

การใช้น้ำมันปาล์มดีเซลในเครื่องยนต์ CI ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของรถบรรทุกขนาดใหญ่



นาย เทอดศักดิ์ ชัยสุริยะพันธ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

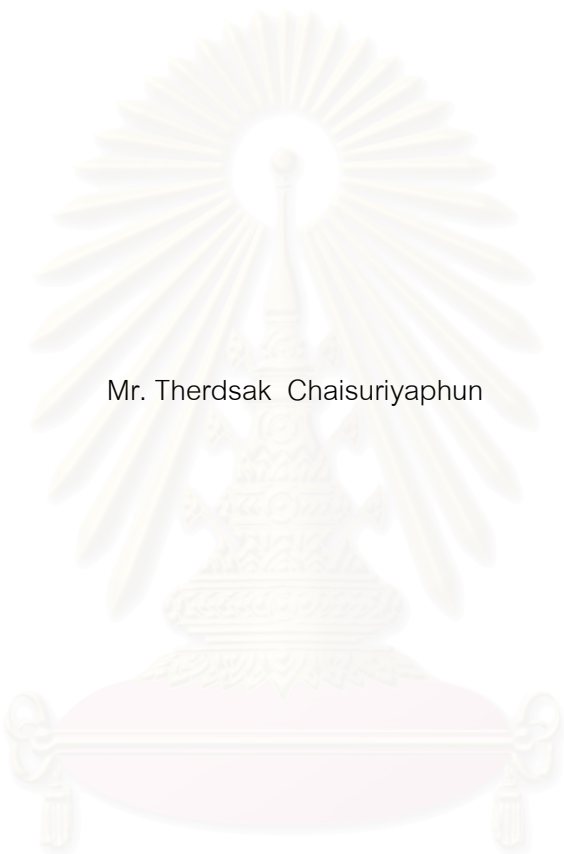
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-5559-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

USING PALM OIL BLENDING IN DIESEL FUEL FOR INDIRECT INJECTION CI ENGINE
FOR LIGHT-DUTY PICK-UP TRUCK APPLICATION

Mr. Therdsak Chaisuriyaphun



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-5559-7

เทอดศักดิ์ ชัยสุริยะพันธ์ : การใช้น้ำมันปาล์มดีเซลในเครื่องยนต์ CI ชนิดห้องเผาไหม้
 ล้วงหน้าของรถบรรทุกขนาดเล็ก. (USING PALM OIL BLENDING DIESEL FUEL FOR
 INDIRECT INJECTION CI ENGINE FOR LIGHT-DUTY PICK-UP TRUCK
 APPLICATION) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณิต วัฒนวิเชียร, 369 หน้า.
 ISBN 974-17-5559-7.

การศึกษาถึงความเหมาะสมของการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์
 จุกระเปิดด้วยการอัดชนิดห้องเผาไหม้ล้วงหน้าแบบหมุนวนในงานวิจัยนี้แบ่งได้เป็น 3 ส่วน เริ่มต้นจากการหาส่วนผสมที่
 เหมาะสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบ(CPO) กับน้ำมันดีเซล แล้วจึงเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงทั้ง
 สองชนิด จากนั้นเฝ้าติดตามทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอย่างต่อเนื่อง ผลการ
 ทดสอบพบว่า ส่วนผสมที่เหมาะสมคือ น้ำมันปาล์มดิบ 10% ซึ่งผ่านการอุ่นให้มีอุณหภูมิ 60 °C ผสมกับน้ำมันดีเซล
 90% โดยปริมาตร ส่วนผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบ
 ผสมดีเซล ที่สภาวะภาระสูงสุดพบว่า ค่าแรงบิดเบรกสูงสุดที่แต่ละความเร็วรอบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมี
 ค่าไม่แตกต่างจากการใช้น้ำมันดีเซล โดยค่าแรงบิดเบรกที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลที่ความเร็วรอบต่ำถึง
 รอบปานกลางมีค่าสูงกว่าการใช้ น้ำมันดีเซลเล็กน้อย การใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
 เบรกและอุณหภูมิไอเสียสูงกว่าการใช้ น้ำมันดีเซลตลอดช่วงการทำงาน ส่วนผลการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วนพบว่า
 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลสูงกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล ขณะที่อุณหภูมิไอเสีย
 จากการใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ภายใต้สภาวะการใช้
 งานแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการใช้งานต่อเนื่องภายใต้วัฏจักรภาระจำลองที่กำหนด(โดยในการวิจัยนี้ได้
 ดัดแปลงมาจาก EMA TEST CYCLE) เป็นระยะเวลา 225 ชั่วโมงบนแท่นทดสอบและส่วนที่สองเป็นการใช้งานโดยนำ
 เครื่องยนต์ไปใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กภายใต้ลักษณะการใช้งานปกติในสิ่งแวดล้อมจริงเป็นระยะทางประมาณ
 10,000 กิโลเมตร หลังการทดสอบความทนทานส่วนแรกพบว่า สมรรถนะที่ได้มีค่าลดลงตลอดช่วงความเร็ว โดยค่า
 แรงบิดเบรกสูงสุดมีค่าลดลงประมาณร้อยละ 9 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดประมาณร้อยละ 5
 ผลการวิเคราะห์ที่ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นซึ่งทำการสุ่มอย่างต่อเนื่องตลอดการทดสอบภายใต้วัฏจักรจำลอง พบว่าในช่วง
 ปลายก่อนครบอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ ทั้งค่าความหนืดและปริมาณโลหะ(Fe, Cr,
 Al) ที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นมีค่าสูงเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แสดงให้เห็นว่าผลจากความหนืดส่งผลให้มีการ
 สึกหรือเกิดขึ้นที่ค่อนข้างสูงและผลการตรวจพินิจชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์หลังการทดสอบพบว่า ที่หน้าหัวฉีดมีคราบ
 ตะกอนจับหนาจนทำให้การฉีดไม่เป็นละอองฝอย ทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่ามีคราบ
 เขม่า ตะกรันและยางเหนียวติดอยู่บริเวณร่องแหวนลูกสูบ ที่ผนังห้องเผาไหม้และบริเวณหัวลูกสูบเป็นจำนวนมาก ซึ่ง
 น่าจะเกิดมาจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ส่วนผลวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นใน
 ขั้นตอนการจับจริงพบว่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นอยู่ในเกณฑ์ปกติ

ผลที่ได้จากการทดสอบนี้สามารถสรุปได้ว่า น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลสามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล
 ในเครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้ล้วงหน้าแบบหมุนวนได้ แต่ควรกำหนดระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นให้
 สั้นลง รวมถึงควรมีการหาวิธีกำจัดคราบหรือตะกอนที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้และที่หัวฉีดเพื่อป้องกันความเสียหายจาก
 การสึกหรอและการลดลงของสมรรถนะที่อาจเกิดขึ้นหากมีการใช้งานในระยะยาวในอนาคต

ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2547	

4470325021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: CRUDE PALM OIL / PERFORMANCE / DURABILITY / WEAR DEBRIS / OIL ANALYSIS

THERDSAK CHAISURIYAPHUN : USING PALM OIL BLENDING IN DIESEL
 FUEL FOR INDIRECT INJECTION CI ENGINE FOR LIGHT-DUTY PICK-UP
 TRUCK APPLICATION. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.KANIT
 WATTANAVICHIEEN,Ph.D., 369 pp. ISBN 974-17-5559-7.

A study of crude palm oil (CPO) blended with diesel as an alternative fuel in a high speed IDI engine was carried out. The study had been divided into three parts: beginning with finding the suitable composition between CPO and diesel, following with comparing the engine's performance when using both fuels, and finally investigating engine durability when fuelling CPO diesel. It was found that the suitable proportion is 10% heated to 60°C of CPO blended with diesel 90% by volume. The full load performance showed that the maximum brake torque when using CPO diesel is not difference to diesel. During low to middle engine speed, maximum brake torque of CPO diesel is slightly higher than that of diesel. Brake specific fuel consumption (bsfc) and exhaust gas temperature from using CPO diesel is higher than the diesel. The part load performance showed that bsfc is higher with CPO diesel. The exhaust gas temperatures from both fuels are not significantly different. The durability test consists of two parts. The first part is a continuous simulated load (adapted from EMA TEST CYCLE) for about 225 hours on the engine test bed. The second part was a road test using the engine driving a light-duty pick-up truck for the driving range of about 10,000 kilometers. The first part could be seen that, after the durability test, the engine's performance along the operating range reduced, maximum brake torque is decreased by about 9% and bsfc is increased by about 5%. The results from the used engine lubricating oil analysis showed that either viscosity or wear metal debris (Fe, Al, Cr) was higher than normal limits before the end of the recommended engine oil life. This result implies the high wear rate. After engine parts inspection, it was observed that there were a lot of carbon deposit on the injectors' tip that may cause poorer spray atomization. Thus combustion efficiency may be reduced. Moreover, resulting from fuel properties and incomplete combustion, it was found that there was a lot of soot, deposit and varnish stuck in the ring groove, combustion chamber and piston crown. In the second part, the used engine oil analysis showed that all properties are within normal limits.

From this study, it could be concluded that the CPO diesel can be used as alternative fuel in a high speed IDI diesel engine. However, the duration of engine oil lubricant service should be shorter than the standard period to protect against the inevitability of engine failure.

Department Mechanical engineering Student's signature.....
 Field of study Mechanical engineering Advisor's signature.....
 Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณิต วัฒนวิเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำแนะนำ ช่วยเหลือและร่วมติดตามการทดสอบอย่างใกล้ชิดในทุกขั้นตอน ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ อาจารย์ ธงชัย สถาพรนานนท์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เกี่ยวกับข้อมูลและการทดสอบปั๊มเชื้อเพลิง อาจารย์ ถวัลย์ มะลิซ้อน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่เอื้อเฟื้อและให้ความช่วยเหลือในการถ่ายภาพชิ้นส่วนด้วยกล้องจุลทรรศน์ คุณ ธนันต์ สิทธิทธิโชติ ผู้จัดการใหญ่ บริษัท ไฟก๊สแลบบอราทอริส จำกัด ที่สละเวลาในการให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นตลอดจนอำนวยความสะดวกระหว่างการตรวจวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

ขอขอบคุณ คุณ พรรณรพี ชิงห์, คุณ พิสุทธิ ธนบดีภัทร์, คุณ วิสูตร เกื้อกิตติวงศ์ คุณ พิชญ์ ปริญญาจารย์, คุณ จักรภาพ นาคฤทธิ์, คุณ สุพิชญ์ ไตรภพภูมิ, คุณ ศรีพงศ์ ตั้งรัตนโสภณ, คุณ วิสุทธิ กวश्यकษา และรุ่นน้องห้องปฏิบัติการเครื่องยนต์สันดาปภายในทุกท่านที่ช่วยติดตั้งอุปกรณ์และช่วยเหลือในการทดสอบ ขอขอบคุณ คุณ อธิเชษฐ พันธุ์รักษ์, คุณ เลิศ เพียรอภิธรรม, คุณ สุวัช คำแฝด, คุณ กริชชัย คชพลายุทธ์ ที่ช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ MR. PHAN MINH DUC ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมการพิมพ์

ขอขอบคุณ ครู เสวย เกตุนาถ, ครู สราวุธ อาปณกะพันธ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ในการติดตั้งเครื่องยนต์และการทดสอบ ขอขอบคุณ คุณ ธนอม อุดม, คุณ สุวัฒน์ ท่าดี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกระหว่างการทดสอบ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาทางด้านเทคนิคต่างๆ เกี่ยวกับเครื่องยนต์ รวมถึงเพื่อนนิสิตปริญญาโท, รุ่นน้องและรุ่นพี่ที่สำเร็จการศึกษาแล้วทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณบุคคลท่านอื่นๆที่มีส่วนเกี่ยวข้องซึ่งอาจไม่ได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่น้องอันเป็นที่รัก ที่ให้การสนับสนุนทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสในการศึกษา ให้กำลังใจและคำปรึกษาเสมอมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ด
สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์	ฝ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 คำจำกัดความที่ใช้	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม	4
2.1 ทฤษฎีเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด	4
2.1.1 ปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด	4
2.1.2 ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์	7
2.1.3 แผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด	8
2.1.4 ปริมาณและการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซล	12
2.1.5 ผลของพารามิเตอร์ของการฉีดเชื้อเพลิงที่มีต่อสมรรถนะและ ปล่อยการมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล	16
2.1.6 อิทธิพลการไหลวนของอากาศที่มีต่อสมรรถนะและมลพิษของ เครื่องยนต์ดีเซล	19
2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล	21
2.2.1 เลขซีเทน (Cetane Number)	21

บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

2.2.2	ค่าการระเหย (Volatility)	21
2.2.3	ความหนาแน่น (Density)	23
2.2.4	ความหนืด (Viscosity)	23
2.2.5	คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity)	23
2.2.6	คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงดีเซล	24
2.2.7	เสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซล	24
2.2.8	ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur Content).....	25
2.2.9	ปริมาณอะโรมาติก (Aromatic Content)	25
2.2.10	ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment Content).....	25
2.2.11	จุดวาบไฟ (Flash Point).....	26
2.3	น้ำมันพืช.....	26
2.3.1	น้ำมันปาล์ม	27
2.3.2	การเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบ.....	29
2.4	การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร	31
2.4.1	ประเภทของการเสื่อมสภาพ.....	31
2.4.1.1	การเสื่อมสภาพตามเวลา	31
2.4.1.2	การเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา.....	32
2.4.2	การจำแนกกลไกการสึกหรอ.....	33
2.4.2.1	กลไกการสึกหรอแบบยึดติด	34
2.4.2.2	การสึกหรอแบบขูดขีด.....	35
2.4.2.3	การสึกหรอจากการล้าตัวของวัสดุ	36
2.4.2.4	การสึกหรอแบบปฏิกิริยาไทรโบเคมี.....	36
2.5	สารหล่อลื่น.....	37
2.5.1	คุณสมบัติที่สำคัญๆ ของสารหล่อลื่น	38
2.5.1.1	ความหนืด (Viscosity).....	38
2.5.1.2	การต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน	39

บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

2.6 การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว.....	40
2.6.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเครื่องยนต์	40
2.6.2 การทดสอบหาค่าความหนืด	41
2.6.3 ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่าง (TBN)	42
2.6.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปคโตรมิเตอร์	42
2.6.5 การวิเคราะห์ด้วยวิธีเฟอโรโกราฟี	43
2.6.5.1 การวิเคราะห์อนุภาคการสึกหรอ	45
2.6.5.2 การศึกษาอนุภาคการสึกหรอเชิงจุลภาค	45
2.6.5.3 ชนิดของอนุภาคการสึกหรอ.....	46
2.6.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR.....	51
2.7 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันพีชมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล	54

บทที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบและระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การทดสอบส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิง	62
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบส่วนผสมน้ำมันเชื้อเพลิง	62
3.1.1.1 เครื่องกวน	62
3.1.1.2 เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	63
3.1.2 วิธีการทดสอบส่วนผสมน้ำมัน	63
3.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	64
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เมื่อนำมาใช้	
ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กด้วยความเร็วคงที่.....	65
3.2.1.1 รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ	65
3.2.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	
ในรถยนต์ทดสอบ	66
3.2.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์	69
3.2.2 วิธีการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ขณะที่ขับเคลื่อนรถบรรทุก	
ขนาดเล็กด้วยความเร็วคงที่	71

บทที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบและระเบียบวิธีวิจัย(ต่อ)

3.2.3	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ	72
3.2.3.1	เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ	74
3.2.3.2	ไดนาโมมิเตอร์	74
3.2.3.3	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	74
3.2.3.4	อุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศ.....	75
3.2.3.5	อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันไอเสียและอุณหภูมิไอเสีย.....	76
3.2.3.6	อุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ.....	77
3.2.4	วิธีการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบที่ภาวะ สูงสุด (Full load) ที่สภาวะคงตัว	77
3.2.5	การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบที่ภาวะบางส่วน	78
3.3	การทดสอบความทนทาน	80
3.3.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ	80
3.3.2	วิธีการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ	80
3.3.3	วิธีการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์หลังจากทดสอบ ความทนทานบนแท่นทดสอบ	83
3.3.4	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการ นำเครื่องยนต์ไปใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร	83
3.3.5	วิธีการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุก ขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร	85
3.4	การสู่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น.....	86
3.4.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการสู่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น	86
3.4.2	วิธีการสู่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น.....	87
3.5	การวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น	88
3.5.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น.....	88
3.5.2	วิธีการวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น	88

