกันสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล ซึ่งพบคราบหลุมวงกลมกระจายอยู่ในแบร้ง และพบรอยขีดข่วนขนาดใหญ่ ที่มองเห็นได้ชัดเจนบนทั้งชิ้นส่วนบนและชิ้นส่วนล่างของแบร้ง ซึ่งมีลักษณะเป็นวงกลมที่พบน่าจะเกิดจากสภาพของการขาดสารหล่อลื่นบนผิวสัมผัสและอุทกหภูมิในการใช้งานที่สูงเกินไป จึงมีการสึกหรอเกิดขึ้นมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

สภาพของฝาสูบเครื่องยนต์หลังผ่านการทดสอบแสดงดังรูปที่ 25 พบความแตกต่างที่ชัดเจนจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลต่อฝาสูบในรูปด้านขวา ซึ่งพบคราบตะกอนสีแดงติดอยู่บริเวณฝาสูบในปริมาณที่มากและเป็นบริเวณกว้าง และปริมาณเขม่าตามขอบกระบอกสูบและหลังห้องเผาไหม้หมุนวนมีปริมาณมากกว่าฝาสูบจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างชัดเจน



รูปที่ 24 แบร้งกันสูบ (ซ้ายใช้น้ำมันดีเซล, ขวาใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล)



รูปที่ 25 ฝาสูบ (ซ้ายใช้น้ำมันดีเซล, ขวาใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล)

รูปที่ 26 แสดงภาพถ่ายของวาล์วไอดี พบว่าบริเวณหลังวาล์วไอดีของเครื่องยนต์ทั้งสองมีปริมาณคราบตะกอนสะสมอยู่เป็นจำนวนมากในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยคราบตะกอนจากวาล์วของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลทางด้านขวาจะมีสีน้ำตาลชัดเจน ซึ่งต่างจากวาล์วของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทางด้านซ้าย

รูปที่ 27 แสดงภาพถ่ายของวาล์วไอเสีย พบว่าไม่มีความแตกต่างเกิดขึ้นระหว่างวาล์วจากเครื่องยนต์ทั้งสอง หลังวาล์วมีเขม่าปกคลุมเต็มพื้นที่ ปาวาล์วมีสภาพสมบูรณ์ ร่องรอยการสึกหรอเกิดขึ้นน้อย



รูปที่ 26 วาล์วไอดี (ซ้ายใช้น้ำมันดีเซล, ขวาใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล)



รูปที่ 27 วาล์วไอเสีย (ซ้ายใช้น้ำมันดีเซล, ขวาใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล)

รูปที่ 28 และรูปที่ 29 แสดงภาพถ่ายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดที่ปลายของหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ

ผลสมมติเซล เนื่องจากมีก้อนของเขม่าสะสมอยู่ที่ปลายของหัวฉีด และสภาพโดยรอบของหัวฉีดมีคราบเขม่าหนาเกาะตัวในปริมาณที่มาก ซึ่งแตกต่างจากหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างชัดเจน

ส่วนสภาพของ ผนังกระบอกสูบ ฝาสูบ ปาวาล์วไอดีและไอดีเสียที่ ฝาสูบไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจนจากภาพถ่าย จึงมิได้นำมาแสดงในบทความนี้



รูปที่ 28 ปลายหัวฉีดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล



รูปที่ 29 ปลายหัวฉีดจากเครื่องยนต์เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

4.7 ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

หลังจากการตรวจพินิจชิ้นส่วนภายในเปรียบเทียบระหว่างทั้งสองเครื่องยนต์แล้วได้ทำความสะอาดตะกอนและเขม่าออก ก่อนนำมาชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบกับน้ำหนักของชิ้นส่วนก่อนการทดสอบที่ได้ทำการชั่งไว้ก่อนแล้ว การเปรียบเทียบมุ่งเน้นการตรวจชิ้นส่วนซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันเชื้อเพลิง คือ กลุ่มชิ้นส่วนในห้องเผาไหม้ กลุ่มชิ้นส่วนหัวฉีด และกลุ่มชิ้นส่วนปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง

ผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนในห้องเผาไหม้แสดงดังตารางที่ 5 ผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนหัวฉีดแสดงดังตารางที่ 6 และผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงแสดงดังตารางที่ 7 ตามลำดับ

ผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนของเครื่องยนต์พบว่าชิ้นส่วนจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีน้ำหนักที่ลดลงในปริมาณที่สูงกว่าชิ้นส่วนจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ยกเว้นน้ำหนักของแหวนน้ำมันจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ไม่พบความแตกต่างของการลดลงของน้ำหนักแปรงก้านสูบและพบว่าน้ำหนักของลูกสูบ แหวนไอดี 1 และ 2 มีค่าลดลงต่างกันมาก

ตาราง 5 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนในห้องเผาไหม้

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)					
	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล			เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล		
	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	ลดลง	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	ลดลง
แหวนไอดี 1	17.743	17.682	0.061	17.693	17.583	0.109
แหวนไอดี 2	15.916	15.852	0.064	15.866	15.771	0.095
แหวนไอดี 3	14.780	14.723	0.056	14.631	14.562	0.069
แหวนน้ำมัน	24.477	24.446	0.031	24.186	24.157	0.029
บุช ก้านสูบ	35.774	35.773	0.002	35.542	35.540	0.002
ลูกสูบ	636.730	636.430	0.300	638.210	636.040	2.170
สลักลูกสูบ	236.140	236.040	0.100	236.170	236.040	0.130

ตารางที่ 6 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนหัวฉีด

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)					
	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล			เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล		
	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	ลดลง	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	ลดลง
เข็มหัวฉีด	5.164	5.163	0.000	5.166	5.166	0.000
ชิ้นส่วนต่อเข็มหัวฉีด	14.129	14.128	0.001	14.258	14.258	0.000

ตารางที่ 7 แสดงผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)					
	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล			เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล		
	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	ลดลง	ก่อนการทดสอบ	หลัง 320 ชม.	ลดลง
วาล์วกันย้อนกลับ	2.074	2.075	0.000	2.041	2.041	0.000
เรือนวาล์วกันย้อนกลับ	7.816	7.816	0.000	7.800	7.800	0.000
ลูกสูบ	10.713	10.713	0.000	10.776	10.775	0.000
กระบอกลูกสูบ	24.173	24.173	0.000	24.237	24.237	0.000
วาล์วกันย้อนกลับ	2.074	2.075	0.000	2.041	2.041	0.000
เรือนวาล์วกันย้อนกลับ	7.816	7.816	0.000	7.800	7.800	0.000
ลูกสูบ	10.713	10.713	0.000	10.776	10.775	0.000

ส่วนผลจากการใช้น้ำมันก๊าดในส่วนของชุดหัวฉีดและชุดปั๊มเชื้อเพลิงพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักของชิ้นส่วนดังกล่าวในทั้งสองเครื่องยนต์

5. บทสรุป

1. ค่าวันดาร์ระหว่างการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นและมีค่าที่สูงกว่าค่าวันดาร์จากการใช้น้ำมันดีเซล ตลอดการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง

2. ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าที่สูงกว่าค่าจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ตลอดการทดสอบ และมีค่าเกินค่าระดับการเตือนขั้นวิกฤต ที่หลัง ชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 200, 210, 310 และ 320 (อายุ น้ำมันหล่อลื่น 100 และ 110 ชั่วโมง)

3. การใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลไม่พบผลกระทบต่องานทางเคมีกับน้ำมันหล่อลื่นที่ชัดเจนนัก ปริมาณการเกิด ออกซิเดชัน ในเตาชั้น และซัลเฟชัน ในแต่ละอายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น มีค่าใกล้เคียงกับค่าจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล จึงอาจกล่าวได้ว่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่เพิ่มขึ้นมิได้มีสาเหตุหลักมาจากปฏิกิริยาเหล่านี้

4. ค่า TBN มีแนวโน้มของการลดลงสูงกว่าค่าที่ได้จากเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าความเป็นกรดที่สูงกว่า น้ำมันดีเซล

