Performance Deterioration and Durability of High speed IDI Engine with CPO Diesel

คณิต วัฒนวิเชียร[1] เทอดศักดิ์ ชัยสุริยะพันธ์[2]
ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์สันดาปภายใน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพมหานคร 10330
โทร +66-22186607 โทรสาร +66-22522889 E-mail: wkanit@chula.ac.th[1], ctherdsak@hotmail.com[2]

Kanit Wattanavichien[1] Therdsak Chaisuriyaphun[2]
Internal Combustion Engine Research Laboratory
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,
Bangkok, 10330, Thailand
Tel: +66-22186607 Fax: +66-22522889 E-mail: wkanit@chula.ac.th [1], ctherdsak@hotmail.com [2]

บทคัดย่อ

การศึกษาถึงความเหมาะสมของการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าแบบหมุนวนในงานวิจัยนี้ได้เริ่มจากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเบื้องต้นของเครื่องยนต์ที่สภาวะภาระสูงสุดและที่สภาวะภาระบางส่วนระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล ซึ่งผลการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุดพบค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดที่แต่ละความเร็วรอบทดสอบเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล ส่วนที่ความเร็วรอบต่ำถึงรอบปานกลาง ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขที่ได้เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย โดยเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงตลอดช่วงการทำงาน ตามด้วยการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ได้กระทำภายใต้สภาวะการใช้งานซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการใช้งานต่อเนื่องภายใต้วัฏจักรภาระจำลองที่กำหนดต่อเนื่อง(โดยในการวิจัยนี้ได้ดัดแปลงมาจาก EMA TEST CYCLE) เป็นระยะเวลา 225 ชั่วโมงบนแท่นทดสอบและส่วนที่สองเป็นการใช้งานโดยนำเครื่องยนต์ไปใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กภายใต้ลักษณะการใช้งานปกติในสิ่งแวดล้อมจริงเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร พบว่าหลังการทดสอบความทนทานหัวฉีดมีคราบตะกอนจับหนาจนทำให้การฉีดไม่เป็นละอองฝอยอันส่งผลให้ Spray combustion ที่พบจากการถ่ายภาพการเผาไหม้ในเครื่องยนต์เกิดขึ้นล่าช้ากว่า สมรรถนะที่ได้มีค่าลดต่ำลงโดยค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 9 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดประมาณร้อยละ 5 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นซึ่งทำการสุ่มอย่างต่อเนื่องตลอดการทดสอบความทนทานเพื่อเฝ้าติดตามตรวจสภาพการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นก่อนและหลังการทดสอบบนแท่นทดสอบพบว่าทั้งค่าความหนืดและปริมาณโลหะปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นมีค่าสูงเกินเกณฑ์ปกติที่กำหนดไว้ แสดงให้เห็นว่ามีการสึกหรอเกิดขึ้นที่ค่อนข้างสูงและผลการตรวจพินิจชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์หลังการทดสอบ พบว่ามีคราบเขม่า ตะกรันและยางเหนียวติดอยู่บริเวณร่องแหวนลูกสูบที่ผนังห้องเผาไหม้และบริเวณหัวลูกสูบเป็นจำนวนมาก ซึ่งน่าจะเกิดมาจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ส่วนผลวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นในขั้นตอนการขับจริงพบว่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นอยู่ในเกณฑ์ปกติ

ผลที่ได้จากการทดสอบนี้สามารถสรุปได้ว่าการนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าแบบหมุนวนมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการสึกหรอค่อนข้างสูง จึงควรกำหนดระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นให้สั้นลง รวมถึงควรมีการหาวิธีในการกำจัดคราบหรือตะกอนที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้และที่หัวฉีดเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น หากมีการใช้งานในระยะยาวในอนาคต

1. บทนำ

จากปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลจำนวนมากทั้งในภาคการขนส่งและภาคการผลิตประกอบกับราคาน้ำมันดีเซลที่มีแนวโน้มที่สูงขึ้นในปัจจุบัน ทำให้มีความจำเป็นต่อการหาเชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลมีมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงจะแสดงให้เห็นถึงแนวทางของการนำน้ำมันปาล์มดิบซึ่งเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงจากพืช สามารถปลูกได้ในประเทศและมีปริมาณมากมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล โดยจะทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการนำเชื้อเพลิงชนิดนี้มาผสมทดแทนน้ำมันดีเซลในด้านสมรรถนะและความทนทานของเครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าที่ใช้ในรถบรรทุกขนาดเล็กที่ไม่ได้ทำการปรับแต่งเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีส่วนผสม ปาล์มดิบ 10 % และ น้ำมันดีเซล 90 % โดยปริมาตร เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาความเหมาะสมของการพิจารณานำเชื้อเพลิงผสมดังกล่าวมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนต่อไปในอนาคต การนำน้ำมันพืชมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นทำได้หลายรูปแบบ [1] โดยวิธีหลักที่นิยมใช้ มี 4

วิธี คือ (ก) การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรง (ข) การลดความหนืดของน้ำมันพืชโดยการผสมตัวทำละลาย เช่น น้ำมันดีเซล เอทานอล (Micro-emulsification) (ค) การแปลงโมเลกุลของไขมันในน้ำมันพืชให้เป็นเอสเตอร์ (Transesterification) และ (ง)การทำให้โมเลกุลแตกตัวเพื่อให้ขนาดเล็กลงโดยการให้ความร้อนหรือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Cracking or Pyrolysis) เป็นต้น การนำมาใช้อาจจะใช้แทนน้ำมันดีเซลทั้งหมดหรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลเพียงบางส่วน (Diesel Extender or Blending) สำหรับในประเทศทางเขตร้อนรวมทั้งประเทศไทยนิยมนำน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันมะพร้าวมาใช้ วิธีที่ง่ายที่สุดซึ่งน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับพื้นที่ที่ต้องการนำน้ำมันพืชมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลเป็นเพียงบางส่วนโดยที่ไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีในการผลิตและเป็นวิธีที่งานวิจัยนี้เลือกใช้ก็คือ การนำน้ำมันพืชมาใช้ผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่เหมาะสมเนื่องจากในรายงานการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าหากมีการนำน้ำมันพืชมาใช้แทนน้ำมันดีเซลทั้งหมดพบว่าจะทำให้เกิดปัญหาขึ้นกับการทำงานของเครื่องยนต์ [2] อาทิ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดเขม่าและคราบทำให้หัวฉีดเกิดการอุดตัน เกิดแหวนลูกสูบติดเนื่องมาจากคราบและไข (Wax and Gum) ที่เกิดขึ้นบริเวณร่องแหวน นอกจากนี้ยังพบว่ามีคาร์บอนตกค้างจำนวนมากบริเวณหลังวาล์วและบ่าวาล์ว ทำให้เกิดปัญหาวาล์วรั่วส่งผลให้กำลังอัดของเครื่องยนต์ลดลงและยังเกิดปัญหาคราบของน้ำมันพืชที่เกิดการออกซิเดชันซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายกับเครื่องยนต์ได้ [3,4]

การนำน้ำมันพืชมาใช้ในการศึกษาวิจัยนี้จึงเลือกน้ำมันปาล์มดิบโดยนำเทคนิคการทำให้โมเลกุลแตกตัวเพื่อให้ขนาดเล็กลงโดยการให้ความร้อนมาใช้ร่วมกับการลดความหนืดของน้ำมันโดยการใช้น้ำมันดีเซลเป็นตัวทำละลายเพื่อให้ความหนืดของน้ำมันผสมมีค่าลดลงป้องกันปัญหาการอุดตันของระบบจ่ายน้ำมันและช่วยทำให้ลักษณะของการสเปรย์และการแตกตัวเป็นละอองฝอยของน้ำมันปาล์มดิบดีขึ้นส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น[5] การทดสอบเพื่อศึกษาผลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลได้กระทำทั้งในระยะสั้นคือการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นและการทดสอบระยะยาวคือการติดตามผลของสมรรถนะที่เปลี่ยนแปลงและผลต่อความทนทานของเครื่องยนต์ ในด้านการสึกหรอที่เกิดขึ้น คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่เปลี่ยนไปเพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นต่อการนำน้ำมันชนิดนี้มาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลในอนาคต

2. น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

จากการทดสอบผลของอุณหภูมิน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมและสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการผสมของน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำมันดีเซล ด้วยการตรวจพินิจปริมาณตะกอนที่อยู่ในหลอดแก้วที่ตั้งทิ้งไว้หลังการผสมและจากการตรวจวัดปริมาณตะกอนหลังนำไปผ่านกระบวนการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นหลังจากเก็บน้ำมันผสมทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ปริมาณตะกอนในทุกส่วนผสมของการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมตั้งแต่ 60°C ขึ้นไปน้อยกว่าปริมาณตะกอนในทุกส่วนผสมของการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสม 40°C และพบว่า ณ อุณหภูมิน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสม 60°C สามารถเห็นปริมาณตะกอนได้ชัดเจนในปริมาณที่มาก เมื่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่นำมาผสมมีปริมาณตั้งแต่อัตราส่วนผสมที่ 13% ขึ้นไป

ผลจากการนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลผ่านกระบวนการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางพบว่าตะกอนจะถูกแรงเหวี่ยงอัดชิดปลายหลอดแก้ว จากการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นพบว่าการเพิ่มส่วนผสมของน้ำมันปาล์มดิบ จะทำให้ตะกอนที่ก้นหลอดมีปริมาณมากขึ้นตามปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่เพิ่มขึ้น และพบว่าตะกอนนี้จะมีปริมาณลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นก่อนการผสมมีค่าสูงขึ้น