	หน้า
บทที่ 4 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ	89
4.1 การทดสอบส่วนผสมของเชื้อเพลิง	89
4.2 รูปแบบน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบ	93
บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล	96
5.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	97
5.1.1 ผลการทดสอบวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยการขับรถยนต์ทดสอบ ด้วยความเร็วคงที่	97
5.1.2 ผลของแรงบิดเบรกแก้ไข(Corrected Brake Torque) และอัตราการ สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (bsfc) ที่สภาวะภาระสูงสุด	98
5.1.3 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไข (brake fuel conversion efficiency) ที่สภาวะภาระสูงสุด	100
5.1.4 คุณหมุมิไอเสียและอัตราส่วนผสมโดยมวลระหว่างอากาศต่อน้ำมัน เชื้อเพลิงที่สภาวะภาระสูงสุด	101
5.1.5 แผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map)	103
5.1.6 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (bsfc) ที่ความเร็วรอบคงที่	105
5.1.7 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่สภาวะภาระบางส่วน	107
5.1.8 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่ความเร็วรอบคงที่....	109
5.1.9 คุณหมุมิไอเสียที่ความเร็วรอบคงที่.....	111
5.2 ผลการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ	114
5.2.1 การทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบเป็นระยะเวลา 225 ชั่วโมง	114
5.2.1.1 ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรก จำเพาะที่สภาวะการทำงานลำดับที่ 1 , 2 และ 3	114
5.2.1.2 คุณหมุมิไอเสียที่สภาวะการทำงานลำดับที่ 1 , 2 และ 3.....	117
5.2.1.3 คุณหมุมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะการทำงานลำดับที่ 1 , 2 และ 3.....	120
5.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์หลังจากการทดสอบ ความทนทานบนแท่นทดสอบ	122
5.3.1 ผลของแรงบิดเบรกแก้ไข(Corrected Brake Torque) และอัตราการสิ้นเปลือง เชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (bsfc) ที่สภาวะภาระสูงสุด	122

บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล(ต่อ)

5.3.2 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไข (brake fuel conversion efficiency) ที่สภาวะภาระสูงสุด.....	123
5.3.3 คุณหมุมิโอเสียและอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยมวลที่สภาวะภาระสูงสุด	124
5.3.4 แผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ.....	126
5.3.5 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (bsfc) ที่ความเร็วรอบคงที่.....	128
5.3.6 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่สภาวะภาระบางส่วน	130
5.3.7 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่ความเร็วรอบคงที่...	132
5.3.8 คุณหมุมิโอเสียที่ความเร็วรอบคงที่.....	134
5.4 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ.....	137
5.4.1 คุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น	137
5.4.2 ปริมาณธาตุโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น.....	142
5.4.3 ปริมาณสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น	145
5.5 ผลการตรวจพินิจชิ้นส่วน	147
5.5.1 ผนังกระบอกสูบ ลูกสูบและแบริงก้านสูบ.....	147
5.5.2 ฝาสูบและหัวฉีด.....	153
5.5.3 ใ้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง	156
5.5.4 ท่อรวมไอเสีย.....	159
5.6 ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน.....	161
5.7 การทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการใช้ขับเคลื่อนรถกระบะบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร.....	163
5.7.1 ผลการวัดค่าควันดำ	163
5.7.2 ผลการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อขับด้วยความเร็วคงที่.....	164
5.8 ผลการวิเคราะห์ติดตามคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กภายใต้ลักษณะการใช้งานปกติ.....	165
5.8.1 คุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น	165

บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล(ต่อ)	
5.8.2 ปริมาณธาตุโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น.....	168
5.8.3 ปริมาณสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น	171
5.9 ผลการตรวจพินิจชิ้นส่วนหลังการทดสอบความทนทานโดยการใช้เครื่องยนต์ ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็ภายใต้การใช้งานปกติในสิ่งแวดล้อมจริง เป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร.....	172
5.9.1 ผนังกระบอกสูบ ลูกสูบ แบริ่งก้านสูบและแบริ่งข้อเหวี่ยง.....	173
5.9.2 ฝาสูบ.....	181
5.9.3 วาล์วไอดี วาล์วไอเสียและหัวเผา	182
บทที่ 6 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	188
6.1 สรุปผล	188
6.1.1 เปรียบเทียบผลระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลกับน้ำมันดีเซล ต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้ลวงหน้า	188
6.1.2 เปรียบเทียบผลจากการนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมาใช้ในเครื่องยนต์ อย่างต่อเนื่อง	189
6.1.3 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น.....	189
6.1.4 ผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลต่อชิ้นส่วนภายใน	191
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	192
6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อเนื่อง.....	192
รายการอ้างอิง	193
บรรณานุกรม	196
ภาคผนวก	197
ภาคผนวก ก มาตรฐาน ISO 3046 ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ	198
ภาคผนวก ข การวัดอัตราการไหลของอากาศ	213
ภาคผนวก ค การวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถบรรทุก ขนาดเล็กด้วยความเร็วคงที่	217
ภาคผนวก ง ข้อมูลผลการทดสอบสมรรถนะ.....	220

	หน้า
ภาคผนวก จ ข้อมูลผลการทดสอบความทนทาน	266
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น	346
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	369



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2-1 คุณลักษณะของน้ำมันปาล์มดิบ	28
2-2 ปริมาณกรดไขมันอิสระในการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิและความชื้นที่ต่างกัน	30
2-3 แสดงคุณสมบัติของอนุภาคการสึกหรอจากวัสดุชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่โลหะ และ อโลหะพื้นฐาน.....	51
3-1 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ	66
3-2 แสดงรายละเอียดของขั้นตอนทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบเป็น ระยะเวลา 225 ชั่วโมง.....	81
3-3 แสดงรายละเอียดการสูมน้ำมันหล่อลื่นช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ	87
3-4 แสดงรายละเอียดของการสูมน้ำมันหล่อลื่นช่วงการทดสอบโดยการขับที่จริง	88
4-1 ภาพแสดงการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบกับ น้ำมันดีเซลอ้างอิงระหว่างการใช้คุณสมบัติการอุ่นปาล์มดิบก่อนการผสมที่ 40°C และ 60°C ที่ส่วนผสมต่างๆ.....	90
4-2 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณไขและตะกอนที่เกิดขึ้นหลังเก็บน้ำมันเป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้องระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ 40°C และ 60°C	92
4-3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ระหว่างน้ำมันดีเซลอ้างอิง กับน้ำมันปาล์มดิบผสมน้ำมันดีเซลอ้างอิง	94
5-0 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่เพิ่มขึ้นของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ ที่จุดทดสอบเดียวกันจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเทียบการใช้น้ำมันดีเซล อ้างอิง	107
5-1 แสดงภาพถ่ายบริเวณผนังกระบอกสูบ หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ	148
5-2 แสดงภาพถ่ายลูกสูบ หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ.....	150
5-3 แสดงภาพถ่ายแปรงก้านสูบ หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ.....	152
5-4 แสดงภาพถ่ายฝาสูบ หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ.....	153
5-5 แสดงภาพถ่ายของหัวฉีดหลังจากการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ.....	154
5-6 แสดงข้อมูลความดันในการเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง.....	156
5-7 แสดงผลการชั่งน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ในห้องเผาไหม้	161
5-8 แสดงน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ส่วนของปั๊มหัวฉีดหลังจากการทดสอบ ความทนทานบนแท่นทดสอบ	162

สารบัญตาราง (ต่อ)

ณ

ตาราง	หน้า
5-9 แสดงภาพถ่ายบริเวณผนังกระบอกสูบ หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้ เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.	174
5-10 แสดงภาพถ่ายลูกสูบ หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน รถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.	176
5-11 แสดงภาพถ่ายแบริ่งก้านสูบ หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.	178
5-12 แสดงภาพถ่ายแบริ่งข้อเหวี่ยง หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.	179
5-13 แสดงภาพถ่ายฝาสูบ หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน รถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.	181
5-14 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสีย หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.	183
5-15 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดี หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน รถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.	185
5-16 แสดงภาพถ่ายหัวเผา หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน รถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.	187

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2-1 แสดงอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง และช่วงการเผาไหม้แบบต่างๆ (SOI:Start of injection, EOI:End of injection).....	5
2-2 แสดงอัตราการฉีดเชื้อเพลิงและอัตราการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล 3 แบบ	6
2-3 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง	8
2-4 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง แบบ M.....	9
2-5 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม แบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน.....	10
2-6 แผนภูมิแสดงปัจจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพบ่งชี้ของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิง โดยตรงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ ก่อนไหลวนซึ่งเป็นฟังก์ชันของ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงหรือภาวะ.....	11
2-7 สรุปกลไกการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดระบบฉีดเชื้อเพลิง โดยตรง ในช่วงการเผาไหม้สารผสมที่ผสมไว้ก่อนแล้ว (premixed) และช่วงการเผาไหม้ที่ถูก ควบคุมโดยการผสม(mixing controlled).....	13
2-8 ผลของภาวะที่มีต่อความเข้มข้นของ NO_x และ HC ที่ออกมากับไอเสีย ของเครื่องยนต์ดีเซลที่นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติที่ความเร็วที่กำหนด สำหรับจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงสองจังหวะระบบการเผาไหม้แบบฉีดเชื้อเพลิง โดยตรงและแบบโดยอ้อม 6 สูบปริมาตรการกระจัด 5.9 ลิตร เครื่องยนต์ระบบ ฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงมีอัตราส่วนกำลังอัด 17 ที่ความเร็ว 2800 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมมีอัตราส่วนการอัดที่ 16.7 ที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที.....	14
2-9 แสดงค่าวันเป็นเลขคว้นดำบอชและมวลสารละอองที่ออกมากับไอเสีย (g/kW-hr) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของภาวะและจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิง โดยอ้อมมีห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน 6 สูบ ความจุ 3.7 ลิตร ทำงานที่ความเร็ว 1600 รอบต่อนาที (ไม่ใช่ EGR).....	15
2-10 แสดงปริมาณของ HC จำเพาะเบรก, NO_x , การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และเลขคว้นดำบอช ซึ่งเป็นฟังก์ชันของร้อยละของไอเสียที่นำกลับมาใช้อีก (EGR) ของ เครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง 4 สูบ ความจุ 2.4 ลิตร มีการไหลวนสูง ทำงานที่ความเร็ว 1,250 รอบต่อนาทีและ bmep เท่ากับ 255 kPa.....	16

ภาพประกอบ

หน้า

2-11 แสดงผลของจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงที่มีต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล (ก) เครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงการไหลวนปานกลาง มีหลุมในลูกสูบลึก และใช้หัวฉีดแบบ 4 รู ทำงานที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที เชื้อเพลิงที่เข้าสู่วัฏจักรเท่ากับ 75 mm^3 อัตราส่วนสมมูลระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศเท่ากับ 0.69 (ข) เครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม มีห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน ทำงานที่ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที ที่ภาระ 0% และ 100%.....	17
2-12 แสดงผลของจังหวะและอัตราการฉีดที่มีต่อค่า bsfc ของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงนำอากาศเข้าโดยธรรมชาติ สูบเดี่ยว ความจุ 0.97 ลิตร มีการไหลวน ทำงานที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที อัตราเร็วในการป้อนเชื้อเพลิง 60 mm^3 ต่อระยะชัก	18
2-13 การแลกเปลี่ยนระหว่าง NO_x และควันดำของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง สูบเดี่ยว ไม่มีการไหลวน $B = 140 \text{ มม.}$ $L = 152 \text{ มม.}$ $r_c = 14.3$ หัวฉีดมี 8 รู ที่ความเร็วเครื่องยนต์, อัตราการฉีดเชื้อเพลิง, จังหวะการฉีด, ความดันในการฉีด และ%EGR ต่างๆ ที่ $A/F = 25$ (คงตัว	19
2-14 แสดงผลของการไหลวนของอากาศที่มีต่อค่า bsfc และการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง สูบเดี่ยว มีห้องเผาไหม้แบบหลุมในลูกสูบทอรอยด์ ปริมาตรการกระจัด 1.36 ลิตร อัตราส่วนการอัด 16 เส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมต่อเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบเท่ากับ 0.5 ทำงานที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที ภาระเต็มที่ อัตราส่วนการไหลวนวัดในหลุมลูกสูบเมื่อฉีดเชื้อเพลิง.....	20
2-15 ได้ังการกลั่น(Distillation curve) ของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป.....	22
2-16 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพตามเวลา	31
2-17 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา	32
2-18 แสดงกลไกการสึกหรอแบบต่าง ๆ	33
2-19 แสดงพื้นผิวที่แท้จริงในระดับจุลภาค	34
2-20 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบยึดติด	35
2-21 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบขูดขีด	35
2-22 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบล้าตัว	37

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ถ

ภาพประกอบ	หน้า
2-23 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกับการใช้งาน	38
2-24 แสดงเครื่องมือวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น (ASTM D-445)	41
2-25 แสดงกระบวนการเฟอโรกราฟี	43
2-26 แสดงแผ่นสไลด์ที่ใช้ในกระบวนการเฟอโรแกรม	44
2-27 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ	46
2-28 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสมดุในเครื่องจักร (Severe Sliding Wear Particle)	47
2-29 แสดงอนุภาคการสึกหรอแบบ Cutting Wear	47
2-30 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง (Gear Fatigue Particle)	48
2-31 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Rolling Fatigue Wear Particle)	49
2-32 แสดงอนุภาคการสึกหรอของทองแดง	50
2-33 แสดงปริมาณการดูดซับรังสีอินฟราเรดในแต่ละช่วงความถี่ของน้ำมันหล่อลื่น	52
2-34 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับของน้ำมันใหม่กับน้ำมันที่มีเชื้อเพลิงปนเปื้อน	53
2-35 แสดงช่วงความถี่จำเพาะที่น้ำสามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดได้	54
3-1 แสดงแผนภาพรายละเอียดขั้นตอนการวิจัย	61
3-2 แสดงเครื่องกวนที่ใช้ในการทดสอบ	63
3-3 แสดงเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ใช้ในการทดสอบ	63
3-4 แสดงน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลที่ส่วนผสมต่างๆ หลังผ่านกระบวนการเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	64
3-5 รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบและเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ	65
3-6 แสดงอุปกรณ์ของระบบน้ำมันที่ติดตั้งเพิ่มเติมเข้าไปในรถยนต์ทดสอบ	67
3-7 แสดงแผนผังการติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ติดตั้งเพิ่มเติมในรถยนต์ ทดสอบร่วมกับระบบน้ำมันเชื้อเพลิงเดิมของรถยนต์	68
3-8 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็นที่ทางเข้าเครื่องยนต์	69
3-9 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็นที่ทางออกเครื่องยนต์	69
3-10 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์	70
3-11 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิไอติของเครื่องยนต์	70
3-12 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์	70
3-13 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิน้ำมันที่ถังทดสอบ	70

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ท

ภาพประกอบ	หน้า
3-14 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงท่อไหลกลับ.....	70
3-15 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของอากาศภายนอก	70
3-16 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการแสดงค่าอุณหภูมิ	70
3-17 แสดงแผนผังอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะและความทนทาน ของเครื่องยนต์เบนแทนทดสอบ	73
3-18 แสดงอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะและความทนทานของ เครื่องยนต์เบนแทนทดสอบ	73
3-19 แสดงไดนาโมมิเตอร์และแผงควบคุมการทำงาน	74
3-20 แสดงเครื่องวัดอัตราการไหลน้ำมันเชื้อเพลิงและอัตราการไหลของอากาศ	75
3-21 แสดงมานอมิเตอร์แบบเฉียงที่ใช้ในการวัดความดันตกคร่อม Orifice Plate และ intake manifold	76
3-22 แสดงท่อขดลดอุณหภูมิและตำแหน่งการวัดความดันและอุณหภูมิไอเสีย	76
3-23 แสดง บารอมิเตอร์ (ซ้าย)และเทอร์โมมิเตอร์ (ขวา).....	77
3-24 แสดงเมตริกซ์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สภาวะภาระบางส่วน	79
3-26 ชุดเครื่องมือวัดค่าวันดำ ประกอบไปด้วยปั๊มดูดไอเสีย รุ่น ETD 020.00 (ซ้าย) เครื่องอ่านค่าวันดำ รุ่น ETD 020.50 (ขวา)	84
3-27 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น.....	86
4-1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการกลั่นตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ของน้ำมันดีเซลอ้างอิงและ ปาล์มดิบผสมน้ำมันดีเซลอ้างอิง ตามมาตรฐาน ASTM D86	95
5-1 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงด้วยการขับที่อัตราทดเกียร์ 4 ความเร็วรถคงที่ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง.....	97
5-2 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงด้วยการขับที่อัตราทดเกียร์ 5 ความเร็วรถคงที่ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง.....	98
5-3 แสดงค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่สภาวะคง ตัวภาระสูงสุด แต่ละความเร็วรอบของการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเมื่อใช้น้ำมัน ปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง	99