5. ปริมาณโลหะเหล็ก ไครเมียม ตะกั่ว อลูมิเนียม ทองแดง และซิลิกอน ตกค้างในปริมาณที่สูงกว่าปริมาณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลตลอดการทดสอบ

6. เมื่อทำการใช้งานเครื่องยนต์เกินอายุของน้ำมันหล่อลื่น 10 ชั่วโมง (อายุ น้ำมันหล่อลื่น 110 ชั่วโมง) พบปริมาณ ตะกั่ว และเหล็กที่สูงขึ้นมาก ขณะที่ปริมาณโลหะเหล่านี้ในน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลยังมีแนวโน้มการเพิ่มในอัตราปกติ

7. ผลจากเฟอโรโรแกรมหลังชั่วโมงการทำงานที่ 200 ของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ พบอนุภาคทรงกลมที่เกิดจากการล้าตัว และอนุภาคของการกัดกร่อน ส่วนในเครื่องยนต์ดีเซลพบอนุภาคการสึกหรอแบบปกติเท่านั้น

8. ผลจากเฟอโรโรแกรมหลังชั่วโมงการทำงานที่ 210 ของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ พบอนุภาคทรงกลมที่เกิดจากการล้าตัวในสัดส่วนที่สูงขึ้น และอนุภาคขนาดใหญ่เกิน 200 ไมโครเมตร ของโลหะซึ่งเกิดจากการล้าตัวและได้รับอุณหภูมิที่สูง และพบอนุภาคการสึกหรอแบบขัดถูในสัดส่วนที่มาก ส่วนในเครื่องยนต์ดีเซลพบอนุภาคการสึกหรอแบบปกติและอนุภาคของฝุ่น

9. หลังการทดสอบความทนทานพบรอยขีดและคราบการสึกหรอที่เบร้งกันสูบในปริมาณที่มาก มีคราบเขม่าสีแดงส้มเข้มติดอยู่บริเวณฝาสูบ และมีก้อนเขม่าขนาดใหญ่ติดอยู่ที่ปลายหัวฉีดบริเวณรอบส่วนปลายหัวฉีดพบปริมาณเขม่าหนาในปริมาณมาก อย่างเห็นได้ชัด น้ำหนักแหวนอัด, ลูกสูบและสลักลูกสูบ มีค่าลดลงสูงกว่าเมื่อเทียบกับน้ำหนักชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล แต่ไม่พบ

ความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิงและหัวฉีด น้ำหนักของชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิงและหัวฉีดไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายหลังผ่านการทดสอบความทนทาน 320 ชั่วโมง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้านการเงินจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และขอขอบคุณ บริษัทสยามคูโบต้าอุตสาหกรรม จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออะไหล่และให้คำแนะนำเกี่ยวกับเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัย บริษัท ไชนันท์ เอ็นจิเนียริง แอนด์ อินทิเกรชั่น จำกัด ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการออกแบบและติดตั้งระบบชุดปั๊มน้ำที่ใช้ในงานวิจัย คุณธนนต์ สิริสิทธิ์โชติ ผู้จัดการใหญ่ บริษัท โฟกัสแลบอราทอรีส์ จำกัด ที่สละเวลาในการให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น ตลอดจนอำนวยความสะดวกระหว่างการตรวจวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

7. เอกสารอ้างอิง

1. Yusuf Ali, and M.A. Hanna. Alternative diesel fuels from vegetable oils. Bioresource Technology 50 (21 July 1994): 153-163.
2. Lim, T. H. Performance and emission analyses if diesel engine using heated blends of crude palm oil (CPO) with lighter fuel. MSc, University Sains Malaysia. 2001.
3. Bari, S., T. H. Lim, and C. W. Yu. Effects of preheating of crude palm oil (CPO) on injection system, performance and emission of a diesel engine. Renewable Energy Journal 27 (2002): 785-792.
4. Focus Laboratories Ltd. Oil Analysis the complete course for maintenance professionals, (เอกสารประกอบการสัมมนา 15-17 ตุลาคม 2546).