จากผลดังกล่าวข้างต้นน้ำมันปาล์มดิบ 10% ผสมกับน้ำมันดีเซล 90% จึงเป็นส่วนผสมที่ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้เนื่องจาก เพราะว่าเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณตะกอนไม่มากนักและสะดวกในการผสม อุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมเท่ากับ 60°C เนื่องจากมีปริมาณของตะกอน และปริมาณการเกิดไขเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานที่น้อยกว่าจากการอุ่นที่อุณหภูมิ 40°C และพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมนั้นยิ่งมากก็ยิ่งมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดไขตะกอนหลังจากการผสมจะลดลงอย่างไรก็ตาม 60°C เป็นอุณหภูมิที่ไม่สูงจนเกินไปนักและเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ทำให้ไขในน้ำมันปาล์มดิบละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้

ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์นั้นได้ดำเนินการทดสอบภายใต้สภาวะที่ถูกควบคุม เนื่องจากการทดสอบกระทำในช่วงเวลาสั้นๆและมีค่าใช้จ่ายสูงดังนั้นจะต้องทำการทดสอบอย่างด้วยความระมัดระวังเป็นอย่างมากเพื่อให้ผลที่ได้ออกมามีความเที่ยงตรงและแม่นยำและจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงอ้างอิงจากแหล่งเดียวกันตลอดทั้งน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลและน้ำมันดีเซล เพื่อที่จะนำผลมาเปรียบเทียบกันได้ ซึ่งคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิงที่ใช้ในการนำมาผสมกับน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการทดสอบนี้ แสดงดังตารางที่ 1

ในการทดสอบความทนทานนั้นเป็นการทดสอบที่ต้องดำเนินการเป็นระยะเวลานาน การทดสอบนี้จึงต้องใช้เชื้อเพลิงเป็นจำนวนมากประกอบกับการหาน้ำมันที่มาจากแหล่งเดียวกันและเพื่อใช้ในการทดสอบตลอดโครงการจำเป็นต้องมีสถานที่จัดเก็บซึ่งไม่สามารถกระทำได้และเพื่อเป็นการจำลองการนำแนวคิดสูตรเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะไปปฏิบัติจริงตลอดจนศึกษาการสึกหรออันรวมผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการแกว่งของค่าคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลที่มีในท้องตลาดซึ่งมาจากแหล่งและ/หรือวาระ (batch) ที่ต่างกัน ดังนั้นเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบนี้จึงควบคุมเฉพาะวิธีการผสมโดยที่ไม่ควบคุมแหล่งหรือ batch ในขั้นตอนการผสมนั้นน้ำมันปาล์มดิบจะถูกนำมาทำให้ร้อนจนกระทั่งน้ำมันปาล์มดิบใส ที่อุณหภูมิประมาณ 60°C จากนั้นนำน้ำมันปาล์มดิบมาผสมกับน้ำมันดีเซลในภาชนะที่ได้เตรียมไว้ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล อนึ่งในการทดสอบความทนทานนี้ จะใช้น้ำมันผสมดังกล่าวควบคู่กับน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง ดังรายละเอียดดังนี้

1. น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง น้ำมันชนิดนี้จะถูกใช้สำหรับการวัดค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์

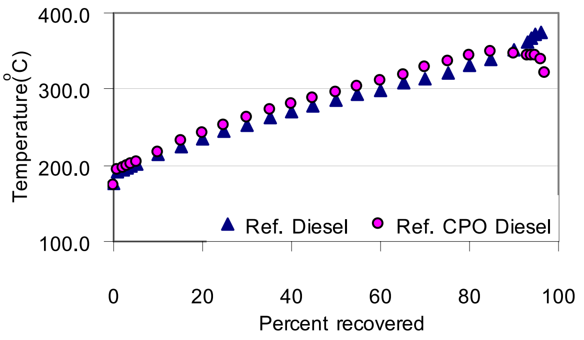
2. น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล เป็นน้ำมันผสมที่ถูกผสมเองโดยผู้ใช้ น้ำมันผสมชนิดนี้จะถูกใช้สำหรับการทดสอบความทนทาน

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 1% และ 2.6 % ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความร้อนและค่า cetane number มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 2.1% และ 6.5% ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบที่มีค่าความหนาแน่นและความหนืดที่สูงกว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงและค่า cetane number ที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ยังพบว่า ค่ากากคาร์บอน(carbon residue) และปริมาณขี้เถ้า(ash) ของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลอ้างอิง ส่วนค่าความสามารถในการหล่อลื่น(HFRR) ของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีคุณสมบัติที่ดีกว่าน้ำมันดีเซลอ้างอิงเล็กน้อย ค่าความเป็นกรดรวมของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าสูงกว่าน้ำมันเดีเซลอ้างอิง

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ

Properties	Test Method	Diesel	CPO/Diesel
SpecificGravity@15.6/15.6 $^{\circ}$C	ASTM D1298	0.8266	0.8360
Cetane Index	ASTM D976	58.9	-
Cetane number	ASTM D613	59.3	55.4
Viscosity @ 40 $^{\circ}$C (CSt)	ASTM D445	3.10	3.91
Pour point ($^{\circ}$C)	ASTM D97	-3	-6
Sulfer 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 ($^{\circ}$C)	ASTM D93	70	73
Distillation 90% recovered($^{\circ}$C)	ASTM D86	350.6	346.2
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

จากนั้นนำส่วนผสมที่เลือกใช้มาทำการทดสอบการกลั่นตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มดิบ 10% ผสมดีเซลอ้างอิง 90% มีอุณหภูมิของการกลั่นตัว (Distillation Curve) สูงกว่าอุณหภูมิการกลั่นตัวของน้ำมันดีเซลอ้างอิง ซึ่งหมายความว่าที่อุณหภูมิเดียวกันน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงจะมีปริมาณของไอที่ได้จากการระเหยของน้ำมันในปริมาณที่น้อยกว่า และช่วงปลายของการกลั่นตัวพบว่าในน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง ได้เกิดการแตกตัว (Cracking) เป็นโครงสร้างที่เล็กลงทำให้อุณหภูมิการกลั่นตัวของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าลดลง ซึ่งรวมถึงค่า T90 ด้วย



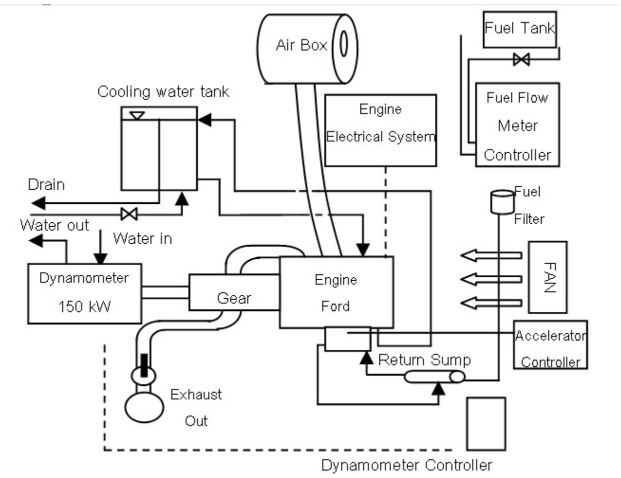
รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการกลั่นตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ของน้ำมันดีเซลอ้างอิงและปาล์มดิบผสมน้ำมันดีเซลอ้างอิง ตามมาตรฐาน ASTM D86

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม ขนาด 2500 ซีซี มีรายละเอียดทางเทคนิคดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งได้ทำการ Overhaul โดยเปลี่ยนชิ้นส่วนหลักคือ ลูกสูบ แหวนลูกสูบ ก้านสูบ แบริ่งก้านสูบและแบริ่งข้อเหวี่ยง วาล์วไอดี วาล์วไอเสีย ปะเก็นฝาสูบ และนำมา run-in เป็นระยะทาง 3000 กิโลเมตร ก่อนจะนำมาต่อเข้ากับไดนาโมมิเตอร์แบบ eddy-current ยี่ห้อ MEIDEN รุ่น EC-80 ในห้องปฏิบัติการซึ่งมีขนาดกำลังสูงสุดที่รับได้เท่ากับ 150 กิโลวัตต์ แรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดที่รับได้เท่ากับ 500 นิวตัน-เมตร ควบคุมการทำงานโดยชุดควบคุม MEIDEN รุ่น IED 853 สำหรับอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเป็นแบบ Volumetric Gravitation Flowmeter ซึ่งเป็นการวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร วัดอัตราการไหลของอากาศโดยการวัดความดันที่ตกคร่อม Orifice Plate โดยใช้มานอมิเตอร์ วัดอุณหภูมิของสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์โดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล Type K ติดตั้งที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ต้องการวัด แผนภูมิแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 2 น้ำมันสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นไปตามคำแนะนำจากบริษัทผู้ผลิต คือ SAE 40 API CF/CF-2/SF การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์จะทำทุกๆ 5000 กิโลเมตรโดยประมาณ (หรือ 20 วัฏจักรการทำงานบนแท่นทดสอบ)

ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าเป็นของ AVL-List GmbH ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ กล้อง CCD รุ่น PixelFly VGA COLOR มีความละเอียด (resolution) 640×480 พิกเซล พร้อม lens 25 มิลลิเมตร ระบบ endoscope ที่ใช้กับห้องเผาไหม้ ซึ่งเป็นแบบที่หล่อเย็นด้วยอากาศ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร, มุมเปิดที่ปลาย 80 และมุมมอง 30°, glass window สำหรับห้องเผาไหม้ ,light unit , light guide ทำจากแก้วควอร์ตซ์ที่ทนอุณหภูมิและความดัน ประกอบด้วย sleeve เหล็กเป็นตัววาง window และหลอดแก้วควอร์ตซ์ปลายแบนหรือกึ่งกลม มี windows รูปร่างต่างๆ เพื่อให้เข้ากับมุมมองที่หลากหลายของ endoscopes ในการทดสอบนี้จะใช้ combustion chamber window ที่มีมุมมอง 30° เพื่อให้สอดคล้องกับมุมมองของ endoscope ที่ใช้ , crank

angle encoder ที่ใช้เพื่อวัดตำแหน่งองศาข้อเหวี่ยงสำหรับเป็นข้อมูลสำหรับควบคุม AVL VisioScope ซึ่งต้องการความละเอียด 0.05 องศาข้อเหวี่ยงเป็นรุ่น 364C Optical Angle Encoder, ระบบกรองอากาศ, PC และ AVL VisioScope software