ภาพประกอบ	หน้า
5-4 แสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่สภาวะคงตัวภาวะสูงสุด แต่ละความเร็วรอบของการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลข้างอิงและน้ำมันดีเซลข้างอิง	100
5-5 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลข้างอิงและน้ำมันดีเซลข้างอิง	102
5-6 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลข้างอิงและน้ำมันดีเซลข้างอิง	102
5-7 แสดงแผนภูมิสมรรถนะแสดงค่า bsfc map ของเครื่องยนต์ ก่อนการทดสอบความทนทาน จากการใช้ (ก) น้ำมันดีเซลข้างอิง (ข) น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลข้างอิง หน่วยเป็น กรัม / กิโลวัตต์-ชั่วโมง	104
5-8 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่ความเร็วคงที่ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลข้างอิงและน้ำมันดีเซลข้างอิง	106
5-9 แสดงแผนภูมิสมรรถนะแสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขของเครื่องยนต์ ก่อนการทดสอบความทนทาน จากการใช้ (ก) น้ำมันดีเซลข้างอิง (ข) น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลข้างอิง หน่วยเป็น %.....	108
5-10 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่ความเร็วคงที่ ระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลข้างอิงและน้ำมันดีเซลข้างอิง	110
5-11 แผนภูมิสมรรถนะแสดงค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วนของเครื่องยนต์ ก่อนการทดสอบความทนทาน จากการใช้ (ก) น้ำมันดีเซลข้างอิง (ข) น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลข้างอิง หน่วยเป็น °C	112
5-12 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วคงที่ ระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลข้างอิงและน้ำมันดีเซลข้างอิง	113
5-13 แสดงค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 1 (ภาระสูงสุดที่ 3,250 รอบต่อนาที)	116

ภาพประกอบ	หน้า
5-14 แสดงค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 2 (ภาระสูงสุดที่ 2,750 รอบต่อนาที).....	116
5-15 แสดงค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 3 (ภาระคงตัว 40 นิวตัน-เมตร ที่ 2,900 รอบต่อนาที).....	117
5-16 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 1 (ภาระสูงสุดที่ 3,250 รอบต่อนาที).....	119
5-17 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 2 (ภาระสูงสุดที่ 2,750 รอบต่อนาที).....	119
5-18 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 3 (ภาระคงตัว 40 นิวตัน-เมตร ที่ 2,900 รอบต่อนาที).....	120
5-19 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 1 (ภาระสูงสุดที่ 3,250 รอบต่อนาที).....	121
5-20 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 2 (ภาระสูงสุดที่ 2,750 รอบต่อนาที).....	121
5-21 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 3 (ภาระคงตัว 40 นิวตัน-เมตร ที่ 2,900 รอบต่อนาที).....	122
5-22 แสดงค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่สภาวะคงตัวภาระสูงสุด แต่ละความเร็วรอบของการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงก่อนและหลังทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ	123

ภาพประกอบ	หน้า
5-23 แสดงผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่สภาวะ ภาวะสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่สภาวะ ก่อนการทดสอบความทนทานกับหลังทดสอบความทนทาน.....	124
5-24 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาวะสูงสุดของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่สภาวะก่อนทดสอบความทนทานและ หลังทดสอบความทนทาน.....	125
5-25 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาวะสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่ สภาวะก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน.....	126
5-26 แสดงแผนภูมิสมรรถนะแสดงค่า bsfc map ของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสม ดีเซลอ้างอิงเปรียบเทียบค่า (ก) ก่อนทดสอบความทนทานกับ (ข) หลังการทดสอบความ ทนทาน หน่วยเป็น กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	127
5-27 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่ความเร็วคงที่ เมื่อใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่สภาวะก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน.....	129
5-28 แสดงแผนภูมิสมรรถนะแสดงประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไข ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเปรียบเทียบระหว่าง (ก) ก่อน ทดสอบกับ (ข) หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบหน่วย เป็น กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	131
5-29 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่ ความเร็วคงที่ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่สภาวะก่อนและหลังทดสอบ ความทนทาน	133
5-30 แผนภูมิสมรรถนะแสดงค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาวะบางส่วนของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเปรียบเทียบระหว่างค่า (ก) ก่อนการทดสอบ ความทนทานกับ (ข) หลังการทดสอบความทนทาน หน่วยเป็น °C.....	135
5-31 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วคงที่ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสม ดีเซลอ้างอิงที่สภาวะก่อนและหลังทดสอบความทนทาน.....	136
5-32 แสดงคุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบ ความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ.....	139

ภาพประกอบ	หน้า
5-33 แสดงคุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เบนแทนทดสอบโดยเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน.....	140
5-34 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นด้วยวิธีการ FTIR เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากน้ำมันหล่อลื่นใหม่(New oil) กับน้ำมันหล่อลื่นเมื่อผ่านการใช้งานเมื่อสิ้นสุดการทดสอบวัฏจักรที่ 44	141
5-35 แสดงปริมาณธาตุจากชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เบนแทนทดสอบ	143
5-36 แสดงปริมาณธาตุจากชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เบนแทนทดสอบโดยเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน	144
5-37 แสดงปริมาณสารเติมแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เบนแทนทดสอบ	146
5-38 แสดงปริมาณสารเติมแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นโดยเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เบนแทนทดสอบ	146
5-39 แสดงสเปรย์น้ำมันที่มีลักษณะเป็นเส้นไม่พุ่งกระจาย.....	156
5-40 แสดงภาพขยายการกัดกร่อนเกิดขึ้นที่ผิวโลหะของลูกปืนใน ลักษณะเป็นหลุมเป็นบ่อ ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน	157
5-41 แสดงคราบไขน้ำมันปาล์มดิบที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิง และการสึกหรอในลักษณะการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับแหวนรองหน้าลูกปืนหลังการทดสอบความทนทาน.....	158
5-42 แสดงภาพถ่ายไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง ภายหลังจากการทดสอบความทนทานบนเบนแทนทดสอบเป็นระยะเวลา 225 ชั่วโมง.....	159
5-43 แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับท่อร่วมไอเสียหลังจากการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์เบนแทนทดสอบ	160
5-44 แสดงค่าควันทันที่วัดได้เมื่อทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กภายใต้การใช้งานปกติเป็นระยะทาง 11,400 กิโลเมตร	163

ภาพประกอบ	หน้า
5-45 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล อ้างอิง ก่อนและหลังผ่านการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบและการทดสอบ โดยการขับจริงประมาณ 10,000 กิโลเมตร เมื่อขับด้วยความเร็วคงที่โดยใช้เกียร์ 4.....	164
5-46 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล อ้างอิง ก่อนและหลังผ่านการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบและการทดสอบโดย การขับจริงประมาณ 10,000 กิโลเมตร เมื่อขับด้วยความเร็วคงที่โดยใช้เกียร์ 5.....	164
5-47 แสดงคุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบ ความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง	166
5-48 แสดงคุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบ ความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง เมื่อเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของ น้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน.....	167
5-49 แสดงปริมาณธาตุจากชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการ ทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง	169
5-50 แสดงปริมาณธาตุจากชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการ ทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง เมื่อเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของ น้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน.....	170
5-51 แสดงปริมาณสารเติมแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของ เครื่องยนต์โดยการขับจริง	171
5-52 แสดงปริมาณสารเติมแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นโดยเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของ น้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน ตลอดการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง	172

สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
abs	absorbance unit	
A/F	Air/fuel Ratio	kg air / kg fuel
(A/F) _s	Air/fuel Ratio ที่ stoichiometric	kg air / kg fuel
bmep	Brake mean effective pressure	kPa
bsfc	Brake specific fuel consumption	g/kW-h
BDC	ตำแหน่งจุดศูนย์ตายล่าง	
C _{DO}	Discharge Coefficient ของ orifice plate	
Cd	สัมประสิทธิ์แรงต้าน	
d	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ orifice plate	m
EOI	จุดสิ้นสุดการฉีดเชื้อเพลิง	
EP	end point	
FBP	final boiling point	
fmep	friction mean effective pressure	kPa
FTIR	fourier transform infrared spectroscopy	
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ 9.807	m/s ²
IBP	initial boiling point	
K	ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 1 สำหรับเครื่องยนต์ 2 จังหวะ และ เท่ากับ 2 สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ	
\dot{m}_a	อัตราการไหลของอากาศ	kg/s
\dot{m}_f	อัตราการไหลของเชื้อเพลิง	kg/s
N	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์	rev/min
N _c	จำนวนกระบอกสูบของเครื่องยนต์	
N _{min}	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่น้อยที่สุด	rpm
P _b	กำลังเบรก	kW
ppm	part per million	
Q _{HV}	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (heating value)	kJ/kg fuel
r _c	อัตราส่วนการอัด (compression ratio)	
SEM	scanning electron microscope	

สารบัญคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

คำย่อ	คำอธิบาย	หน่วย
SF	safety factor	
SOI	จุดเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง	$^{\circ}\text{CA}$
t	เวลา	s
T_b	แรงบิดเบรก	N-m
TBN	total base number	
TDC	ตำแหน่งจุดศูนย์ตายบน	
TPM	total particulate matter	
T90	อุณหภูมิที่ของเหลวที่เดือดเป็นไอแล้วควบแน่นเป็นของเหลว 90% ของปริมาตรเริ่มต้น	$^{\circ}\text{C}$
v	ความเร็ว	m/s
V	ปริมาตรที่ใช้วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	ml
V_b	ปริมาตรถังพักอากาศที่เล็กที่สุด	m^3
V_d	Displaced volume	dm^3
V_s	ปริมาตรช่วงชักลูกสูบ	m^3
\dot{V}	อัตราการไหลโดยปริมาตร	ml/s
Z	ระดับความสูง	m
Δh	ผลต่าง Head ที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์	mm H_2O
Δp	ผลต่างความดัน	kPa
ϕ	Equivalent ratio	
γ_{air}	น้ำหนักจำเพาะของอากาศ	$\text{kg/m}^2\text{-s}^2$
η_{f_b}	Brake Fuel conversion efficiency	
η_v	Volumetric efficiency	
$\rho_{a,i}$	ความหนาแน่นของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์	kg/m^3
ρ_{air}	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3
ρ_f	ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง	kg/m^3
$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$	ความหนาแน่นของน้ำ	kg/m^3
ω	ความเร็วเชิงมุม	rad/s

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

จากปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลจำนวนมากทั้งในภาคการขนส่งและภาคการผลิตประกอบกับราคาน้ำมันดีเซลที่มีแนวโน้มที่สูงขึ้นในปัจจุบัน ทำให้มีความจำเป็นต้องหาเชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลมีมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงจะแสดงให้เห็นถึงแนวทางของการนำน้ำมันปาล์มดิบซึ่งเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงจากพืช สามารถปลูกได้ในประเทศและมีปริมาณมากมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล โดยจะทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการนำเชื้อเพลิงชนิดนี้มาผสมทดแทนน้ำมันดีเซลในด้านสมรรถนะและความทนทานของเครื่องยนต์ดีเซล ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าที่ใช้ในรถบรรทุกขนาดเล็กที่ไม่ได้ทำการปรับแต่งเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีส่วนผสม ปาล์มดิบ 10 % และ น้ำมันดีเซล 90 % โดยปริมาตร เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาความเหมาะสมของการพิจารณานำเชื้อเพลิงผสมดังกล่าวมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ CI ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของรถบรรทุกขนาดเล็ก
2. เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นและชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของรถบรรทุกขนาดเล็กตามระยะเวลาของการใช้งาน
3. เพื่อนำเสนอแนวทางการนำเชื้อเพลิงชนิดนี้ไปใช้อย่างเหมาะสม

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ทดสอบเครื่องยนต์ CI ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของรถบรรทุกขนาดเล็ก เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลอ้างอิงที่สภาวะคงตัวที่อัตราเร็วรอบคงที่ต่างๆ บันทึกข้อมูลตัวแปรการทำงาน อาทิ แรงบิดเบรก อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

2. ทดสอบเครื่องยนต์ CI ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของรถบรรทุกขนาดเล็ก เมื่อใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง (ส่วนผสมน้ำมันปาล์มดิบ 10 % และน้ำมันดีเซลอ้างอิง 90 % โดยปริมาตร) ที่สภาวะคงตัวที่อัตราเร็วรอบคงที่ต่างๆ บันทึกข้อมูลตัวแปรการทำงาน อาทิ แรงบิดเบรก อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก
3. ทำการสร้าง Performance map ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมันปาล์มดีเซล
4. ทำการทดสอบความทนทานของชิ้นส่วนเป็นระยะทางเทียบเท่าไม่น้อยกว่า 20,000 กิโลเมตรโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลและทำการเก็บบันทึกค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ,ค่ามลพิษจากไอเสีย อาทิ คาร์บอนดำตลอดช่วงการทดสอบและวัดการสึกหรอของเครื่องยนต์โดยจะดูเฉพาะส่วนลูกสูบและแหวนลูกสูบโดยการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนและวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น เพื่อดูความสึกหรอที่เกิดขึ้นหลังจากการทดสอบความทนทาน
5. วิเคราะห์การสึกหรอที่เกิดขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาความเหมาะสมของการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ทำการทดสอบเครื่องยนต์ CI ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของรถบรรทุกขนาดเล็ก เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลอ้างอิงที่สภาวะคงตัวที่อัตราเร็วรอบคงที่ต่างๆ บันทึกข้อมูลตัวแปรการทำงาน อาทิ แรงบิดเบรก อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก
2. ทำการทดสอบเครื่องยนต์ CI ชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าของรถบรรทุกขนาดเล็ก เมื่อใช้เชื้อเพลิงน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง (ส่วนผสมปาล์มดิบ 10 % และน้ำมันดีเซลอ้างอิง 90 % โดยปริมาตร) ที่สภาวะคงตัวที่อัตราเร็วรอบคงที่ต่างๆ บันทึกข้อมูลตัวแปรการทำงาน อาทิ แรงบิดเบรก อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ อัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก
3. ทำการสร้าง Performance map ของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง
4. ทำการทดสอบความทนทานของชิ้นส่วนเป็นระยะทางเทียบเท่าไม่น้อยกว่า 20,000 กิโลเมตรโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลและทำการเก็บบันทึกค่าแรงบิดเบรก ,อัตราการ

สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค ,ค่ามลพิษจากไอเสียอาทิ ควันดำตลอดช่วงการทดสอบ และวัดการสึกหรอของเครื่องยนต์โดยจะดูเฉพาะส่วนลูกสูบและแหวนลูกสูบโดยการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนและวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น เพื่อดูความสึกหรอที่เกิดขึ้น หลังจากการทดสอบความทนทาน

5. วิเคราะห์การสึกหรอที่เกิดขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาความเหมาะสมของการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน
6. สรุปผลการทดลองและนำเสนอแนวทางการนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลไปใช้งานอย่างเหมาะสม

1.5 คำจำกัดความที่ใช้

1.5.1 น้ำมันดีเซลอ้างอิง (Reference Diesel) หมายถึงน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะ เป็นน้ำมันที่ได้จากแหล่งและครั้งที่ผลิตเดียวกัน ตลอดการทดสอบ

1.5.2 น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง (Reference CPO Diesel) หมายถึงน้ำมันปาล์มดิบผสมน้ำมันดีเซลอ้างอิง โดยน้ำมันดีเซลอ้างอิงที่ใช้ในการผสมคือน้ำมันที่ได้จากข้อ 1.5.1 ทำการผสมตามสูตรที่ใช้ในการวิจัย โดยควบคุมการผสมอย่างละเอียด

1.5.3 น้ำมันดีเซล (Commercial Diesel) หมายถึงน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการทดสอบความทนทาน เป็นน้ำมันที่หาซื้อจากท้องตลาดทั่วไป

1.5.4 น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล (CPO Diesel) หมายถึงน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์มดิบ ที่ใช้ในการทดสอบความทนทาน โดยน้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเช่นเดียวกับน้ำมันจากข้อ 1.5.3 ทำการผสมเองตามสูตรที่ใช้ในการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อให้ทราบถึงผลที่เกิดขึ้นต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ CI ชนิดห้องเผาไหม้ลวงหน้าของรถบรรทุกขนาดเล็ก เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาถึงความเหมาะสมและแนวทางของการนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในอนาคตต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression Ignition Engine)

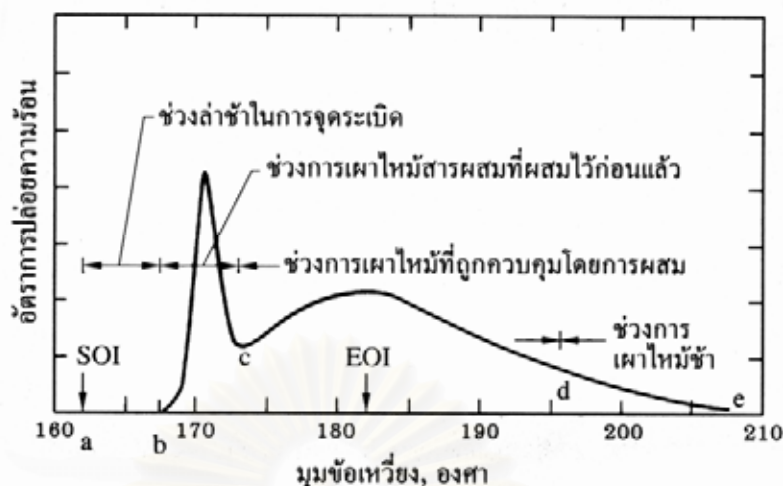
หลักการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด คือ ที่ปลายจังหวะอัด เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ในจังหวะที่ถูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งก่อนศูนย์ตายบนเล็กน้อย โดยเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปนั้นจะมีความดันสูงมากโดยผ่านออร์ฟิซก่อนที่จะผ่านปลายหัวฉีดแล้วแตกเป็นละอองเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ แล้วจะระเหยอย่างรวดเร็วและผสมกับอากาศที่มีอุณหภูมิและความดันที่สูงภายในกระบอกสูบ หลังจากนั้นก็จะเกิดการจุดระเบิดเองของเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศซึ่งอยู่ในอัตราส่วนที่สามารถติดไฟได้ เมื่อการเผาไหม้เริ่มขึ้น ความดันและอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ก็สูงขึ้นซึ่งจะช่วยให้เชื้อเพลิงในส่วนที่เหลือระเหยและผสมกับอากาศได้เร็วมากขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่เร็วและรุนแรงต่อเนื่องจนกระทั่งเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ถูกเผาไหม้จนหมด

จะเห็นได้ว่าหลักการของการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดค่อนข้างซับซ้อน การเผาไหม้ที่ดีจะเกิดจากการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่ดี ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ กระบวนการแตกละอองเป็นฝอย (Atomization) การระเหย (Vaporization) การผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ (Fuel-Air Mixing) และการเผาไหม้ (Combustion) ของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้

2.1.1 ปรากฏการณ์ของการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

อัตราการปล่อยความร้อน (Heat-Release rate) เป็นหลักการที่สำคัญที่สามารถนำมาใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ของการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ ซึ่งอัตราการปล่อยความร้อนนี้ก็คือพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงที่ปล่อยออกมาขณะเกิดการเผาไหม้ โดยสามารถแบ่งกระบวนการของอัตราการปล่อยความร้อนออกเป็น 4 ช่วง ซึ่งแต่ละช่วงจะถูกควบคุมโดยกระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีที่แตกต่างกัน แม้ว่าตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อในแต่ละช่วงก็คือระบบห้องเผาไหม้ที่ใช้และสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ แต่ทุกช่วงจะเกิดขึ้นเสมอในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

ในเครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (DI) แผนภูมิแสดงอัตราการปล่อยความร้อนแสดงในรูปที่ 2-1 โดยสามารถอธิบายขั้นตอนการเกิดได้คือ

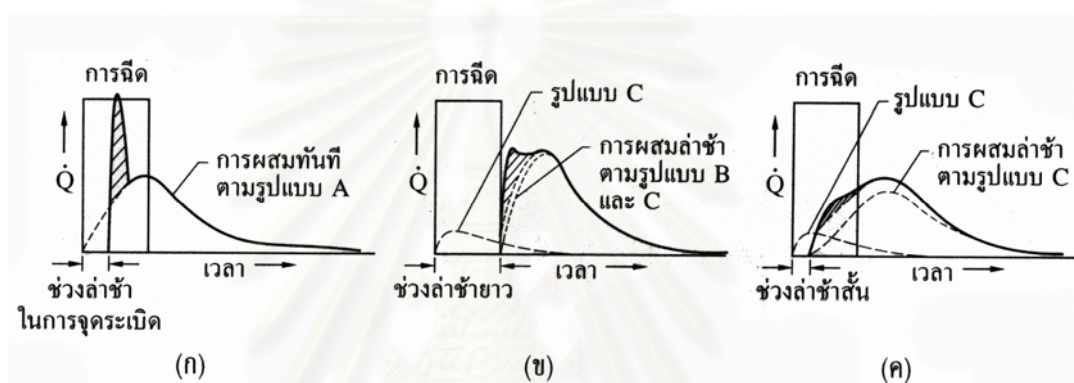


รูปที่ 2-1 แสดงอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง และช่วงการเผาไหม้แบบต่างๆ (SOI:Start of injection, EOI:End of injection) [1]

- ช่วงล่าช้าการจุดระเบิด (Ignition delay, a-b) คือช่วงเวลาระหว่างเริ่มต้นฉีดเชื้อเพลิง (SOI, Start of injection) เข้าสู่ห้องเผาไหม้จนถึงระยะเวลาที่การเผาไหม้เริ่มต้น
- ช่วงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ผสมกันก่อนแล้ว (Premixed combustion phase, b-c) ซึ่งเป็นช่วงเวลาของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ผสมกันก่อนในช่วงล่าช้าการจุดระเบิด ซึ่งจะเกิดการเผาไหม้อย่างพร้อมกันและรวดเร็วและให้ผลของอัตราการปล่อยความร้อนที่สูง
- ช่วงการเผาไหม้ที่ควบคุมโดยการผสม (Mixing combustion phase, c-d) เมื่อเชื้อเพลิงที่ผสมกันก่อนแล้วถูกเผาไหม้หมดอัตราการเผาไหม้จะถูกควบคุมโดยอัตราการเกิดของสารผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่พร้อมจะเผาไหม้ โดยจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นแต่อาจจะไม่สูงถึงค่าแรกแล้วจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป
- ช่วงการเผาไหม้ล่าช้า (Late combustion phase, d-e) เป็นช่วงที่การปล่อยความร้อนเกิดขึ้นในอัตราที่ต่ำในจังหวะขยายตัว ซึ่งเป็นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่น้อยและเป็นการเผาไหม้ในส่วนของเขม่าไนท์ที่เกิดในส่วนผสมหนาที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้

แต่สำหรับในระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M และระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม (IDI) นั้น การปล่อยความร้อนจะต่างกับอัตราการปล่อยความร้อนจากระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงตามรูปที่ 2-2 โดยจากการศึกษารูปแบบของการเผาไหม้ต่างๆ ได้มีการนำเสนอกลไกหรือรูปแบบการฉีด การผสมหรือการเผาไหม้ที่สำคัญในเครื่องยนต์ดีเซลไว้ 3 รูปแบบ คือ

- รูปแบบ A เกิดจากการฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปทันทีโดยโมเมนตัมที่มากพอควร และเกิดการผสมทันทีของเชื้อเพลิงและเกิดส่วนผสมของการผสมกันล่วงหน้า (Premix)
- รูปแบบ B เชื้อเพลิงจะไปเกาะที่ผนัง การผสมในช่วงล่าช้าเกือบจะไม่มีเนื่องจากการระเหยของเชื้อเพลิงถูกจำกัด แต่หลังจากการจุดระเบิดการระเหยจะรวดเร็วและจะถูกควบคุมโดยอัตราการเข้าถึงผิวของแก๊สร้อน (เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับผิวซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงระเหยเร็วขึ้น) และจะเกิดการผสมในแนวรัศมีจากแรงหนีศูนย์กลางที่ต่างกัน
- รูปแบบ C เชื้อเพลิงถูกกระจายไปใกล้กับผนัง และมีการผสมเกิดในช่วงล่าช้าแต่ในอัตราที่น้อยกว่าแบบ A เมื่อเกิดการจุดระเบิดจะเกิดการผสมขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับแบบ B



รูปที่ 2-2 แสดงอัตราการฉีดเชื้อเพลิงและอัตราการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล 3 แบบ [1]

- (ก) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่ใช้หัวฉีดแบบหลายรู ติดไว้ตรงกลาง
- (ข) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M ที่ฉีดเชื้อเพลิงเข้าผนัง
- (ค) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน

จากรูปที่ 2-2 แสดงอัตราการปล่อยความร้อนที่ต่างกันจากการเผาไหม้ของระบบการฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่ใช้หัวฉีดแบบหลายรูติดตั้งไว้ตรงกลาง รูป 2-2 (ก) แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M รูป 2-2 (ข) และเครื่องยนต์แบบฉีดโดยอ้อมที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบไหลวนรูป 2-2 (ค) สำหรับเครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงจะมีรูปแบบตามรูปแบบ A ส่วนระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M นั้นจะมีรูปแบบตามรูปแบบ B และ C ซึ่งจะช่วยให้อัตราการเผาไหม้ในช่วงแรกไม่สูงเกินไป ส่วนระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม ช่วงล่าช้าการจุดระเบิดจะสั้นหลังจากนั้นจะเป็นการผสมของรูปแบบ C

2.1.2 ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้แก่ กำลังเบรก, แรงบิดเบรก และ brake specific fuel consumption (bsfc) ฯลฯ

กำลังเบรกของเครื่องยนต์สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$P_b = T_b \omega = \frac{2\pi N T_b}{6000} \quad (2-1)$$

Brake Fuel Conversion Efficiency

$$\eta_{f_b} = \frac{P_b}{\dot{m}_f Q_{HV}} \quad (2-2)$$

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \quad (2-3)$$

ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ คือ

$$bmep = 4 \pi T_b / V_d \quad (2-4)$$

Volumetric Efficiency

$$\eta_v = \frac{2 \dot{m}_a \times 10^3}{60 \rho_{a,i} V_d N} \quad (2-5)$$

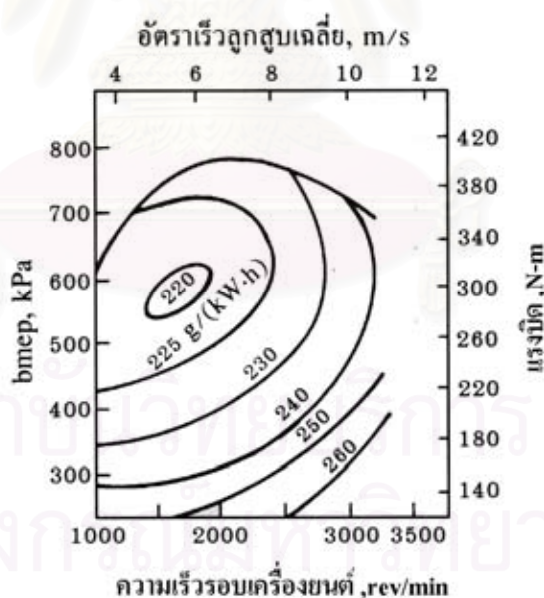
โดยที่	P_b	=	กำลังเบรก (kW)
	T_b	=	แรงบิดเบรก (N-m)
	bmep	=	Brake Mean Effective Pressure (kPa)
	N	=	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rev/min)
	V_d	=	Displacement Volume (dm ³)
	Q_{HV}	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)
	\dot{m}_f	=	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (g/s)
	$\rho_{a,i}$	=	ความหนาแน่นของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์ (kg/m ³)
	bsfc	=	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (mg/J)
	η_{f_b}	=	Brake Fuel Conversion Efficiency
	ω	=	ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

2.1.3 แผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

ตัวแปรในการทำงานที่สำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด คือ ภาวะ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์

สมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดที่ภาวะและความเร็วรอบต่างๆ จะแสดงเป็นแผนภูมิสมรรถนะดังตัวอย่างในรูปที่ 2-3 ซึ่งเป็นการแสดงค่า bsfc ที่เท่ากันบนกราฟของ bmep (หรือค่าแรงบิด) กับ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (หรือความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ)

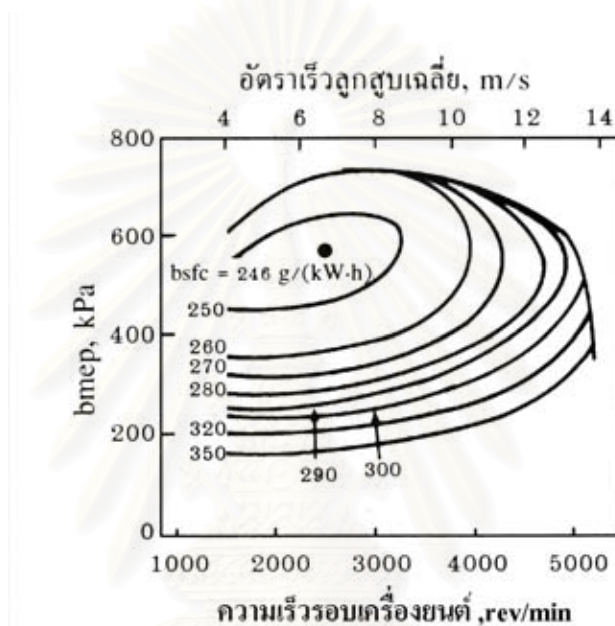
รูปที่ 2-3 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติมีการไหลวนปานกลาง สี่จังหวะ ระบายความร้อนด้วยอากาศ ปริมาตรกระจัด 6.54 ลูกบาศก์เดซิเมตร ให้กำลังสูงสุด 119 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบ 3200 รอบต่อนาที ค่า bmep สูงสุด 784 kPa ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที และค่า bsfc ต่ำสุดเกิดที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที และ bmep เท่ากับ 580 kPa มีค่าเท่ากับ 220 g/kW-h ซึ่งตรงกับประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรคเท่ากับร้อยละ 38.5 และประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงบ่งชี้มีค่าประมาณร้อยละ 48



รูปที่ 2-3 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง [1]

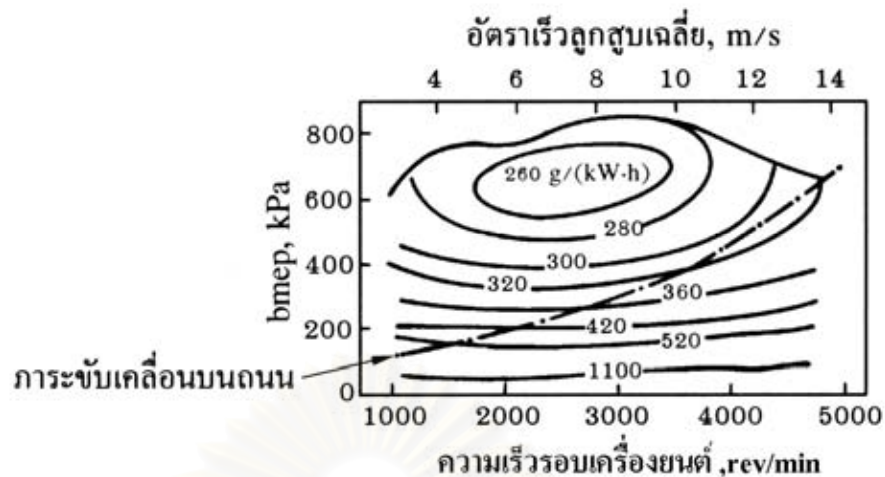
รูปที่ 2-4 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง มีการไหลวนสูง ที่ใช้ระบบการเผาไหม้ แบบ M ซึ่งเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในแนวสัมผัสกับผนังของหลุมใน

ถูกสูบไปในอากาศที่ไหลวน เนื่องจากความเร็วสูงกว่าและการไหลวนสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงในรูปที่ 2-3 ค่า bmep สูงสุดของเครื่องในรูปที่ 2-4 จึงมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย และค่า bsfc ที่ดีที่สุดมีค่าสูงกว่าประมาณร้อยละ 10 เนื่องจาก fmep (Friction mean effective pressure) มีค่าสูงกว่า แต่ส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากการสูญเสียความร้อนที่สูงกว่า เป็นผลมาจากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่ไม่ดีของเครื่องยนต์ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบเล็กกว่า และการไหลวนสูง รวมถึงอัตราการปล่อยความร้อนที่ต่ำของระบบ M