รูปที่ 2 แสดงแผนผังของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะและความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ

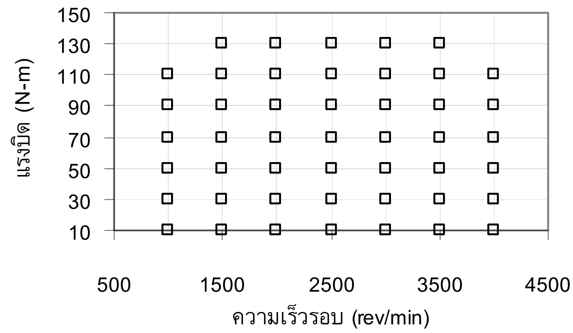
ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ทดสอบ

แบบ	4 สูบ 12 วาล์ว SOHC
ชนิด	แบบแถวเรียง 4 จังหวะการทำงาน
ระบบห้องเผาไหม้	Indirect Injection
ระบบประจุไอดี	Natural Aspirated
ระบบระบายความร้อน	ระบายความร้อนด้วยน้ำ
ปริมาตรกระบอกสูบ	2499 ซีซี
ความกว้างกระบอกสูบxช่วงชัก	93x92 มม.
ความยาวก้านสูบ	152 มม.
อัตราส่วนกำลังอัด	21.6 : 1
ระบบฉีดเชื้อเพลิง	ปั๊มหัวฉีดน้ำมันแบบจานจ่าย

4. ระเบียบวิธีวิจัย

สำหรับการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิง แบ่งได้เป็นการทดสอบหลังช่วง run-in เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเบื้องต้นของเครื่องยนต์ที่สภาวะภาระสูงสุดและที่สภาวะภาระบางส่วน จากความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่างภาระสูงสุดและความเร็วรอบที่ได้จากการทดสอบภาระสูงสุดจะถูกนำมากำหนดจุดในการทดสอบ (Matrix) ที่ความเร็วและที่แรงบิดต่างๆ เพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วนของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3

ส่วนการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดเป็นเชื้อเพลิง ได้กระทำภายใต้สภาวะการใช้งานซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการใช้งานต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 225 ชั่วโมง ภายใต้วัฏจักรภาระจำลองที่กำหนดต่อเนื่อง (โดยในการวิจัยนี้ได้ดัดแปลงมาจาก EMA TEST CYCLE) บนแท่นทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าใน 1 วัฏจักรการทำงานจะประกอบไปด้วย 4 ลำดับขั้นตอนการทดสอบ ซึ่งแต่ละวัฏจักรจะใช้เวลาในการทดสอบรวม 3 ชั่วโมง โดยในหนึ่งวันจะทำการทดสอบทั้งสิ้น 5 วัฏจักรเป็นระยะเวลารวม 15 ชั่วโมงต่อวัน ส่วนระยะเวลาที่เหลือ 9 ชั่วโมงจะเป็นการหยุดเพื่อพักและตรวจสภาพเครื่องยนต์และส่วนที่สองเป็นการใช้งานโดยนำเครื่องยนต์ไปใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กภายใต้ลักษณะการใช้งานปกติในสิ่งแวดล้อมจริงเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร ระหว่างการทดสอบความทนทานทั้งสองส่วนได้ทำการสุ่มน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์อย่างต่อเนื่องตลอดการทดสอบเพื่อเฝ้าติดตามตรวจสภาพการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่เกิดขึ้น การสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นทำได้โดยใช้อุปกรณ์พิเศษดูดน้ำมันผ่านทางรูเหล็กวัดระดับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่รอบเดินเบา (900 รอบต่อนาที) ที่อุณหภูมิทำงานปกติของเครื่องยนต์ โดยในแต่ละครั้งจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร หลังจากการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำมันแล้วจะทำการเติมน้ำมันใหม่กลับคืนในปริมาตรที่เท่ากันกับที่สุ่มไปทุกครั้ง



รูปที่ 3 แสดงเมตริกซ์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สภาวะภาระบางส่วน

ตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดของขั้นตอนทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบเป็นระยะเวลา 225 ชั่วโมง

ลำดับ (step)	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์		แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	เวลา (นาที)	ระยะทางเทียบเท่า (กม.)
	เงื่อนไขการทดสอบ	ความเร็วทดสอบ (รอบต่อนาที)			
1	ร้อยละ 87 ของ ความเร็วรอบที่กำลังสูงสุด	3250	แรงบิดสูงสุด	60	110
2	ร้อยละ 85 ของ ความเร็วรอบในลำดับที่ 1	2750	แรงบิดสูงสุด	60	90
3	ร้อยละ 90 ของ ความเร็วรอบในลำดับที่ 1	2900	ร้อยละ 25 ของ แรงบิดสูงสุด (40 นิวตัน-เมตร)	30	50
4	เดินเบา	900	-	30	-
			รวม	180	250

หลังจากการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบได้ทำการวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สภาวะภาระสูงสุดและภาระบางส่วนพร้อมทั้งได้ทำการถ่ายภาพ Spray combustion ที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้

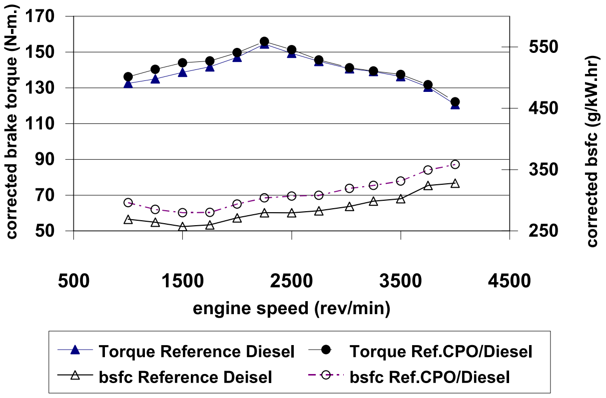
ล่วงหน้าของเครื่องยนต์ทั้งก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน โดยที่การทดสอบจะกระทำที่สภาวะคงตัว ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ จุดทำงานที่เลือกเป็นกรณีศึกษาคือ 1000 รอบต่อนาที 30 นิวตัน-เมตร และ 2000 รอบต่อนาที 30 นิวตัน-เมตร ระหว่างที่ทำการบันทึกภาพที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้จะมีการบันทึกข้อมูลของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ความดันและอุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งการเก็บข้อมูลของ Spray combustion ที่เกิดขึ้นจะเก็บระหว่างช่วง -10 องศาข้อเหวี่ยง ถึง 40 องศาข้อเหวี่ยง สำหรับในงานวิจัยนี้ การจุดระเบิด (ignition) จะหมายถึง การปรากฏครั้งแรกของ luminous combustion แม้ว่าที่จริงบริเวณที่มีการเกิดการเผาไหม้ขึ้นมาก่อน (pre-flame combustion) จะเป็นส่วนที่เกิดขึ้นโดยที่ไม่มีการปล่อยแสงสว่าง (luminous emission) ออกมาให้เห็น ซึ่งด้วยข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่มีอยู่จึงไม่สามารถตรวจจับได้ นอกจากนี้เปลวไฟ(Flame) จะหมายความถึง บริเวณที่มีการเผาไหม้ที่มีแสงสว่าง(luminous) เกิดขึ้น ภาพถ่ายของ luminous flame จะแสดงเป็นลำดับจากการเริ่มต้นจุดระเบิดจนกระทั่งถึงจุดสิ้นสุดของการเผาไหม้ ถึงแม้ว่าภาพที่ถ่ายของ luminous flame แต่ละภาพจะมาจาก cycle ที่แตกต่างกัน ความแปรปรวนของ Cycle - to - Cycle Variation ถูกนำมาพิจารณาร่วมด้วยโดยการใช้เทคนิคการเฉลี่ยภาพแต่ละภาพที่ซ้ำกันจากทั้งหมด 707 Cycle เพื่อนำมาใช้ประมวลเพื่อจำลองการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นแทน

5. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

5.1 ผลการทดสอบในส่วนของสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง หลังช่วง run-in

5.1.1 การทดสอบที่สภาวะคงตัวภาระสูงสุด จากผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิงจะมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงที่ทุกความเร็วรอบที่ทำการทดสอบ โดยมีค่าของแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง เท่ากับ 156 นิวตัน-เมตร ที่ ความเร็วรอบ 2250 รอบต่อนาที และเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงจะให้ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดเท่ากับ 154.4 นิวตัน-เมตร ที่ความเร็วรอบเดียวกันที่ความเร็วต่ำ (1000 รอบต่อนาที ถึง 1750 รอบต่อนาที) จะเห็นความแตกต่างได้ค่อนข้างชัดเจนโดยที่ความแตกต่างมากที่สุดของค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิงเทียบกับเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 3.9 % ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1250 รอบต่อนาที เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์มากขึ้น ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดที่ได้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเป็นผลจากคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบที่มีค่าความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลทำให้เกิดการรั่วไหลระหว่างกระบวนการอัดของเชื้อเพลิงในระบบปั๊มเชื้อเพลิงมีปริมาณที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซลจึงส่งผลให้เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้มากกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิง

ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่สภาวะภาระสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงให้ค่าที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงที่ทุกความเร็วรอบที่ทำการทดสอบซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 7.8 ถึง 10.2 % เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงจะให้ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะต่ำสุดเท่ากับ 280 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที ส่วนน้ำมันดีเซลอ้างอิงให้ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะต่ำสุดเท่ากับ 257 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบเดียวกัน ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงค่อนข้างคงที่ (อยู่ในช่วง 8-10%) ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของค่าความร้อนของเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลอ้างอิงและปริมาณการฉีดที่มากกว่าในจังหวะการฉีดเดียวกัน