รูปที่ 2-4 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง แบบ M [1]

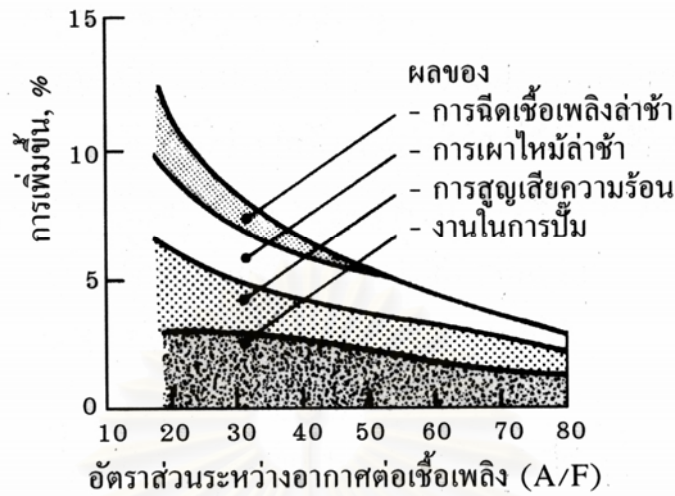
รูปที่ 2-5 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม แบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติ ค่า bmep สูงสุดตามปกติจะสูงกว่าของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่มีขนาดเทียบเท่ากัน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดการไหลวนในช่วงกระบวนการดูด การกีดขวางโดยช่องไอดีและวาล์วไอดีน้อยกว่า และประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงกว่า และเนื่องจากเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม สามารถทำงานที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าโดยค่าควันดำน้อยกว่า ค่า bsfc ที่ดีที่สุดตามปกติจะสูงกว่าค่าทั่วไปของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่เทียบเท่ากันประมาณ ร้อยละ 15 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่ดีที่สุดของเครื่องยนต์ ตามรูปที่ 2-5 จะมีค่าเท่ากับร้อยละ 32.5



รูปที่ 2-5 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน [1]

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงและระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมที่นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติที่มีการออกแบบและขนาดใกล้เคียงกันแล้วจะเห็นว่าเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง จะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าเสมอ ซึ่งประสิทธิภาพที่สูงกว่านี้จะแปรผันกับภาระ โดยที่ภาระเต็มที ความแตกต่างของค่า bsfc ของเครื่องยนต์ทั้งสองแบบจะสูงถึงร้อยละ 20 และที่ภาระบางส่วนค่าความแตกต่างจะน้อยลง เหลือประมาณร้อยละ 10

รูปที่ 2-6 แสดงปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างของประสิทธิภาพบ่งชี้ของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงและระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม ซึ่งจะพบว่าที่ภาระเต็มที (อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เท่ากับ 18 ถึง 20) เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมจะมีประสิทธิภาพบ่งชี้ต่ำกว่าประมาณร้อยละ 15 ถึง 17 ซึ่งเป็นผลมาจากการฉีดเชื้อเพลิงที่ล่าช้า การเผาไหม้ที่ยาวและล่าช้า การสูญเสียความร้อน ที่ภาระบางส่วน เมื่อค่า bmep มีค่าประมาณ 300 kPa (อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเท่ากับ 50) เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมจะมีประสิทธิภาพบ่งชี้ต่ำกว่าประมาณร้อยละ 5 ถึง 7 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการสูญเสียความร้อนที่สูงกว่าเนื่องจากพื้นที่ผิวที่ใหญ่กว่า และความเร็วในการไหลผ่านช่องที่ต่อระหว่างห้องเผาไหม้หลักกับห้องเผาไหม้ล่วงหน้าที่สูงกว่า รวมทั้งเป็นผลมาจากการสูญเสียความดันในการอัดอากาศระหว่างห้องเผาไหม้หลักและห้องเผาไหม้ล่วงหน้า



รูปที่ 2-6 แผนภูมิแสดงปัจจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพบ่งชี้ของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิง โดยตรงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ ก่อนไหลวนซึ่งเป็นฟังก์ชันของ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงหรือภาวะ [1]

แผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลทุกแบบโดยทั่วไปจะมีลักษณะคล้ายกัน และเมื่อเขียนแทนด้วยความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ ก็จะมีค่าสมมูลกัน การเพิ่มขึ้นของ bsfc จากค่าต่ำสุดเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นที่ภาวะคงตัวจะเป็นผลมาจากการเพิ่มของ friction mean effective pressure แต่ส่วนหนึ่งจะถูกชดเชยโดยผลจากการลดความสำคัญของการสูญเสียความร้อนต่อวัฏจักรลง การเพิ่มขึ้นของ bsfc กับภาวะที่ลดลงที่ความเร็วคงตัวจะเป็นผลมาจากการลดลงของประสิทธิภาพเชิงกลเมื่อ bmep ลดลงเป็นหลัก แต่ส่วนหนึ่งจะถูกชดเชยด้วยประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงบ่งชี้ที่เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนสมมูลระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศลดลง

การเพิ่มของ bsfc จากค่าต่ำสุดจะไม่มากนักเมื่อภาวะเพิ่มขึ้นที่ความเร็วคงตัวและเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นที่ภาวะคงตัวโดยจะเป็นผลสุทธิของ

1. การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพเชิงกลและการลดลงของประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงบ่งชี้เมื่อภาวะมากขึ้น

2. การลดลงของประสิทธิภาพบ่งชี้เนื่องจากการทวีความสำคัญของการสูญเสียความร้อนและการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงกลเนื่องจากความเร็วลดลง

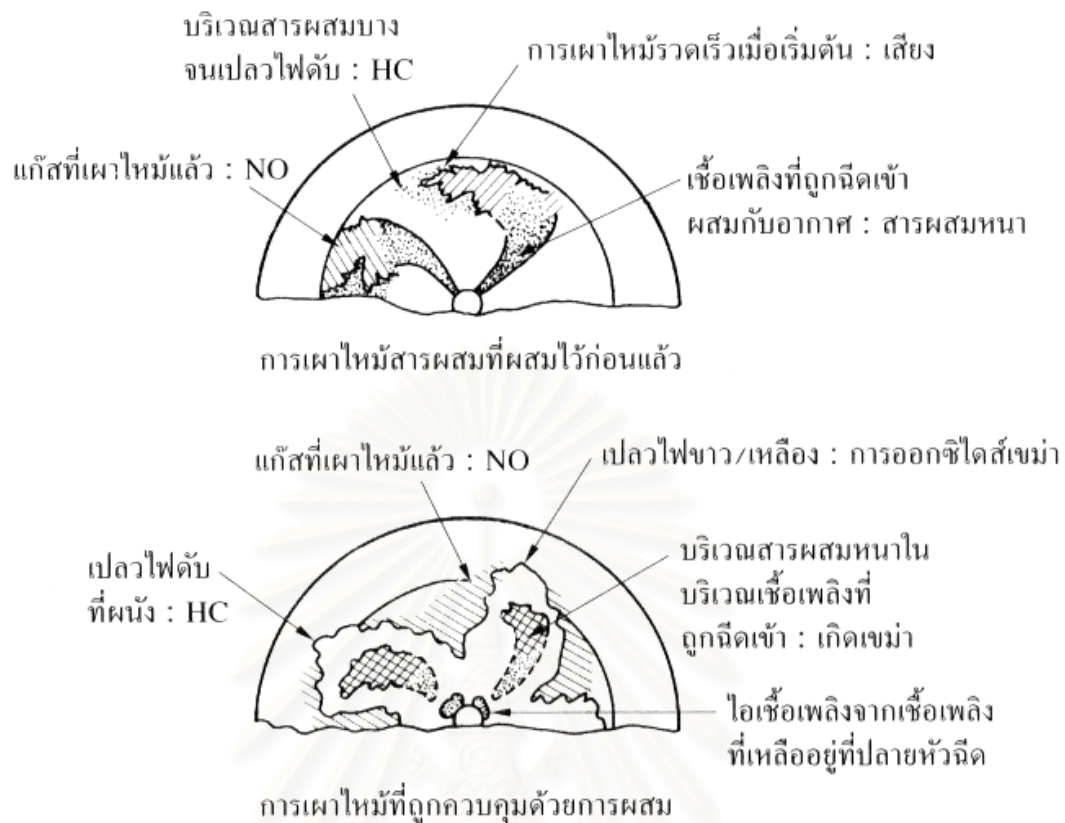
2.1.4 ปริมาณและการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซล

การเกิดมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซลจะขึ้นอยู่กับการกระจายเชื้อเพลิงและลักษณะของการกระจายที่แปรผันกับเวลาอันเนื่องมาจากการผสม ทั้งนี้ เนื่องจากในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบก่อนการเผาไหม้เริ่มต้นเล็กน้อย การกระจายของเชื้อเพลิงจึงไม่สม่ำเสมอ จากรูปที่ 2-7 แสดงส่วนต่างๆ ของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปและเปลวไฟที่มีผลต่อการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ,ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้(unburned Hydrocarbon) และเขม่าหรือสารละออง(soot or Particulate matter) ในช่วงการเผาไหม้สารผสมที่ผสมไว้ก่อนแล้ว (Premix phase) และในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมด้วยการผสม(Diffusion phase)

ในเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบที่มีการไหลวนการกระจายของอุณหภูมิและอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศภายในบริเวณแก๊สที่เผาไหม้แล้วไม่สม่ำเสมอ โดยอัตราการเกิด NO_x จะสูงสุดในบริเวณสารผสมที่ใกล้สารผสมพอดีซึ่งเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงสุด ส่วนเขม่าจะเกิดขึ้นในบริเวณแกนของสเปรย์ที่มีเชื้อเพลิงซึ่งยังไม่เผาไหม้ แล้วเขม่าก็จะถูกออกซิไดซ์ในบริเวณเปลวไฟเมื่อไปสัมผัสกับออกซิเจนทำให้เปลวไฟมีลักษณะเป็นสีเหลืองสว่าง

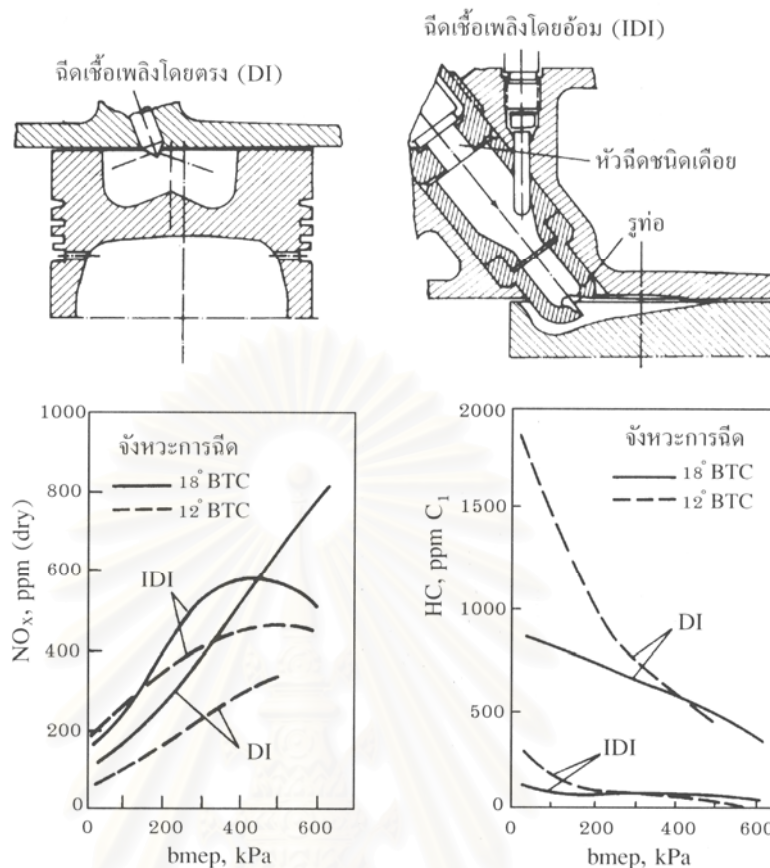
ส่วนไฮโดรคาร์บอนและอัลดีไฮด์ (aldehyde) จะเกิดในบริเวณที่เปลวไฟดับทั้งที่ผนังและในบริเวณที่ซึ่งถูกเจือจางด้วยอากาศมากเกินไปจนการเผาไหม้ไม่สามารถเริ่มหรือเกิดต่อไปจนสมบูรณ์ได้ นอกจากนี้ ไอเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่ที่ปลายหัวฉีดในช่วงหลังของการเผาไหม้ ก็จะเป็นแหล่งของไฮโดรคาร์บอนอีกแหล่งหนึ่ง สำหรับเสียงที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นจะถูกควบคุมโดยส่วนแรกของกระบวนการเผาไหม้ซึ่งมีการปล่อยความร้อนที่รวดเร็วทันทีหลังช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด การควบคุมสามารถทำได้โดยพยายามไม่ให้เกิดการเผาไหม้ของสารผสมที่เกิดขึ้นพร้อมกันทันทีในปริมาณที่มากเกินไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



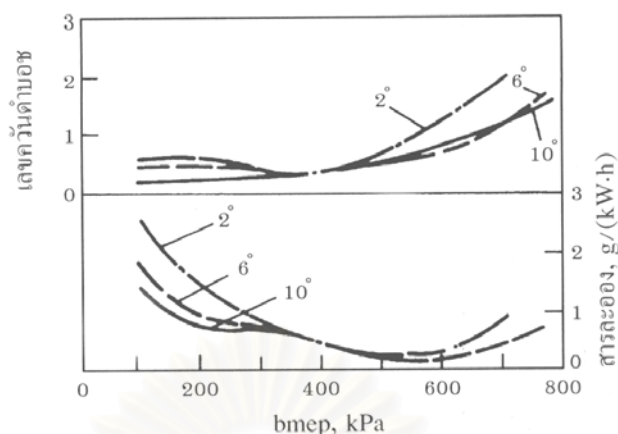
รูปที่ 2-7 สรุปกลไกการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ในช่วงการเผาไหม้สารผสมที่ผสมไว้ก่อนแล้ว (premixed) และช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม (mixing controlled) [1]

สำหรับผลของภาวะที่มีต่อ NO_x และ HC ที่ออกมากับไอเสียของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงและโดยอ้อมที่นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติได้แสดงไว้ในรูปที่ 2-8 ซึ่งจะพบว่า สำหรับเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ความเข้มข้นของ NO_x จะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเมื่ออัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเพิ่มขึ้นรวมกับการเพิ่มของ bmep ที่จังหวะการฉีดเชื้อเพลิงคงตัว การเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าต่อวัฏจักรเป็นผลให้มีปริมาณของผลที่เกิดจากการเผาไหม้ของสารผสมที่ใกล้กับสารผสมพอดีเกิดขึ้นที่ใกล้กับตำแหน่งความดันและอุณหภูมิสูงสุดมีมากขึ้น



รูปที่ 2-8 ผลของภาวะที่มีต่อความเข้มข้นของ NO_x และ HC ที่ออกมาจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติที่ความเร็วที่กำหนด สำหรับจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงสองจังหวะระบบการเผาไหม้แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงและแบบโดยอ้อม 6 สูบปริมาตรการกระจัด 5.9 ลิตร เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงมีอัตราส่วนกำลังอัด 17 ที่ความเร็ว 2,800 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมมีอัตราส่วนการอัดที่ 16.7 ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที [1]

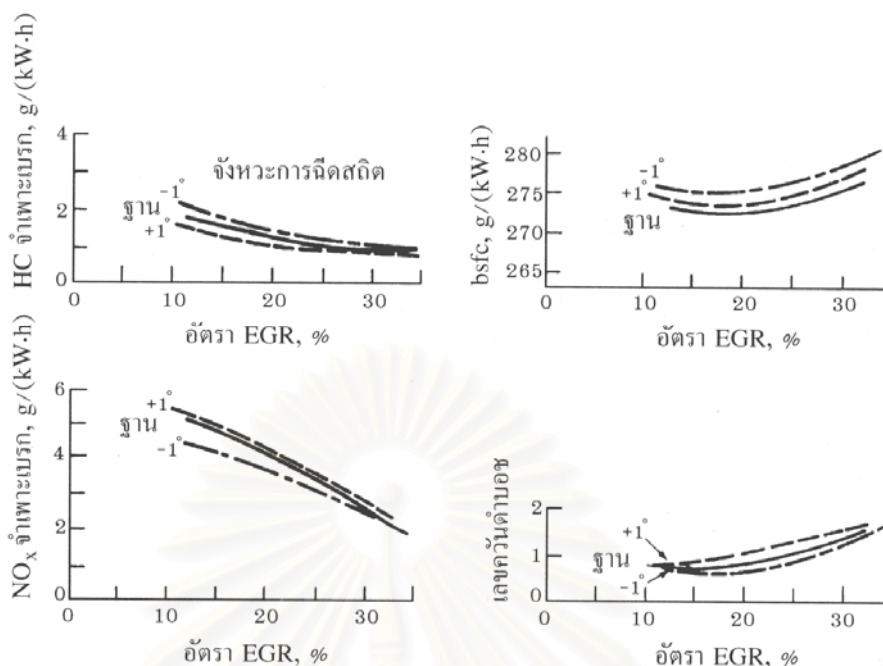
ส่วนเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมจะแสดงแนวโน้มที่คล้ายกันยกเว้นที่ภาวะมาก ความเข้มข้นของ NO_x จะลดลง โดยคุณสมบัติเหล่านี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อความเร็วของเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมยังมีความเข้มข้นของ HC น้อยกว่าเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ระดับ HC จะสูงที่สภาวะเดินเบา และภาวะน้อยซึ่งอาจเป็นผลมาจากการผสมของเชื้อเพลิงที่เป็นสารผสมบางเกินไป แต่ถ้ามีการจ่ายเชื้อเพลิงที่มากเกินไปที่สภาวะภาวะสูงขึ้น ค่าไฮโดรคาร์บอนจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2-9 แสดงค่าคว้นเป็นเลขคว้นดำบอชและมวลสารละลายองที่ออกมาจากไอเสีย (g/kW-hr) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของภาระและจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมมีห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน 6 สูบ ความจุ 3.7 ลิตร ทำงานที่ความเร็ว 1,600 รอบต่อนาที (ไม่ใช่ EGR) [1]

จากรูปที่ 2-9 แสดงถึงคว้นและมวลสารละลายองที่ออกมาจากเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมที่นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติ จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของคว้นดำที่ภาระมากขึ้นจะเป็นตัวจำกัดค่า bmep สูงสุดที่เครื่องยนต์ดีเซลสามารถให้ออกมาได้ สำหรับกราฟของสารละลายองกับภาระจะเห็นว่าเป็นรูปตัวยู (U) ทั้งนี้ เนื่องจากที่ภาระน้อยจะมีสารละลายองที่เป็นไฮโดรคาร์บอนมากและที่ภาระมากจะมีสารมวลละลายองที่เป็นคาร์บอนมาก

การลด NO_x ที่ออกมาจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ภาระบางส่วนสามารถทำได้โดยการนำเอาไอเสียกลับมาใช้อีก(EGR) แต่เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลทำงานโดยไม่มีการลดการไหลของอากาศที่ภาระบางส่วน ดังนั้นความเข้มข้นของ CO_2 และ H_2O ในไอเสียจึงต่ำ (ความเข้มข้นเกือบเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศ) ทำให้ต้องใช้ EGR ที่ระดับสูงเพื่อลด NO_x ลงให้ได้มากพอสมควร รูปที่ 2-10 แสดงผลของ EGR ที่มีต่อปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำเพาะเบรก(BSHC), ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์จำเพาะเบรก(BSNO_x), การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก(bsfc) และเลขคว้นดำบอชของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง มีการไหลวนสูงขนาดเล็กที่ใช้กับเครื่องยนต์ที่สภาวะภาระบางส่วน ซึ่งจะลด NO_x จำเพาะเบรกได้มากพอสมควร ลด HC จำเพาะเบรก(BSHC)ลงได้เล็กน้อยและไปเพิ่ม bsfc เพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ดี คว้นดำจะเพิ่มขึ้นเมื่อ EGR เพิ่มขึ้น



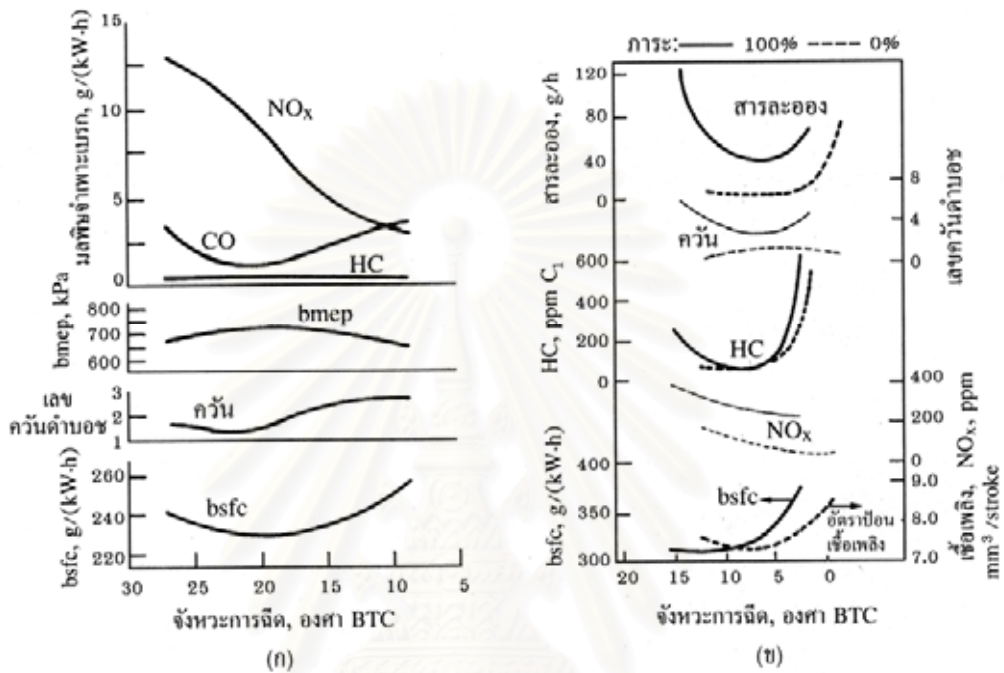
รูปที่ 2-10 แสดงปริมาณของ HC จำเพาะเบรก, NO_x , การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและเลขคว้นดับบอช ซึ่งเป็นฟังก์ชันของร้อยละของไอเสียที่นำกลับมาใช้อีก(EGR) ของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง 4 สูบ ความจุ 2.4 ลิตร มีการไหลวนสูง ทำงานที่ความเร็ว 1,250 รอบต่อนาทีและ bmep เท่ากับ 255 kPa [1]

2.1.5 ผลของพารามิเตอร์ของการฉีดเชื้อเพลิงที่มีต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

จังหวะการฉีดเชื้อเพลิงจะเป็นตัวควบคุมตำแหน่งของมุมข้อเหวี่ยงที่การเผาไหม้เริ่มต้นขึ้น ในขณะที่สภาวะของอากาศที่เชื้อเพลิงฉีดเข้าเปลี่ยนแปลงไปตามจังหวะของการฉีดเชื้อเพลิงก็จะทำให้ความล่าช้าในการจุดระเบิดเปลี่ยนแปลงไปด้วย นอกจากนี้ อัตราการฉีดเชื้อเพลิง การออกแบบหัวฉีด (รวมถึงจำนวนรูหัวฉีด) และความดันในการฉีดจะมีผลต่อลักษณะของสเปรย์เชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้และการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศในห้องเผาไหม้

จากรูปที่ 2-11 แสดงถึงผลของการเปลี่ยนแปลงจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงที่มีต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่มีการไหลวนปานกลาง และของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมที่มีห้องเผาไหม้ก่อนไหลวนซึ่งจะพบว่าที่อัตราเร็วคงตัวและปริมาณของเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าต่อวัฏจักรคงตัว เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงจะให้ bsfc

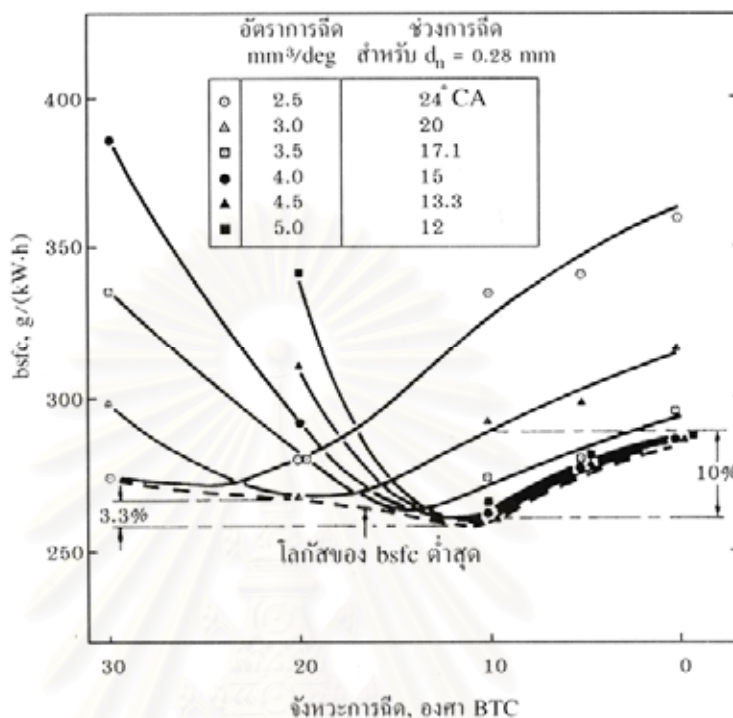
และ bmep ที่ดีที่สุดที่จุดเริ่มต้นของการฉีดเพียงค่าหนึ่งสำหรับช่วงการฉีดที่กำหนดหนึ่งๆ เท่านั้น สำหรับเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมซึ่งทำการทดลองที่ bmep คงตัวพบว่า bsfc ที่ภาระเต็มทีและที่ไม่มีภาระ(เดินเบา) จะต่ำสุดที่จังหวะการฉีดเชื้อเพลิงเฉพาะค่าหนึ่งในแต่ละกรณีซึ่งไม่เท่ากัน



รูปที่ 2-11 แสดงผลของจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงที่มีต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล (ก) เครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงการไหลวนปานกลาง มีหลุมในลูกสูบลึก และใช้หัวฉีดแบบ 4 รู ทำงานที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที เชื้อเพลิงที่เข้าสู่วัฏจักรเท่ากับ 75 mm³ อัตราส่วนสมมูลระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศเท่ากับ 0.69 (ข) เครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม มีห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน ทำงานที่ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที ที่ภาระ 0% และ 100% [1]

การเปลี่ยนแปลงจังหวะการฉีดซึ่งแสดงในรูปที่ 2-12 จะมีผลค่อนข้างมากต่อความเข้มข้นของ NO_x ที่ออกมากับไอเสียของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง แต่สำหรับเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมจะมีผลน้อยกว่า การฉีดที่ล่าช้ามักใช้ช่วยในการควบคุม NO_x ซึ่งจะให้ NO_x ลดลงมากพอควรโดยมี bsfc เพิ่มขึ้นไม่มากนัก สำหรับเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่ภาระมาก ความเข้มข้นของ HC จะต่ำและจะแปรผันเล็กน้อยกับจังหวะการฉีด แต่ที่ภาระน้อย

ความเข้มข้นของ HC จะสูงกว่าและความเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อจังหวะการฉีดล่าช้าไปมากจากจังหวะที่ดีที่สุด ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะมีปริมาณมากที่สภาวะเดินเบา



รูปที่ 2-12 แสดงผลของจังหวะและอัตราการฉีดที่มีต่อค่า bsfc ของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงนำอากาศเข้าโดยธรรมชาติ สูบเดี่ยว ความจุ 0.97 ลิตร มีการไหลวน ทำงานที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที อัตราเร็วในการป้อนเชื้อเพลิง 60 mm³ ต่อยะยะชัก [1]

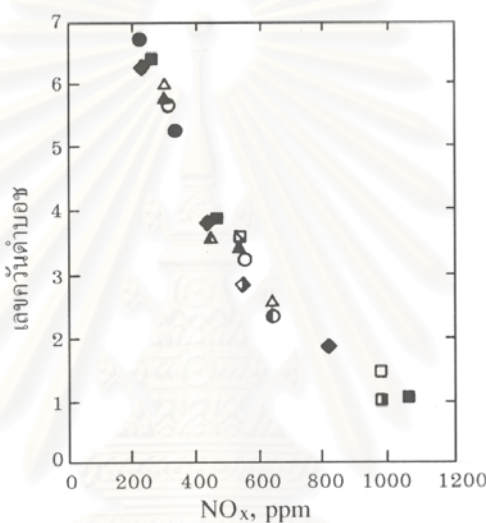
สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม ความเข้มข้นของ HC จะมีแนวโน้มเช่นเดียวกันแต่ปริมาณจะต่ำกว่าเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงมาก

จังหวะการฉีดล่าช้ามักจะทำให้ควันดำเพิ่มขึ้นแม้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างการฉีดล่าช้ากับปริมาณควันดำจะแปรผันค่อนข้างมากระหว่างชนิดและแบบต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลก็ตาม ส่วนสารละอองจะเพิ่มขึ้นเมื่อจังหวะการฉีดล่าช้าออกไป

อัตราการฉีดจะขึ้นอยู่กับพื้นที่เปิดของหัวฉีดและความดันในการฉีด อัตราการฉีดที่สูงกว่าจะทำให้อัตราผสมของเชื้อเพลิงและอากาศสูงขึ้นและเป็นผลให้อัตราการปล่อยความร้อนสูงขึ้น สำหรับปริมาณของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปต่อสูบต่อวัฏจักรหนึ่งๆ เมื่ออัตราการฉีดเพิ่มขึ้นจังหวะการฉีดที่ดีที่สุด (optimum injection timing) จะเคลื่อนเข้าไปใกล้ TC มากขึ้น ผลของอัตราและจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงที่มีต่อ bsfc ในเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่นำอากาศ

เข้าโดยธรรมชาติได้แสดงไว้ในรูปที่ 2-12 อัตราการปล่อยความร้อนที่สูงขึ้นและกระบวนการเผาไหม้ที่สั้นลงซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มอัตราการฉีดก็จะทำให้ bsfc ต่ำสุดที่จังหวะการฉีดที่ดีที่สุดลดต่ำลง แต่อย่างไรก็ตามก็จะมีขีดจำกัดของจุดต่ำสุด

การเพิ่มอัตราการฉีดจะไปเพิ่ม NO_x และไปลดควันทำหรือสารละออง ดังแสดงได้ในรูปที่ 2-13 แสดงปริมาณของ NO_x และควันทำของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ซึ่งจะเห็นว่า การแลกเปลี่ยนระหว่างควันทำและ NO_x เกือบจะไม่ขึ้นกับอัตราเร็วเครื่องยนต์ อัตราการฉีด จังหวะการฉีดและปริมาณของ EGR เลย

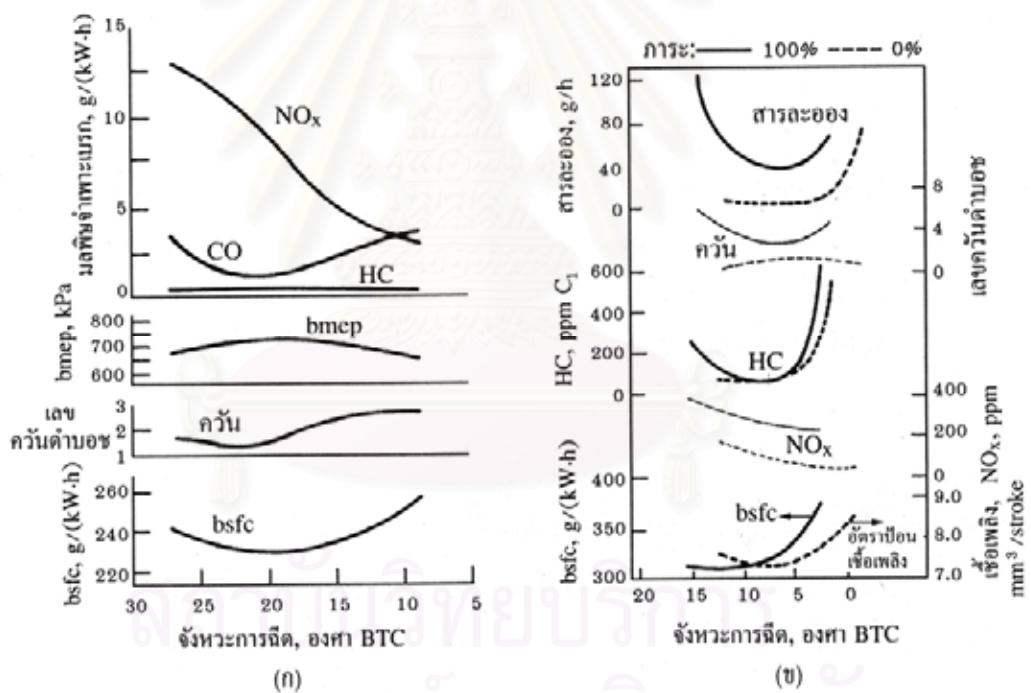


รูปที่ 2-13 การแลกเปลี่ยนระหว่าง NO_x และควันทำของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง สูบเดี่ยว ไม่มีการไหลวน $B = 140$ มม. $L = 152$ มม. $r_c = 14.3$ หัวฉีดมี 8 รู ที่ความเร็วเครื่องยนต์, อัตราการฉีดเชื้อเพลิง, จังหวะการฉีด, ความดันในการฉีด และ %EGR ต่างๆ ที่ $A/F = 25$ (คงตัว) [1]