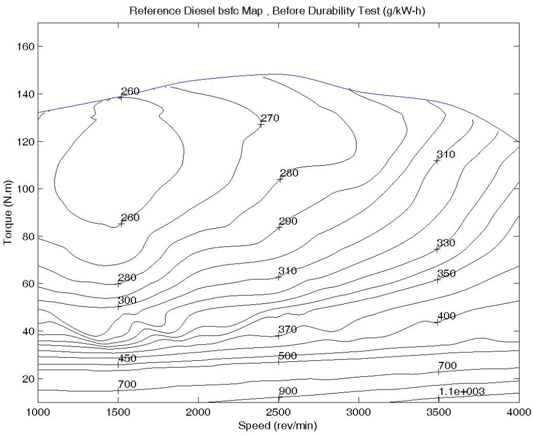
รูปที่ 4 แสดงค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่สภาวะคงตัวภาระสูงสุด แต่ละความเร็วรอบของการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง

5.1.2 การทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน เพื่อวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะได้แสดงอยู่ในรูปของแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 5 (ก) และ (ข) เมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง ตามลำดับ เมื่อมองภาพรวมของแผนภูมิสมรรถนะ พบว่า แนวของเส้นอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะคงที่ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง มีค่าที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลอ้างอิงตลอดทุกช่วงภาระและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ นั่นคือถ้าพิจารณาผลที่ตำแหน่งค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและความเร็วรอบเดียวกันน้ำมันดีเซลอ้างอิงจะให้ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะต่ำกว่าน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง บริเวณเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำสุดมีค่าประมาณ 260 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เกิดขึ้นที่ช่วงแรงบิดเบรกแก้ไขประมาณ 85 ถึง 140 นิวตัน-เมตร ณ ความเร็วรอบประมาณ 1100 ถึง 1800 รอบต่อนาที ส่วนน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงจะมีบริเวณของค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะต่ำสุดประมาณ 280 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เกิดขึ้นที่ช่วงแรงบิดเบรกแก้ไขประมาณ 90 ถึง 135 นิวตัน-เมตร และความเร็วรอบประมาณ 1100 ถึง 2000 รอบต่อนาที

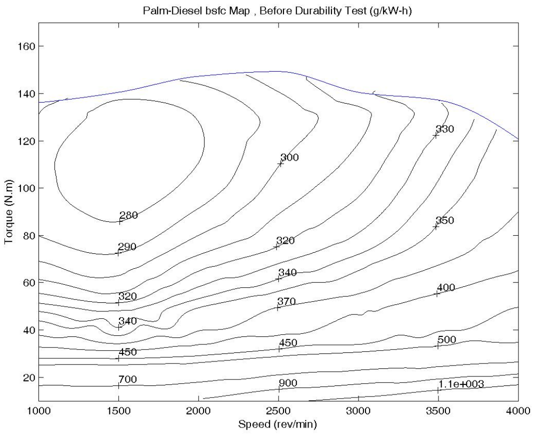
5.2 ผลการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์

การทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการจำลองภาระของเครื่องยนต์ให้ทำงานภายใต้วัฏจักรภาระจำลองที่กำหนดต่อเนื่องเป็น

ระยะเวลา 225 ชั่วโมงบนแท่นทดสอบ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดเป็นเชื้อเพลิงสามารถสรุปผลได้ดังนี้ ผลการวัดค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะตลอดช่วงเวลาการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 แสดงได้ดังรูปที่ 6 , 7 และ 8 ตามลำดับ พบว่าผลของค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่ได้จากการทดสอบในแต่ละช่วงการทำงานมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเป็นช่วงโดยสัมพันธ์กับช่วงการบำรุงรักษา ที่สภาวะการทำงานที่ 1 ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขมีลักษณะแกว่งตัวเล็กน้อยในแต่ละช่วงของการใช้งานตามระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันที่บริษัท



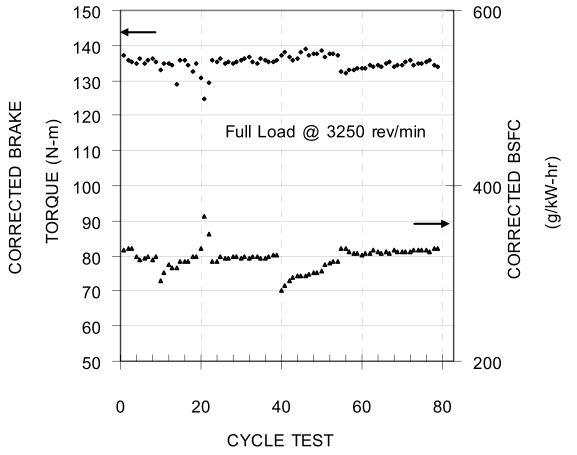
(ก) น้ำมันดีเซลอ้างอิง



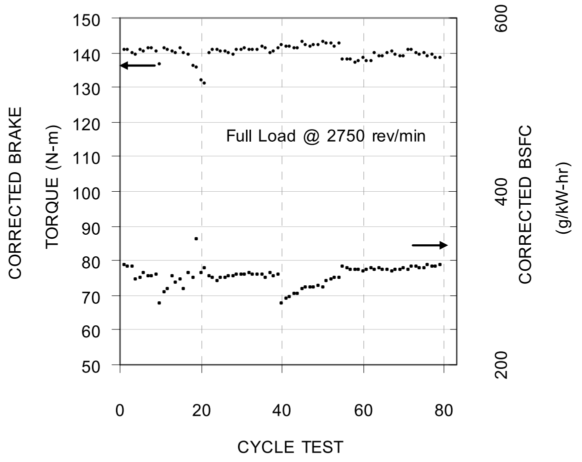
(ข) น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง

รูปที่ 5 แสดงแผนภูมิสมรรถนะแสดงค่า bsfc map ของเครื่องยนต์ ก่อนการทดสอบความทนทาน (ก) น้ำมันดีเซลอ้างอิง (ข) น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง หน่วยเป็น กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ผู้ผลิตกำหนดแต่หากพิจารณาตลอดการทดสอบความทนทานจะพบว่าค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย สำหรับช่วงการทดสอบในวัฏจักรที่ 10 – 19 แรงบิดเบรกแก้ไขมีค่าต่ำลงอย่างผิดปกติ ในขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากคุณภาพของน้ำมันดีเซลตามท้องตลาดที่แตกต่างกันตามแหล่งที่มาและวาระที่ต่างกัน ส่วนการทดสอบในวัฏจักรที่ 40 – 59 พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะตั้งต้นมีค่าลดลงอย่างผิดปกติแล้วกลับเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าคงที่ ซึ่งน่าจะเป็นผลที่สัมพันธ์กับช่วงเวลาการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ เนื่องจากก่อนที่จะเริ่มวัฏจักรที่ 40 ได้มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นพร้อมทั้งเปลี่ยนไส้กรองน้ำมันหล่อลื่นก่อนการทดสอบ สำหรับผลการวัดค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่สภาวะการทำงานที่ 2 นั้นมีแนวโน้มที่คล้ายกับผลที่ได้จากการทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 1 ด้วยเหตุผลลักษณะเดียวกัน

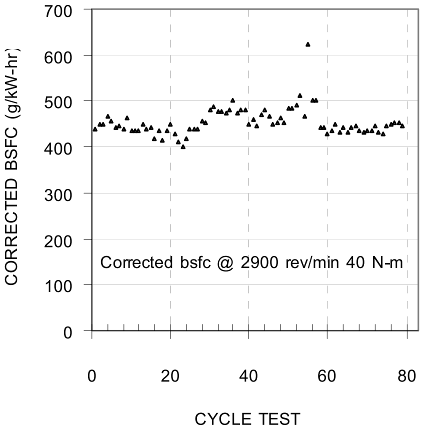


รูปที่ 6 แสดงค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 1 (ภาระสูงสุดที่ 3250 รอบต่อนาที)



รูปที่ 7 แสดงค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 2 (ภาระสูงสุดที่ 2750 รอบต่อนาที)

ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดก่อนการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 มีค่า 139 นิวตัน-เมตร จะมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงตามชั่วโมงทำงานที่เพิ่มขึ้นซึ่งพบว่าจะมีค่าเป็น 134 นิวตัน-เมตร ภายหลังการทดสอบความทนทาน คิดเป็นความแตกต่างเท่ากับ 3.9 % ขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากค่าก่อนการทดสอบ 324 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็น 331 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง หลังการทดสอบ คิดเป็นความแตกต่างเท่ากับ 2 %ส่วนผลการทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 2 ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดก่อนการทดสอบเท่ากับ 145.6 นิวตัน-เมตร ก็มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกันโดยพบว่าจะมีค่าเป็น 140 นิวตัน-เมตร ภายหลังการทดสอบ คิดเป็นความแตกต่างเท่ากับ 3.8 % โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากค่าก่อนการทดสอบ 308 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็น 315 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง หลังผ่านการทดสอบ คิดเป็นความแตกต่างได้ 2.3 % ในสภาวะการทำงานที่ 3 ซึ่งกำหนดให้เครื่องยนต์ทำงานที่ค่าแรงบิดคงที่ 40 นิวตัน-เมตร ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากค่า 437 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ เป็น 460 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง หลังผ่านการทดสอบความทนทาน คิดเป็นความแตกต่างที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 5 %

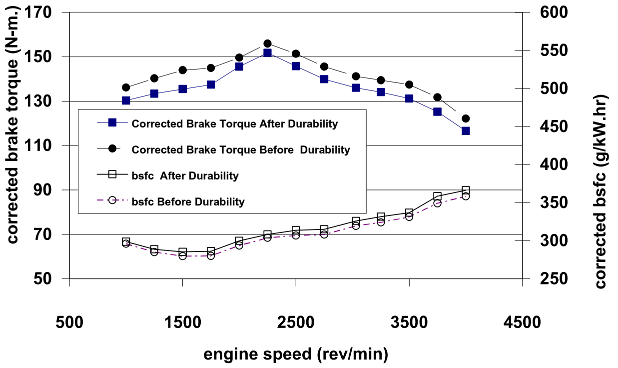


รูปที่ 8 แสดงและค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 3 (ภาระคงตัว 40 นิวตัน-เมตร ที่ 2900 รอบต่อนาที)

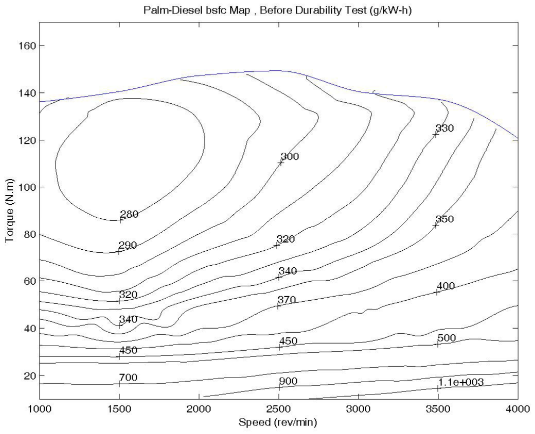
5.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

ผลการทดสอบสมรรถนะหลังการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ แสดงไว้ในรูปที่ 9 และ 10

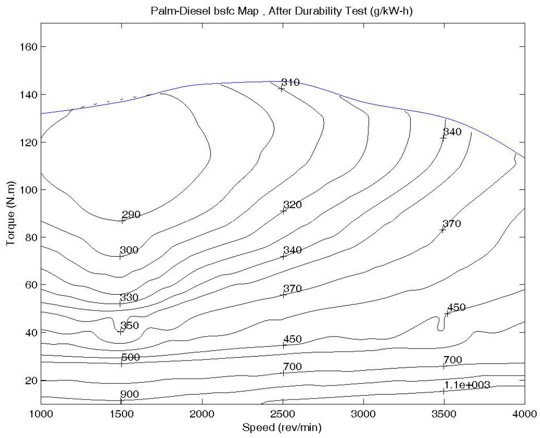
ผลจากการเปรียบเทียบสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุด (Full Load) ก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบความทนทานเป็นเวลา 225 ชั่วโมงพบว่า แรงบิดเบรกแก้ไขหลังผ่านการทดสอบมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดในทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ มีค่าลดลงระหว่าง 4.1 - 8.5 นิวตัน-เมตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ระหว่าง 2.6 %-5.9 %



รูปที่ 9 แสดงค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่สภาวะคงตัวภาระสูงสุด แต่ละความเร็วรอบของการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงก่อนและหลังทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ



(ก) ก่อนทดสอบความทนทาน



(ข) หลังทดสอบความทนทาน

รูปที่ 10 แสดงแผนภูมิสมรรถนะแสดงค่า bsfc map ของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเปรียบเทียบค่าก่อนทดสอบความทนทาน (ก) กับหลังการทดสอบความทนทาน (ข) หน่วยเป็น กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

โดยแรงบิดเบรกแก้ไขมีค่าลดต่ำลงมากที่สุดที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขลดลง 8.5 นิวตัน-เมตร. คิดได้เป็น 8.5% ของค่าแรงบิดเบรกแก้ไขก่อนการทดสอบความทนทาน ส่วนค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ มีสูงกว่าค่าก่อนการทดสอบความทนทานที่ทุกความเร็วรอบราว 0.9 – 2.6 % โดยอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะเบรกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น

ผลของสมรรถนะที่ภาระบางส่วนหลังการทดสอบความทนทาน พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นทุกช่วงภาระและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 10

5.4 ภาพถ่าย CPO diesel Spray combustion ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

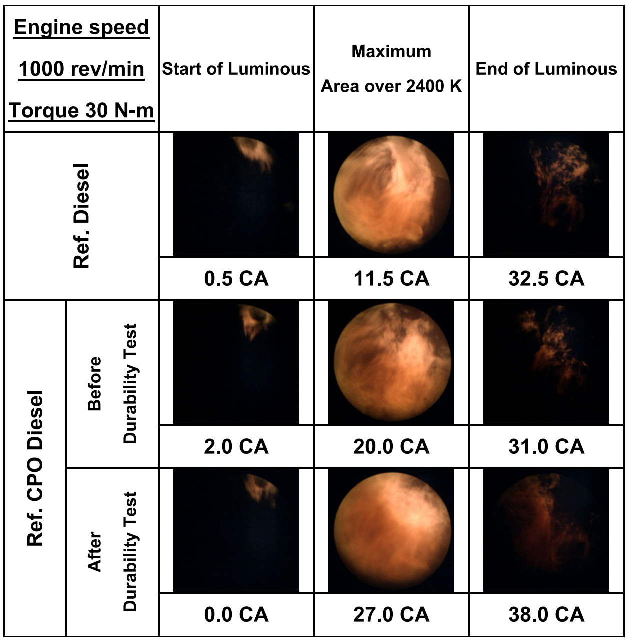
หลังจากที่ได้ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ก่อนการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบผู้วิจัยได้ทำการถ่ายภาพ Spray combustion ที่เกิดขึ้น ทั้งกรณีที่ใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและทำการถ่ายภาพอีกครั้งหลังการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง ผลที่เกิดขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11 และรูปที่ 12 ซึ่งเป็นการถ่ายภาพที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 รอบต่อนาที ที่แรงบิด 30 นิวตัน-เมตร และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที ที่แรงบิด 30 นิวตัน-เมตร ตามลำดับ

5.4.1 พฤติกรรมก่อนการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบเปรียบเทียบระหว่างปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและดีเซลอ้างอิง

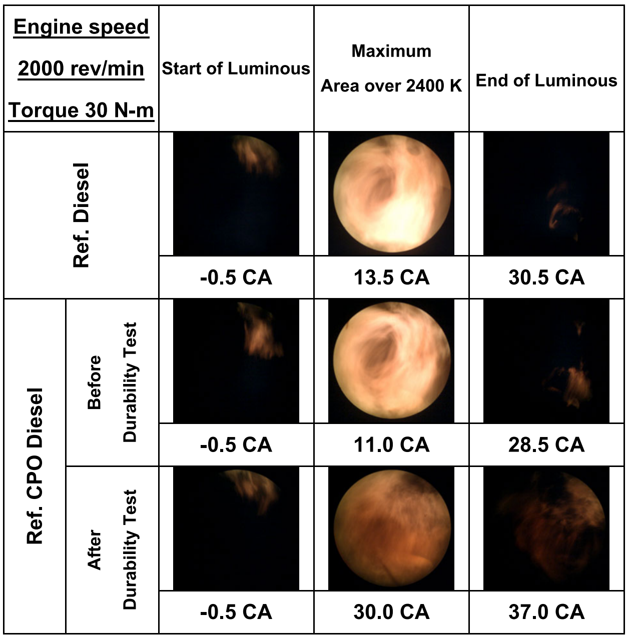
- ตำแหน่งที่เริ่มเห็นเปลวไฟ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเกิดช้ากว่าดีเซลอ้างอิงในช่วงความเร็วต่ำและจะเกิดเร็วขึ้นในช่วงความเร็วและภาระที่สูงขึ้น
- ช่วงการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีช่วงการเผาไหม้ที่สั้นกว่าดีเซลอ้างอิง จะมีช่วงการเผาไหม้สั้นลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มสูงขึ้นและภาระสูงขึ้น

5.4.2 พฤติกรรมของปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงหลังการทดสอบ Durability เปรียบเทียบกับก่อนการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

- ตำแหน่งที่เริ่มเห็นเปลวไฟ หลังการทดสอบจะเห็นเปลวไฟเร็วขึ้นในช่วงความเร็วต่ำ แต่ไม่แตกต่างกันในช่วงความเร็วสูง
- ช่วงการเผาไหม้ พบว่าหลังทดสอบความทนทาน พบช่วงการเผาไหม้ยาวขึ้นในทั้งสองเงื่อนไขซึ่งเป็นผลมาจากพฤติกรรมของสเปรย์ที่มีการกระจายตัวน้อยกว่าและมีขนาดละอองฝอยที่ใหญ่ขึ้นกว่าก่อนการทดสอบความทนทาน



รูปที่ 11 แสดงภาพ luminous spray combustion ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเครื่องยนต์ที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาที แรงบิด 30 นิวตัน-เมตร เมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงก่อนทดสอบความทนทานและเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงหลังการทดสอบความทนทาน



รูปที่ 12 แสดงภาพ luminous spray combustion ในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของเครื่องยนต์ที่ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที แรงบิด 30 นิวตัน-เมตร เมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงก่อนทดสอบความทนทานและเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงหลังการทดสอบความทนทาน

5.5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น

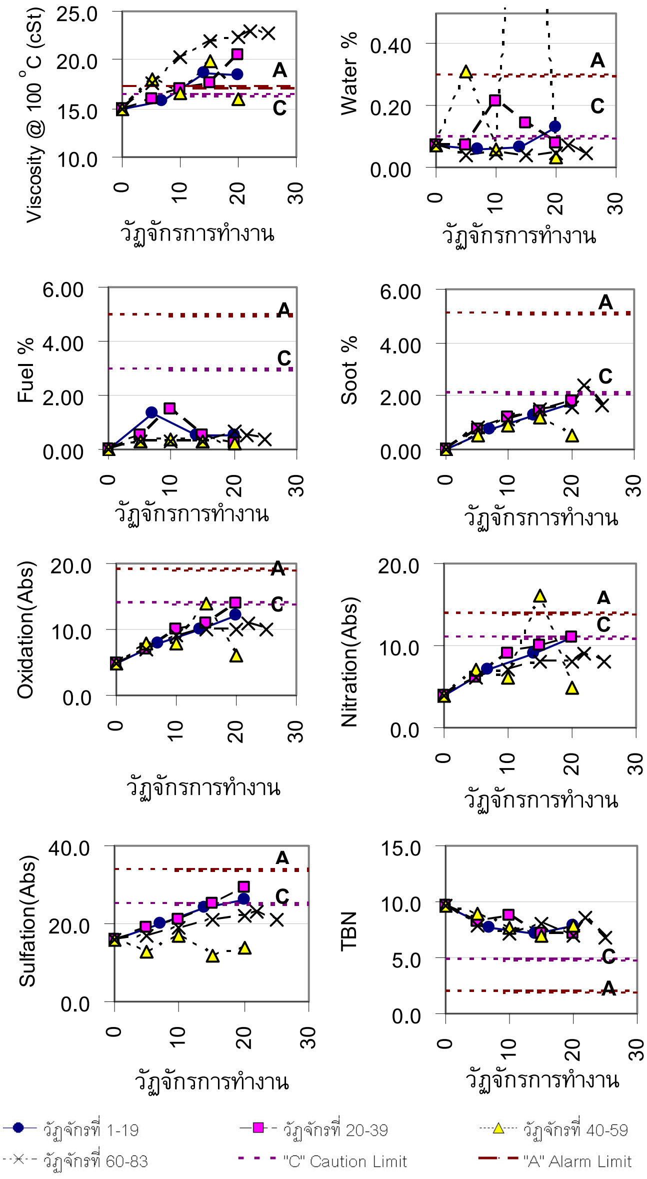
5.5.1 ผลของการวิเคราะห์ติดตามคุณสมบัติระหว่างทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนของสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบ มีดังต่อไปนี้ ส่วนแรกจะเป็นการแสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบ โดยคุณสมบัติที่ได้เฝ้าติดตามตรวจสภาพคือ ค่าความหนืดของน้ำมันที่ 100 $^{\circ}$C ปริมาณเขม่า น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำ ค่าออกซิเดชั่น ไนเตรชั่น และซัลเฟชั่น ค่า TBN ของน้ำมันหล่อลื่น สำหรับในส่วนที่สองจะเป็นการวิเคราะห์ปริมาณธาตุโลหะที่เกิดจากการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ การรายงานผลจะแบ่งช่วงการทำงานเป็น 4 ช่วงตามระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นคือ ช่วงที่ 1 คือ วัฏจักรที่ 1-19 ช่วงที่ 2 คือ วัฏจักรที่ 20-39 ช่วงที่ 3 คือ วัฏจักรที่ 40-59 และช่วงที่ 4 คือ วัฏจักรที่ 60-83 ดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นในส่วนแรกแสดงในรูปที่ 13 พบว่าค่าความหนืดที่ 100 $^{\circ}$C มีค่าสูงเกินระดับเตือนภัย “A” [1] ก่อนครบอายุการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดในแต่ละช่วงของการใช้งาน สำหรับปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง และเขม่าไม่พบว่ามีค่าเกินระดับเตือนภัยขั้นเริ่มต้น ”C” ปริมาณเขม่าที่ตรวจพบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่มากขึ้น ยกเว้นปริมาณน้ำที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งเริ่มมีค่าเกินเกณฑ์การเตือนภัยเริ่มต้น”C” ที่ปลายของการทำงานช่วงที่ 1 และหลังจากนั้นเริ่มมีการตรวจพบปริมาณน้ำสูงเกินเกณฑ์การเตือนภัยระดับ C บ่อยครั้งขึ้น ในช่วงการทำงานที่ 3 พบว่าปริมาณน้ำมีค่าสูงเกินเกณฑ์การเตือนภัยระดับ A ในวัฏจักรที่ 44 และวัฏจักรที่ 54 ผู้วิจัยจึงตรวจหาสาเหตุของการเจือปนของน้ำที่เข้าสู่น้ำมันหล่อลื่น ผลการตรวจสอบพบว่ามีรอยร้าวของฝาสูบที่ทางเดินของน้ำหล่อเย็นด้านท่อไอเสีย จึงได้ทำการเปลี่ยนฝาสูบพร้อมทั้งเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องใหม่ ก่อนที่จะดำเนินการทดสอบต่อไป ในส่วนของค่าออกซิเดชั่น ไนเตรชั่นและซัลเฟชั่น พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่มากขึ้นเช่นเดียวกันซึ่งทำให้เกิดความเป็นกรดในน้ำมันหล่อลื่นมากขึ้นโดยดูจากค่า TBN ที่มีค่าต่ำลงแต่ยังไม่ถึงระดับเตือนภัยขั้นเริ่มต้น จากการพิจารณาสภาพโดยรวมของคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นที่เปลี่ยนไปมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์มากกว่าปกติ

ผลการวิเคราะห์ในส่วนที่สองซึ่งจะกล่าวถึงปริมาณธาตุโลหะที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นที่เกิดขึ้นนั้นมาจากชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ ซึ่งโดยทั่วไปจะมาจากชิ้นส่วนและแหล่งต่างๆ ดังนี้

[1] ค่าขอบเขตการเตือนสิ่งผิดปกติซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระดับ[6] คือ ระดับ “C” – Caution ซึ่งเป็นระดับเตือนขั้นเริ่มต้นถึงความผิดปกติต่อน้ำมันหล่อลื่นที่ควรเริ่มติดตามและเอาใจใส่ และระดับ “A”- Abnormal (หรือ Critical) ซึ่งเป็นระดับการเตือนขั้นวิกฤตซึ่งแสดงถึงสภาพน้ำมันหล่อลื่นหรือการสึกหรอของเครื่องจักรอยู่ในขอบเขตที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรได้ โดยการอ้างอิงจากหลักสถิติที่สะสมจากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ลักษณะเดียวกันเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 13 แสดงคุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ

เหล็ก (Fe) - มาจาก กระบอกสูบ เสื้อสูบเหล็กหล่อ ,แหวนลูกสูบ , ไกด์วาล์ว, ลูกสูบ(เป็นส่วนผสมระหว่างเหล็กกับอลูมิเนียม) เพลาข้อเหวี่ยง เพลาลูกเบี้ยว

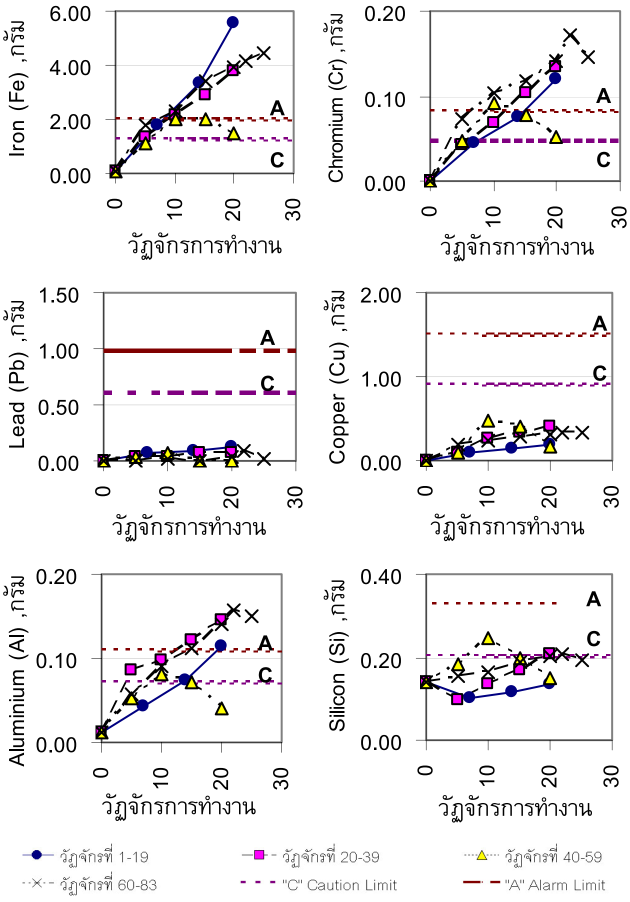
โครเมียม (Cr) มาจากผิวเคลือบแหวนลูกสูบ ชิ้นส่วนเพลาหรือกระบอกสูบ