2.1.6 อิทธิพลการไหลวนของอากาศที่มีต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

การเพิ่มปริมาณของการไหลวนของอากาศภายในกระบอกสูบมักถูกใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงเมื่อขนาดของเครื่องยนต์เล็กลงและอัตราเร็วเครื่องยนต์สูงสุดเพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้อัตราการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศที่รวดเร็วเพียงพอ ในเครื่องยนต์ขนาดกลางถึงเล็ก การใช้ห้องเผาไหม้แบบหลุมในลูกสูบจะทำให้การไหลวนเพิ่มขึ้นมากที่ปลายกระบวนการอัด

เนื่องจากการไหลวนถูกใช้ในการเพิ่มอัตราการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศ ดังนั้นจึงพอคาดเดาได้ว่าช่วงเวลาทั้งหมดของกระบวนการเผาไหม้จะสั้นลงเมื่อการไหลวนเพิ่มขึ้น รูปที่ 2-14 แสดงผลของการไหลวนและการเปลี่ยนแปลงจังหวะการฉีดเชื้อเพลิงที่มีต่อ bsfc และการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ที่มีห้องเผาไหม้แบบหลุมในลูกสูบทอรอยด์ (toroidal bowl-in-piston chamber) พบว่าจังหวะการฉีดที่ให้ bsfc ต่ำสุดเลื่อนไปทาง TC เมื่ออัตราส่วนการไหลวนเพิ่มขึ้นเนื่องจากช่วงการเผาไหม้ทั้งหมดลดลง bsfc ต่ำสุดจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วนการไหลวนมีค่าเป็น 6 ถึง 7 ในขณะที่ระดับของการไหลวนสูงขึ้นก็จะไปเพิ่มอัตราการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศให้สูงยิ่งขึ้น รวมทั้งการถ่ายเทความร้อนก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นนี้จะไปทำให้ข้อดีจากอัตราการผสมที่เพิ่มขึ้นหมดไป ในที่สุดสารละลายของ และ CO จะลดลงเมื่อการไหลวนเพิ่มขึ้นเนื่องจากการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศรวดเร็วมากขึ้น แต่ NO_x ก็เพิ่มขึ้นพร้อมกับการเพิ่มของการไหลวนด้วย



รูปที่ 2-14 แสดงผลของการไหลวนของอากาศที่มีต่อค่า bsfc และการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง สูบเดี่ยว มีห้องเผาไหม้แบบหลุมในลูกสูบทอรอยด์ ปริมาตรการกระจัด 1.36 ลิตร อัตราส่วนการอัด 16 เส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมต่อเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบเท่ากับ 0.5 ทำงานที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที ภาวะเต็มที อัตราส่วนการไหลวนวัดในหลุมลูกสูบเมื่อฉีดเชื้อเพลิง [1]

2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล

คุณสมบัติของเชื้อเพลิง และผลกระทบต่อสมรรถนะและการใช้งานของเครื่องยนต์ดีเซล ประกอบด้วย

2.2.1 เลขซีเทน (Cetane Number)

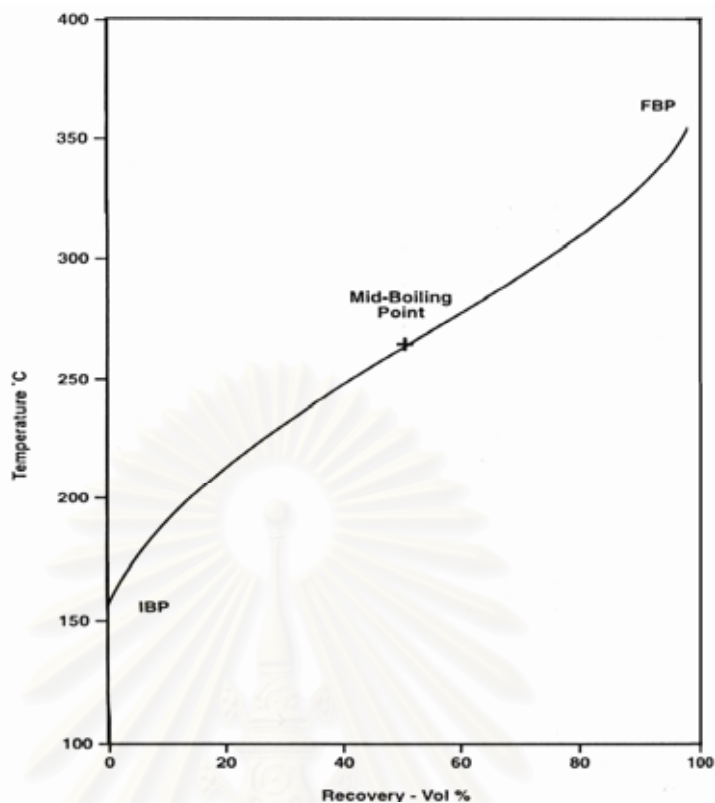
การวัดคุณภาพการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงดีเซลซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปคือ เลขซีเทน การกำหนดค่าของเลขซีเทนถูกนิยามโดยการผสมกันของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์อ้างอิง 2 ชนิด ซึ่งได้แก่ cetane(n-hexadecane) ที่มีคุณสมบัติการจุดระเบิดสูงให้มีเลขซีเทนเป็น 100 และ isocetane หรือ heptamethyl nonane เป็น paraffin ที่มีกิ่งสาขามาก มีคุณสมบัติการจุดระเบิดต่ำ กำหนดให้มีเลขซีเทนเป็น 15 โดยใช้มาตรฐาน ASTM D613 ในการทดสอบ

$$\text{cetane number} = \% \text{ n-cetane} + 0.15 (\% \text{ heptamethyl nonane}) \quad (2-6)$$

เลขซีเทนนี้มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิง เช่น คุณสมบัติการสตาร์ทเครื่อง, มลภาวะ, ความดันในห้องเผาไหม้สูงสุด และเสียงของเครื่องยนต์ เป็นต้น ผลดีของการที่เชื้อเพลิงมีเลขซีเทนสูงได้แก่ เครื่องยนต์มีสมรรถนะสูง, เพิ่มคุณสมบัติการสตาร์ทเครื่องในขณะเย็น, ลดควันดำในช่วงการอุ่นเครื่องยนต์, ลดเสียงดัง, ลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษ แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทดสอบเพื่อหาค่าเลขซีเทนนั้นสูงจึงได้มีการคำนวณ cetane index (CCI) ขึ้นมาเพื่อประมาณค่าคุณสมบัติการจุดระเบิดแทน โดยใช้ค่า API gravity และ mid-boiling temperature (50 % evaporated) ตามมาตรฐาน ASTM D976

2.2.2 ค่าการระเหย (Volatility)

รายละเอียดที่ได้ระหว่างการกลั่นเชื้อเพลิง ได้แก่ initial boiling point (IBP), end point (EP) หรือ final boiling point (FBP), percent of condensate recovered และ percent residue of nonvolatile matter โค้งการกลั่นตัวของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไปแสดงในรูปที่ 2-15



รูปที่ 2-15 โค้งการกลั่น(Distillation curve) ของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป [2]

Volatility (การกลั่น หรือช่วงการเดือดของเชื้อเพลิง) มีผลต่อคุณสมบัติอื่นๆ รวมถึง ความหนาแน่น, จุดวาบไฟ, อุณหภูมิการจุดระเบิดด้วยตัวเอง, ความหนืด และเลขซีเทน volatility ที่สูงจะทำให้เกิด vapor lock และจุดวาบไฟที่ต่ำลง vapor lock จะทำให้เครื่องยนต์ misfire หรือเกิดความล้มเหลวในการติดเครื่องยนต์ใหม่หลังจากดับเครื่องยนต์ลงในช่วงเวลาสั้นในสภาวะร้อน แต่อย่างไรก็ตาม volatility ที่สูงก็ยิ่งทำให้เชื้อเพลิงระเหยได้อย่างสมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ แต่ผลที่ตามมาคือส่วนที่มีจุดเดือดสูงอาจเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดการสะสมรวมตัวในเครื่องยนต์และเพิ่มระดับควัน แต่อย่างไรก็ตาม ภายในช่วง 350 °C ถึง 400 °C ผลของ volatility ที่ต่ำต่อไอเสียจะมีค่าน้อย อุณหภูมิที่กลั่นตัวไปแล้ว 50% (mid-volatility) ของเชื้อเพลิงดีเซลมีผลอย่างชัดเจนต่อแนวโน้มของควันโดยผ่านทางผลต่อการฉีดและการผสมของเชื้อเพลิงและใช้สำหรับการคำนวณ cetane index ตามมาตรฐาน ASTM D976

ส่วนที่ volatility สูงซึ่งอยู่ที่จุดต่ำสุดในโค้งในรูปที่ 2-15 ช่วยปรับปรุงการติดเครื่องยนต์เย็น และการอุ่นเครื่อง ในขณะที่ส่วนที่ volatility ต่ำที่ปลายด้านสูงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มการสะสมรวมตัว, ควัน และการสึกหรอ เนื่องจากเชื้อเพลิงระเหยยาก ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

2.2.3 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงดีเซลให้ประโยชน์ในการบ่งชี้องค์ประกอบ และคุณลักษณะที่สัมพันธ์กับสมรรถนะ เช่น คุณภาพการจุดระเบิด, กำล้าง, การประหยัดเชื้อเพลิง, คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำ และแนวโน้มของควัน บางครั้งอาจแสดงความหนาแน่นเป็นความถ่วงจำเพาะ หรือ API gravity ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการกลั่นต่างๆ โดยประมาณแสดงดังต่อไปนี้ [2]

Straight-run distilled	805 – 870 kg/m ³
Hydrocracked gas oil	815 – 840 kg/m ³
Thermally cracked gas oil	835 – 875 kg/m ³
Catalytically cracked gas oil	930 – 965 kg/m ³

2.2.4 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของของไหลบ่งบอกถึงความต้านทานการไหลของของไหลซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงดีเซลเนื่องมาจากมันมีอิทธิพลต่อสมรรถนะของอุปกรณ์ฉีดเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นมุมกรวยสเปรย์ของหัวฉีดจะลดลง, การกระจายเชื้อเพลิง และ การพุ่งของสเปรย์ (spray penetration) ก็ลดลงไปด้วย ในขณะที่ขนาดของหยดเชื้อเพลิง (droplet) ใหญ่ขึ้น ดังนั้นความหนืดจะมีผลต่อ injection timing ที่เหมาะสมสำหรับรูปร่างหัวฉีดและความดันการฉีดเชื้อเพลิงหนึ่งๆ นอกจากนี้ความหนืดจะมีอิทธิพลต่อปริมาณของเชื้อเพลิงที่ฉีดด้วย

เชื้อเพลิงดีเซลมักจะมีการกำหนดคุณสมบัติขอบเขตบนของความหนืดเพื่อให้แน่ใจว่ามีการไหลของเชื้อเพลิงที่เพียงพอสำหรับการติดเครื่องขณะเย็นและยังมีการกำหนดความหนืดต่ำสุดเพื่อป้องกันการสูญเสียกำลังที่อุณหภูมิสูงด้วย เนื่องจากหากว่าเชื้อเพลิงมีค่าความหนืดต่ำมากเกินไปจะทำให้ penetration ของสเปรย์ยาวเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดการ wet ที่ผนังห้องเผาไหม้ทำให้สูญเสียกำลังของเครื่องยนต์ได้

เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้นเมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบมาผสมกับดีเซล จึงทำให้เชื้อเพลิงปาล์มดิบผสมดีเซลมีความหนืดที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

2.2.5 คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity)

คุณสมบัติการหล่อลื่นของเชื้อเพลิงดีเซล โดยการทดสอบด้วยวิธี high frequency reciprocating rig (HFRR) ตามวิธีการทดสอบของ CEC F-06-A-96 น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่า

คุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดีจะช่วยลดการสึกหรอที่เกิดจากการใช้งานในชิ้นส่วนที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงโดยตรง

2.2.6 คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงดีเซล

เชื้อเพลิงดีเซล อาจประกอบด้วย heavy paraffinic hydrocarbons ซึ่งมีความสามารถในการละลายที่จำกัดในเชื้อเพลิง Paraffins จะสะสมรวมตัวกันเป็นไข(wax) เมื่ออยู่ในสภาวะที่เย็นเพียงพอ ซึ่งนั่นเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ การเกิดในระบบเชื้อเพลิงในยานพาหนะเป็นแหล่งของปัญหาในการทำงานต่างๆ เช่นทำให้เกิดการอุดตันในระบบเชื้อเพลิง

2.2.7 เสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซล

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเชื้อเพลิงคือ ความมีเสถียรภาพไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างช่วงเวลาระหว่างการผลิต การใช้งานในเครื่องยนต์ และการกักตัวของตะกอนระหว่างการเก็บเชื้อเพลิงดีเซลในระยะยาว ในโตรเจน และสารประกอบที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบมักจะเกี่ยวข้องอย่างมากในกระบวนการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิง เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นตะกอนเชื้อเพลิง กลไกที่การเผาไหม้ของไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นในหลายขั้นตอน เริ่มต้นด้วยการเริ่มเกิดโซ่ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดอนุมูลอิสระ เมื่ออนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนก่อตัวขึ้น มันจะสามารถรวมตัวกับออกซิเจนเพื่อก่อให้เกิดอนุมูล peroxide ซึ่งในทางกลับกันสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนอื่นโดยการกำเนิดอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนอื่น และ hydroperoxide ดังนั้นกระบวนการเผาไหม้จึงไม่สูญสลายไปได้ด้วยตัวเอง อนุมูลอิสระยังสามารถเป็นเหตุให้เกิด polymerization และ ปฏิกิริยาการเผาไหม้เพื่อก่อให้เกิดวัสดุที่น้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งสามารถสะสมรวมตัวในระบบเชื้อเพลิง ขั้นตอนสุดท้ายคือ chain termination เมื่อ antioxidant หายไป เป็นปฏิกิริยาซึ่งนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่ไร้อนุมูลอิสระ

ความสามารถของเชื้อเพลิงในการรักษาเสถียรภาพในถังเก็บขึ้นอยู่กับตัวแปรซึ่งควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเอง อาทิ oxidation ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเองที่ซับซ้อนปรากฏออกมาโดยทั่วไปมี 2 ชนิด ได้แก่ soluble gum ซึ่งเป็นพวก nonvolatile และ insoluble gum ซึ่งมักถูกเรียกว่าเป็นตะกอน และเป็นผลิตภัณฑ์ที่อันตรายที่สุดของการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงในถังเก็บ การเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพในระบบเชื้อเพลิงถูกสังเกตเห็นได้จากการอุดตันที่ไส้กรอง และการสะสมรวมตัวของสารเหนียวๆ (gum) ในระบบจุดระเบิดและหัวฉีด สาเหตุหลักของปัญหาการทำงานเหล่านี้ อาจเป็นเพราะความจริงที่ว่าเชื้อเพลิงดีเซลทำหน้าที่เป็นตัวหล่อเย็นหัวฉีด ซึ่งเป็นไปได้มากที่สุดที่จะเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิสูง ในส่วนของถังเชื้อเพลิงเมื่อเชื้อเพลิงถูกทำให้เย็นลงและให้ความร้อนอีกครั้ง การเกิดวัฏจักรการให้ความร้อนและ