ตะกั่ว (Pb) และ ทองแดง (Cu) มาจากแบริ่งก้านสูบ บุช ก้านสูบ

อลูมิเนียม (Al) มาจากลูกสูบ หรือมาจากทรายหรือผงฝุ่นก็เป็นได้

ซิลิกอน (Si) มาจากฝุ่นละอองและเศษผงจากอากาศภายนอก

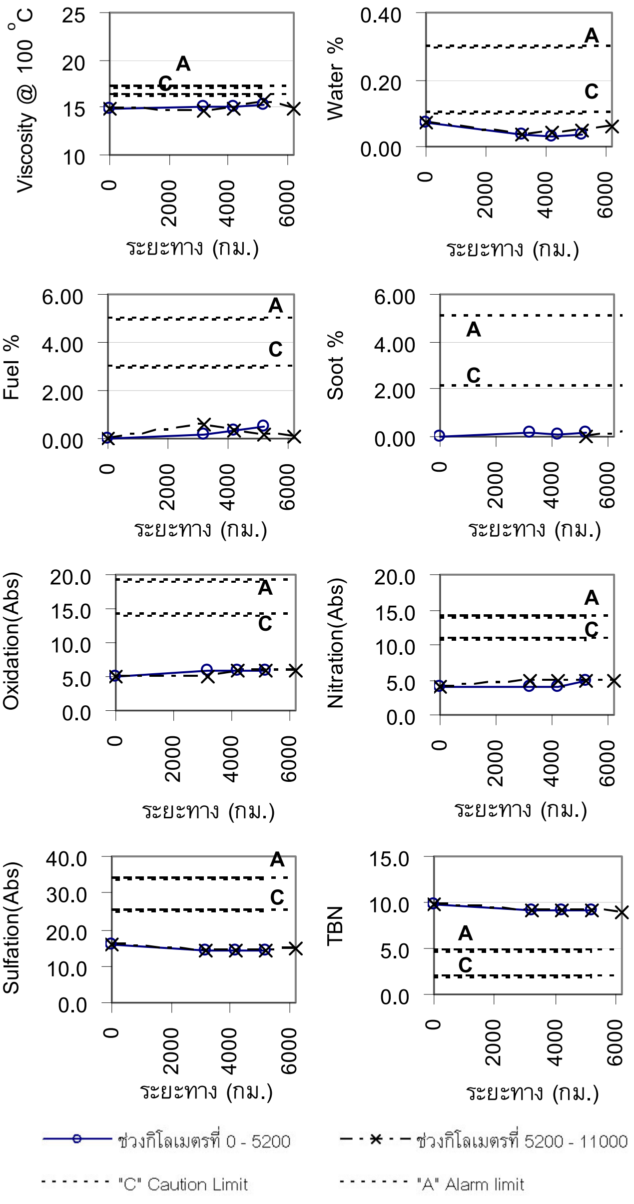
ในงานวิจัยนี้ ปริมาณโลหะสะสมแสดงอยู่ในหน่วยกรัม ตลอดช่วงวัฏจักรการทำงานของการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบแสดงในรูปที่ 14 จากผลการทดสอบสามารถพิจารณาแยกเป็นธาตุโลหะปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดได้ดังนี้ ปริมาณเหล็ก(Fe) , โครเมียม(Cr) ,อลูมิเนียม(Al) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของลูกสูบและแหวนลูกสูบมีค่าสูงเกินระดับเกณฑ์การเตือนภัยขั้นวิกฤต “A” ก่อนครบอายุการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นและมีแนวโน้มของการปนเปื้อนของธาตุโลหะเหล่านี้มากขึ้นตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ เมื่อพิจารณาที่อายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน อันผลมาจากค่าความหนืดของน้ำมันที่สูงขึ้นทำให้คุณสมบัติในการหล่อลื่นของน้ำมันเสื่อมสภาพลงการสึกหรอจึงสูงขึ้น นอกจากนี้ปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเองรวมทั้งการใช้งานที่มีอุณหภูมิสูงและการสะสมของปริมาณเขม่าที่เพิ่มมากขึ้นตามอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นจะมีส่วนเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นมากยิ่งขึ้นส่งผลให้การสึกหรอมีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 14 แสดงปริมาณธาตุจากชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ

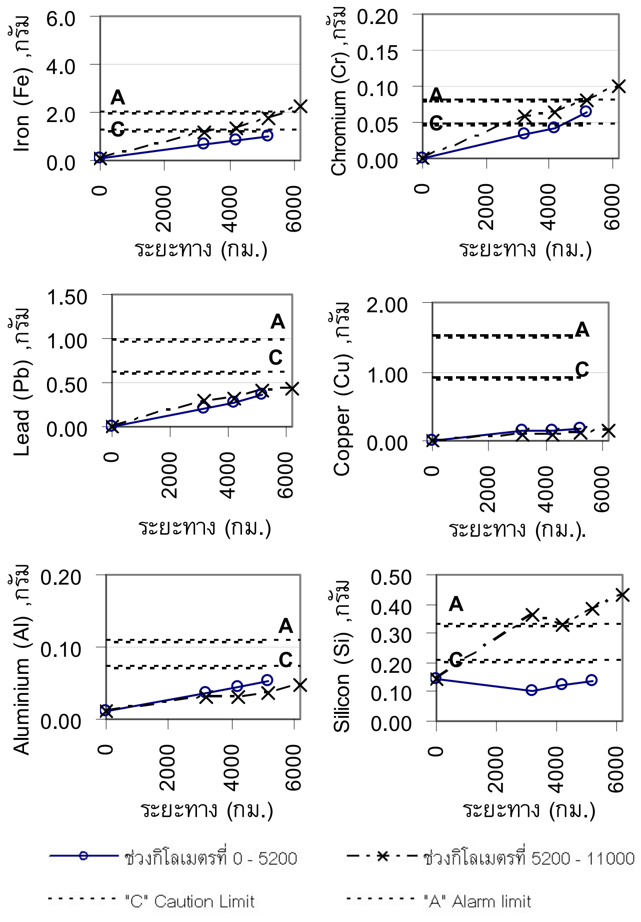
5.5.2 ผลการวิเคราะห์ติดตามคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กภายใต้ลักษณะการใช้งานปกติ

ผู้วิจัยได้ทำการขับรถทดสอบในสิ่งแวดล้อมจริงเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร โดยมีสัดส่วนการขับขี่ในเมือง(city) และบนทางหลวงระหว่างจังหวัด (highway) ในสัดส่วน 30:70 เพื่อดูผลจากสิ่งแวดล้อมที่อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่น ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นแสดงไว้ในรูปที่ 15 พบว่า ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ 100 °C มีค่าไม่เกินระดับเกณฑ์การเตือนภัยเริ่มต้น ปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำและปริมาณเขม่าที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นมีค่าไม่เกินระดับเกณฑ์การเตือนภัยเริ่มต้น ส่งผลให้ค่าออกซิเดชั่น ไนเตรชั่น และซัลเฟชั่น มีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในเกณฑ์ปกติ โดยค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในขณะที่ ค่า TBN มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกัน โดยมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่ออายุการใช้งานของน้ำมันมากขึ้น



รูปที่ 15 แสดงคุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง

ส่วนปริมาณธาตุที่มาจากการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์แสดงในรูปที่ 16 พบว่าโดยส่วนใหญ่ไม่พบว่ามีค่าที่เกินเกณฑ์เตือนภัยระดับเริ่มต้น “C” ยกเว้นในช่วงหลัง (กิโลเมตรที่ 5200 – 11400) ที่มีการใช้งานเกินจากอายุการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันทำให้ปริมาณการสะสมของธาตุเหล็ก(Fe) ,โครเมียม(Cr) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแหวนลูกสูบ ในขณะที่การสึกหรอที่สูงขึ้นของลูกสูบและแหวนลูกสูบเล็กน้อยนั้นเกิดพร้อมกับการตรวจพบว่าปริมาณธาตุซิลิกอน(Si) มีค่ามากขึ้นเช่นเดียวกัน โดยที่การสึกหรอที่มากขึ้นนั้นน่าจะมาจากผลของฝุ่นละอองในสิ่งแวดล้อมจากการใช้งานจริงมากกว่าที่จะเป็นผลที่เกิดมาจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลในช่วงของการทดสอบโดยการขับจริงซึ่งเครื่องยนต์ทำงานที่ภาระเบากว่าการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นและปริมาณธาตุโลหะสะสมในน้ำมันหล่อลื่นโดยสามารถใช้งานได้ปกติภายใต้การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นตามอายุการใช้งานที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ



รูปที่ 16 แสดงปริมาณธาตุจากชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง

5.6 ผลการตรวจพินิจชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์หลังการทดสอบความทนทาน

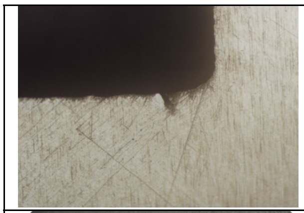
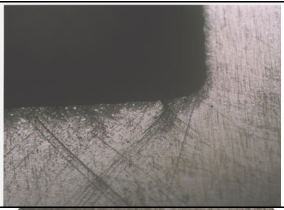
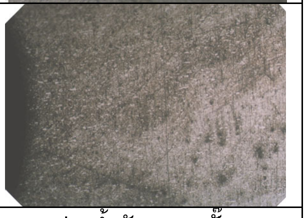
หลังการทดสอบความทนทานได้ทำการถอดชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์และถ่ายภาพประกอบเพื่อใช้ในการตรวจพินิจชิ้นส่วน ซึ่งประกอบไปด้วย ลูกสูบ ผนังกระบอกสูบ ฝาสูบและวาล์วไอดี วาล์วไอเสีย ผลการตรวจพินิจพบว่าบริเวณหัวลูกสูบ ร่องแหวนลูกสูบ มีปริมาณคราบเขม่าที่เกาะตัวสะสมอยู่เป็นจำนวนมากโดยเฉพาะส่วนหัวลูกสูบที่สัมผัสกับการเผาไหม้โดยตรง เขม่าที่เกิดขึ้นมีลักษณะค่อนข้างหนาบริเวณด้านทางออกของห้องเผาไหม้ช่วย ในส่วนของผนังกระบอกสูบ บริเวณช่วงปลายของห้องเผาไหม้ส่วนที่ติดกับฝาสูบ ตรวจพบว่ามีปริมาณเขม่าสะสมอยู่ในทุกๆ ด้าน ลักษณะของเขม่าเป็นตะกอนแข็งเกาะอยู่โดยรอบ สำหรับการตรวจพินิจบริเวณฝาสูบพบคราบเขม่าเป็นจำนวนมากเช่นกันโดยเฉพาะบริเวณร่องบ่าวาล์วไอดี นอกจากนี้ยังตรวจพบคราบเขม่าสีส้มเกาะติดที่หน้าฝาสูบ ดังแสดงในรูปที่ 17 นอกจากนี้ในบริเวณร่องแหวนยังตรวจพบคราบเขม่า ตะกรันเป็นยางเหนียวเป็นจำนวนมาก ซึ่งน่าจะเกิดมาจากคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

รูปที่ 17 แสดงหัวลูกสูบ ห้องเผาไหม้ ฝาสูบที่มีเขม่าและตะกรันเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก

รูปที่ 18 แสดงตะกรันและเขม่าเกาะอยู่หน้าหัวฉีด(ซ้าย)ลักษณะของสเปรย์น้ำมันที่มีลักษณะเป็นเส้น(ขวา)

นอกจากนี้ในรูปที่ 18 ยังตรวจพบคราบเขม่าที่ติดอยู่ที่หน้าหัวฉีดและเมื่อทดสอบหัวฉีดด้วยปั๊มทดสอบหัวฉีดพบลักษณะของสเปรย์ของน้ำมันที่ออกจากหัวฉีดมีลักษณะเป็นเส้นไม่ฟุ้งกระจาย ส่วนผลการตรวจพินิจชิ้นส่วนในระบบปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง ได้แสดงไว้ในรูปที่ 19 จากการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ขนาดกำลังขยาย 100 เท่าเพื่อดู

ลักษณะการสึกหรอที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน พบการกัดกร่อนเกิดขึ้นที่ผิวโลหะของลูกปั๊มในลักษณะเป็นหลุมเป็นบ่อโดยการสึกหรอที่เกิดขึ้นนี้น่าจะเป็นผลจากคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลที่มีค่าเป็นกรดเล็กน้อย ผลของการสึกหรอที่เกิดขึ้นมีผลต่อการจ่ายน้ำมันที่ผิดพลาดส่งผลให้ความดันของน้ำมันที่ทางจ่ายออกของลูกปั๊มมีค่าลดลงเนื่องจากการรั่วไหลของน้ำมันในกระบอกสูบของปั๊มจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงที่ไม่ถูกต้องมีผลทำให้ลักษณะของสเปรย์ด้อยลงและเป็นสาเหตุของการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

	
	
ช่องน้ำมันของลูกปั๊ม ก่อนทดสอบความทนทาน	ช่องน้ำมันของลูกปั๊ม หลังทดสอบความทนทาน

รูปที่ 19 แสดงการกัดกร่อนเกิดขึ้นที่ผิวโลหะของลูกปั๊มในลักษณะเป็นหลุมเป็นบ่อ ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

6. สรุปผลการทดสอบ

ผลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า สรุปได้ดังนี้

1 สมรรถนะที่ภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ก่อนทดสอบความทนทานจะให้ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงเล็กน้อยที่ความเร็วรอบต่ำถึงความเร็วรอบปานกลาง(1000 ถึง 1750 รอบต่อนาที) และแรงบิดเบรกแก้ไขที่สภาวะภาระสูงสุดจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันเมื่อความเร็วสูงขึ้น โดยอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิงมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิงตลอดช่วงการทำงาน โดยมีความแตกต่างอยู่ในช่วง 8 ถึง 10 % เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอ้างอิง สำหรับที่สภาวะภาระบางส่วนการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลอ้างอิงตลอดทุกช่วงภาระและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ

2. ในการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงปาล์มดิบผสมดีเซลบนแท่นทดสอบ พบว่า ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขที่ภาระสูงสุดความเร็วคงที่มีค่าลดลงเล็กน้อย โดยที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกันตามระยะเวลาของการทดสอบความทนทานที่เพิ่มขึ้น หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบพบว่าค่าแรงบิดเบรกแก้ไขที่สภาวะภาระสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิงมีค่าลดลง ในขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะหลังการทดสอบความทนทานมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดช่วงภาระและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ทดสอบ

3. จากการพิจารณาเปรียบเทียบถ่ายภาพ Spray combustion ที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ชี้ให้เห็นว่า ก่อนการทดสอบความทนทานจะเริ่มเห็นเปลวไฟจากการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเกิดขึ้นช้ากว่าการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิง แต่ช่วงเวลาของการเผาไหม้ที่เห็นเปลวไฟมีค่าสั้นกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงเล็กน้อย โดยที่การเริ่มต้นเปลวไฟเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเร็วขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์มากขึ้น สำหรับผลของภาพถ่ายหลังการทดสอบความทนทาน พบการเผาไหม้ที่ล่าช้าและยาวนานมากขึ้นในทั้งสองจุดทดสอบซึ่งอาจเป็นผลมาจากพฤติกรรมของคุณภาพสเปรย์ที่ด้อยลงเนื่องจากคราบตะกรันบนหัวฉีด

4. ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ พบว่า ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ 100 $^{\circ}C$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เพิ่มขึ้น และมีค่าเกินเกณฑ์การเตือนภัยขั้นวิกฤตในช่วงปลายก่อนครบอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ

ไม่พบปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำ ปริมาณเขม่า ค่าออกซิเดชั่น ค่าซัลเฟชั่นและค่าไนเตรชั่นสูงเกินเกณฑ์การเตือนภัยขั้นวิกฤตตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน แม้ว่าปริมาณของเขม่า ค่าออกซิเดชั่น ไนเตรชั่นและซัลเฟชั่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า TBN มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มมากขึ้นก็ตาม

การปนเปื้อนของธาตุโลหะที่มาจากการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์อันได้แก่ ธาตุเหล็ก(Fe) ธาตุโครเมียม(Cr) ธาตุอลูมิเนียม(Al) พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นและมีค่าสูงเกินเกณฑ์การเตือนภัยขั้นวิกฤตในช่วงปลายก่อนครบอายุการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น

5. ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานโดยการขับจริง พบว่า ค่าความหนืดของน้ำมันที่ 100 $^{\circ}C$ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เพิ่มมากขึ้น ปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำและเขม่าที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นไม่เกินเกณฑ์การเตือนภัยเริ่มต้น ค่าออกซิเดชั่น ไนเตรชั่น ซัลเฟชั่น และ ค่า TBN มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยไม่เกินเกณฑ์การเตือนภัยตลอดช่วงระยะทางที่ทดสอบ ในส่วนของปริมาณธาตุที่มาจากการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ มีค่าไม่เกินเกณฑ์การเตือนภัยเริ่มต้น ยกเว้นเมื่อมีการใช้งานเกินจากอายุการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น(อายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นเท่ากับ 5000 กิโลเมตร) จะพบปริมาณการสะสมของธาตุเหล็ก(Fe) ธาตุโครเมียม(Cr) และธาตุอลูมิเนียม(Al) สูงขึ้นเล็กน้อย

9. พบมีปริมาณคราบเขม่าที่เกาะตัวสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะส่วนหัวลูกสูบที่สัมผัสกับการเผาไหม้โดยตรง เขม่าที่เกิดขึ้นมีลักษณะค่อนข้างหนาบริเวณด้านทางออกของห้องเผาไหม้ช่วย ตรวจพบว่ามีปริมาณเขม่าสะสมอยู่ในทุกๆด้านของผนังกระบอกสูบบริเวณช่วงปลายของห้องเผาไหม้ส่วนที่ติดกับฝาสูบ ลักษณะของเขม่าเป็น

ตะกอนแข็งเกาะอยู่โดยรอบ บริเวณฝาสูบพบคราบเขม่าสีส้มเกาะติดที่หน้าฝาสูบเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ในบริเวณร่องแหวนยังตรวจพบคราบเขม่า ตะกรันเป็นยางเหนียวเป็นจำนวนมาก สำหรับชิ้นส่วนปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ตรวจพบว่ามีการสึกหรอโดยที่ลักษณะของการกัดกร่อนเป็นหลุมเป็นบ่อมีผิวของโลหะบริเวณช่องปิดน้ำมันของลูกปั๊มค่อนข้างชัดเจน

8 ข้อเสนอแนะ

การนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมาใช้กับเครื่องยนต์รถบรรทุกขนาดเล็กชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้า ควรมีการกำหนดการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นให้มีช่วงเวลาที่สั้นลงหากมีการใช้งานภายใต้สภาวะการทำงานที่มีภาระสูงเป็นช่วงเวลานานเพื่อเป็นการลดอัตราการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ที่สูงกว่าปกติ เนื่องมาจากความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่สูงเกินกว่าค่าระดับการเตือนสิ่งผิดปกติ หรืออาจแก้ไขโดยการใช้น้ำมันหล่อลื่นที่มีสารเติมแต่งที่เหมาะสมเพื่อลดการสึกหรอที่เกิดขึ้น

9 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้านการเงินจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และผู้เขียนขอขอบคุณคณะผู้ร่วมวิจัยและบุคคลต่างๆ ที่ช่วยสนับสนุนโครงการนี้โดยเฉพาะ อาจารย์ธงชัย สถาพรนานนท์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เกี่ยวกับข้อมูลและการทดสอบปั๊มเชื้อเพลิง อาจารย์ถวัลย์ มะลิซ้อน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่เอื้อเฟื้อและให้ความช่วยเหลือในการถ่ายภาพชิ้นส่วนด้วยกล้องจุลทรรศน์ คุณธนันต์ สิริสิทธิโชติ ผู้จัดการใหญ่ บริษัท โฟคัสแลบบอราทอรีส์ จำกัด ที่สละเวลาในการให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นตลอดจนอำนวยความสะดวกระหว่างการตรวจวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

เอกสารอ้างอิง

[1] Yusuf Ali, and M.A. Hanna. Alternative diesel fuels from vegetable oils. Bioresource Technology 50 (21 July 1994): 153-163.

[2] Jones, S., and Charles L. Peterson. Using unmodified vegetable oils as a diesel fuel extender-a literature review. [Online].Available fromhttp://www.uidaho.edu/bae/biodiesel/raw%20vegetable%20oils literature%20review.doc [November 2003]

[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): 339-351.

[4] Bari, C. W. Yu,and T. H. Lim. Performance deterioration and durability issues while running a diesel engine with crude palm oil. Proc. I. MECH. E. part D journal of automobile engineering vol.216 (2002): 785-792.

[5] M.A.Kalam, H.H. Masjuki Emissions and deposit characteristics of a small diesel engine when operated on preheated crude palm oil. Biomass and Bioenergy 27(2004) 289-297

[6] Focus Laboratories Ltd. Oil Analysis the complete course for maintenance professionals, (เอกสารประกอบการสัมมนา 15-17 ตุลาคม 2546).