การทำให้เย็นต่อเนื่องกันอาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงดีเซลที่ไม่มีเสถียรภาพทางความร้อน

2.2.8 ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur Content)

วิธีหนึ่งในการลดระดับไอเสียทั้งหมดของ particulate matter (TPM) จากเครื่องยนต์ดีเซลคือ การใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่มีกำมะถันต่ำ (<0.05% โดยน้ำหนัก) ระหว่างกระบวนการเผาไหม้กำมะถันส่วนใหญ่ในเชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนเป็น sulphur dioxide (SO₂) ซึ่งส่วนมากถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ที่ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเพิ่มเติม นำไปสู่มลภาวะทางอากาศ SO₂ ที่เหลือจะถูกเผาไหม้ในไอเสียดีเซลที่มีออกซิเจนหนา และเกิดเป็น sulphur trioxide (SO₃) อุณหภูมิไอเสียดีเซลที่สูงจะรักษา SO₃ ไว้ในสถานะไอ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับน้ำ โดยปฏิกิริยาความชื้นนำไปสู่การก่อตัวของละอองกรดกำมะถันในอากาศ ซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำโดยพันธะทางเคมีจะถูกปล่อยออกมาเป็น particulate matter

ประโยชน์อื่นของการลดระดับกำมะถันในเชื้อเพลิงดีเซลคือ การลดการกัดกร่อน เป็นที่รู้กันว่าระดับกำมะถันที่สูงในเชื้อเพลิงทำให้เกิดการกัดกร่อนที่แหวนลูกสูบและ liners ของกระบอกสูบ การที่กำมะถันทำให้เกิดการกัดกร่อน ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับกำมะถันของเชื้อเพลิงและสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์โดยตรง

สำหรับในประเทศไทยค่ามากที่สุดของกำมะถันในดีเซลถูกกำหนดไว้คือ 0.05% ในการผลิตเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันน้อยกว่า 50 ppm และปริมาณ aromatic 5% โดยปริมาตร (ตามที่ระบุสำหรับเชื้อเพลิงดีเซล class 1) จำเป็นที่จะต้องใช้สภาวะ hydro-processing ที่รุนแรงขึ้นหรือเทคโนโลยี hydro-processing ที่แตกต่างกันออกไป

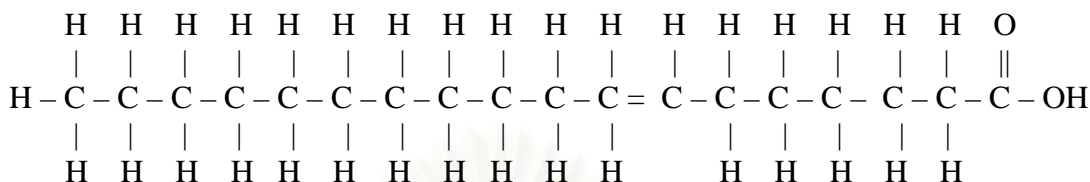
2.2.9 ปริมาณอะโรมาติก (Aromatic Content)

ส่วนประกอบ aromatic ในเชื้อเพลิงดีเซลเป็นปัญหาที่สำคัญเพราะว่าทำให้เกิดการปล่อย particulate emission แต่อย่างไรก็ตาม aromatics มีส่วนช่วยในการหล่อลื่นของเชื้อเพลิง ดังนั้นการกำจัดสารเหล่านี้จะทำให้เกิดอัตราการสึกหรอของปั๊มหัวฉีดสูงอย่างผิดปกติ

2.2.10 ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment Content)

เราไม่สามารถที่จะกำจัดน้ำออกจากเชื้อเพลิงดีเซลได้หมด เนื่องจากขั้นตอนแรกที่มีน้ำเข้ามาคือระหว่างกระบวนการผลิต นอกจากนั้นยังมีความเสี่ยงของการมีน้ำปะปนมาระหว่างการขนส่งและการเก็บในถัง การเกิดขึ้นของน้ำในถังเก็บอาจทำให้เกิดการเติบโตของราและแบคทีเรีย

ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว หมายถึง กรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมบางตัวจับกันด้วยพันธะคู่ เช่น กรดโอเลอิก ซึ่งน้ำมันพืชส่วนใหญ่จะเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ยกเว้นน้ำมันพืชบางชนิด เช่น น้ำมันมะพร้าว ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของโอเลอิก แสดงได้ดังนี้



น้ำมันพืชในธรรมชาติส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ ไตรกลีเซอไรด์ ถ้ากรดไขมันเป็นชนิดเดียวกันหมด เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์แบบง่าย ถ้ากรดไขมันต่างชนิดกัน เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์แบบผสมซึ่งเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ทั่วไปในน้ำมันพืช

2.3.1 น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์ม หมายถึง น้ำมันที่ได้จากเนื้อ (mesocarp) ของผลปาล์มน้ำมัน (Elaeis guineensis) สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ 1. น้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค 2. น้ำมันปาล์มสำหรับอุตสาหกรรม โดยน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภคสามารถแบ่งย่อยได้เป็นอีก 2 ชนิดคือ น้ำมันปาล์มธรรมชาติ (Virgin oil) และน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (Refined oil)

น้ำมันปาล์มธรรมชาติ หมายถึง น้ำมันปาล์มสำหรับบริโภคที่ได้จากการบีบ อัด หรือการใช้ความร้อน อาจทำให้สะอาดโดยการล้าง การตั้งไว้ให้ตกตะกอน การกรองและการหมุนเหวี่ยง (centrifuse) เท่านั้น ส่วนน้ำมันปาล์มรีไฟน์หรือน้ำมันปาล์มผ่านกรรมวิธี หมายถึงน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภคที่อย่างน้อยต้องผ่านกรรมวิธีการกำจัดกรด น้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำมันปาล์มธรรมชาติหรือน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) ซึ่งได้จากการสกัดผลปาล์มสด (Fresh fruit Bunch) โดยที่น้ำมันปาล์มดิบเป็นน้ำมันจากเส้นใยของผลปาล์มมีลักษณะเป็นน้ำมันข้น มีสีส้มขุ่น หน อุดหนุมิปกติ เมื่ออุ่นด้วยความร้อนน้ำมันจะใสและมีสีส้มอมแดง

สารเจือปนที่พบในน้ำมันปาล์มแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. กลุ่มไฮโดรไลติก (Hydrolytic) ประกอบด้วยความชื้น สิ่งสกปรกกรดไขมันอิสระ กลีเซอไรด์ และเอนไซม์ต่างๆ
2. กลุ่มออกซิเดทีฟ (Oxidative) ประกอบด้วยเศษผงโลหะ สารออกซิเดชันต่างๆ เม็ดสีโทโคเฟอรอล (Tocopherols) และฟอสฟาไทด์ (Phosphatide)

3. สารที่เป็นตัวเร่งให้เกิดสารพิษ ได้แก่ สารประกอบพวกไนโตรเจน กำมะถัน และเฮไลเจน ตลอดจนฟอสฟาไทด์ และสารออกซิเดชันต่างๆด้วย

น้ำมันปาล์มดิบเป็นผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจากผลปาล์มสดซึ่งจัดเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตมากที่สุดสำหรับในประเทศไทย ตามนิยามใน มอก. 288-2535 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค น้ำมันปาล์มดิบมีคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณลักษณะของน้ำมันปาล์มดิบ [4]

คุณลักษณะ	วิธีการทดสอบ	ข้อกำหนด
ความหนาแน่นสัมพัทธ์(Relative Density) ที่ 50/20 °C	CAC/RM9	0.891-0.899
ดัชนีหักเห (Refractive Index) ที่ n_D 50 °C	IUPAC(1979)	1.455-1.456
น้ำและสารระเหยได้ที่อุณหภูมิ 105 °C (%wt)	IUPAC(1979)	≤ 0.2
สิ่งอื่นที่ไม่ละลาย(Insoluble impurities)(%wt)	IUPAC(1979)	≤0.05
ค่าไอโอดีนแบบวิจิส (Iodine value,Wijis)	IUPAC(1979)	50-55
ค่าสะaponนิฟิเคชัน (Saponification value)มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม	IUPAC(1979)	190-209
สารที่สะaponนิฟิเคชันไม่ได้(Unsaponifiable matter)กรัมต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม	IUPAC(1979)	≤12
ค่าของกรด(Acid value) มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม	IUPAC(1979)	≤4
ค่าเปอร์ออกไซด์(Peroxide value)มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อตัวอย่าง 1 กก.	IUPAC(1979)	≤10
บีตาแคโรทีน(Beta carotene)มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	AOAC(1984)	500-2000

น้ำมันปาล์มดิบที่ทางโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผลิตได้ ส่วนใหญ่จำหน่ายให้กับโรงงานทำสบู่ มาการีนและกลั่นเป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ แต่จากความไม่แน่นอนของสถานการณ์ตลาดปาล์ม น้ำมันในประเทศที่มีผลทำให้ระดับราคาผลปาล์มสดและน้ำมันปาล์มดิบ มีแนวโน้มลดต่ำลงจากในอดีตที่ผ่านมาทำให้เกิดแนวความคิดที่จะนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลเพิ่มมากขึ้น

2.3.2 การเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบ

น้ำมันปาล์มส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมัน ซึ่งอาจอยู่ในรูปของเหลวหรือของแข็งก็ได้ แต่ถ้าเป็นปาล์มดิบจะอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของไขมัน ได้แก่ เอสเทอร์ ซึ่งไขมันจากพืชเหล่านี้จะมีคุณสมบัติต่างจากไขมันสัตว์หรือไขมันประเภทอื่น กล่าวคือ ในไขมันพืชจะประกอบด้วยเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ และโมเลกุลแอลกอฮอล์ที่มีสายยาว ส่วนกรดไขมันในพืชส่วนใหญ่จะเป็นไขมันประเภทไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันเหล่านี้สามารถรวมตัวกับกลีเซอรอล เพื่อเกิดเป็นสารประเภทโมโนกลีเซอไรด์ หรือ ไดกลีเซอไรด์ได้ เมื่อกลุ่มไฮดรอกซิล จำนวน 1-2 กลุ่มนี้ถูกแทนที่ไป อย่างไรก็ตามเมื่อมีอนุมูลอิสระของกรดไขมันที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยามากกว่า 1 กลุ่มขึ้นไป ก็จะสามารถรวมตัวกลายเป็นไตรกลีเซอไรด์ได้ ซึ่งกรดไขมันประเภทหลังนี้จะพบมากในไขมันจากพืช กรดไขมันเหล่านั้นจะประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอนทั้งประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ซึ่งการมีโครงสร้างดังกล่าวนี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่สำคัญขึ้นดังนี้

(ก) ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (Hydrolysis)

ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส จะเกิดขึ้นเสมอในน้ำมันปาล์มดิบ และจะมีผลทำให้สารประกอบโมโน, ได และ ไตรกลีเซอไรด์ กลายเป็นกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) มากขึ้น มีผลทำให้คุณภาพน้ำมันปาล์มดิบลดลง ซึ่งสาเหตุการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสนั้น มาจากการมีน้ำเจือปน การมีฝุ่นละอองและโลหะหนักปนเปื้อน และผลของการทำลายจากเอ็นไซม์ ดังนั้นเพื่อป้องกันน้ำมันปาล์มดิบเสื่อมสภาพอันด้วยสาเหตุเนื่องมาจากปริมาณน้ำและสิ่งปนเปื้อนสามารถทำได้ โดยลดปริมาณน้ำและสิ่งปนเปื้อนในน้ำมัน เช่น ฝุ่นให้น้อยที่สุด

ในกรณีที่เอ็นไซม์ก่อให้เกิดปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) นั้นได้มีผู้ศึกษาแล้วพบว่า ถ้าเก็บผลปาล์มสดจากต้นจะมีปริมาณกรด FFA เพียงร้อยละ 0.1 (ส่วนใหญ่เป็น Palmitic acid) แต่ถ้าผลปาล์มสดนั้นผ่านกระบวนการสกัด การบด ก็จะทำให้มีปริมาณ FFA สูงขึ้นถึงร้อยละ 50 ในเวลาเพียง 2-3 ชม. แต่ถ้ามีการนำผลปาล์มมาให้ความร้อนก่อนประมาณ 90-100 °C จะทำให้การเพิ่มปริมาณของ FFA น้อยลงได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับผลของปริมาณน้ำและอุณหภูมิต่อปริมาณ FFA ในน้ำมันปาล์มเมื่อเวลาต่างๆกัน ดังแสดงในตารางที่ 2-2

จากผลการศึกษาพบว่า การเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 18°C ปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มสูงขึ้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิสูงขึ้น เช่นที่ อุณหภูมิ 55°C และที่อุณหภูมิ 75 °C แม้ว่าระยะเวลาการเก็บรักษานานถึง 62 วัน และน้ำมันปาล์มที่เก็บรักษามีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.25 เป็นร้อยละ 5 จะทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 2-2 ปริมาณกรดไขมันอิสระในการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิและความชื้นที่ต่างกัน [5]

เวลาและอุณหภูมิของการทดลอง	ร้อยละ(Percent) ของกรดไขมันอิสระในรูปของกรด Palmitic	
	น้ำมันผสมน้ำร้อยละ0.25	น้ำมันชนิดเดียวกันและผสมน้ำเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 5
เริ่มต้นการทดลอง	2.8	2.8
หลังจาก 62 วัน ณ 18 °C	3.3	3.3
หลังจาก 55 วัน ณ 55 °C	3.5	4.1
หลังจาก 36 วัน ณ 75 °C	4.6	9.7

ขณะเดียวกันก็ยังมีผู้ศึกษาอีกว่าปริมาณของเชื้อประเภทย่อยสลายไขมัน (Lipolytic micro-organisms) ในน้ำมันจะมีผลต่อการเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระด้วย เชื้อดังกล่าวนี้ได้แก่ เชื้อราย่อยสลายไขมัน(Lipolytic Fungi) ซึ่งได้แก่เชื้อที่มีชื่อเรียกสปีชีส์(Species) Paecilomyces , Aspergillus , Rhizopus และ Torula เป็นต้น นั่นคือ การเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบที่ดีคือ ควรให้น้ำมันปาล์มดิบนั้นมีปริมาณน้ำต่ำสุด (คือน้อยกว่าร้อยละ 0.1)ให้มีฝุ่นน้อยที่สุด และอยู่ในสภาวะที่เชื้อโรคไม่สามารถเติบโตได้ก็จะช่วยรักษาคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบได้

(ข) ปฏิกริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

เนื่องจากไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบนั้นเป็นประเภทไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันได้ ณ ตำแหน่งพันธะคู่ ได้ผลออกมาเป็นสารประเภทไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxides) ซึ่งจะทำให้ไขมันนั้นมีกลิ่นเหม็นหืน การป้องกันให้ปฏิกริยาเหล่านี้เกิดขึ้นน้อยลงคือ ไม่ควรให้ถูกกับออกซิเจนในอากาศ และอย่าให้ถูกแสงเพราะแสงจะเป็นตัวเร่งปฏิกริยาได้ อย่างไรก็ตามธรรมชาติได้มีกระบวนการป้องกันการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันไว้แล้ว นั่นคือในไขมันที่ได้จากพืชส่วนใหญ่จะเป็นกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid) ซึ่งในพืชประเภทนี้จะมีสารประกอบพวกวิตามินอี ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidant) อยู่แล้ว ในปาล์มน้ำมันจะมีวิตามินอีประมาณ 10-130 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม แม้วิตามินอีเหล่านี้จะมีอยู่ในธรรมชาติ แต่เมื่อทำการเก็บเกี่ยวผลปาล์มเพื่อจะมาเข้าสู่กระบวนการผลิตวิตามินอีก็จะสลายไป จึงได้มีการเติมสารประเภทโทโคฟีรอล (Tocopherols) ลงไปในน้ำมันพืชเหล่านี้เพื่อป้องกันการเหม็นหืน

สรุปได้ว่า ในการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบจะต้องให้มีน้ำ ฝุ่นละอองและโลหะหนัก เจือปนน้อยที่สุดและหากนำผลปาล์มดิบผ่านความร้อนก่อนสกัดก็จะช่วยลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้

นอกจากนี้ควรเก็บในอุณหภูมิต่ำและอยู่ในสถานะที่เชื้อโรคไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การเติมสารประเภทโทโคฟีรอลจะป้องกันการเหม็นหืนได้

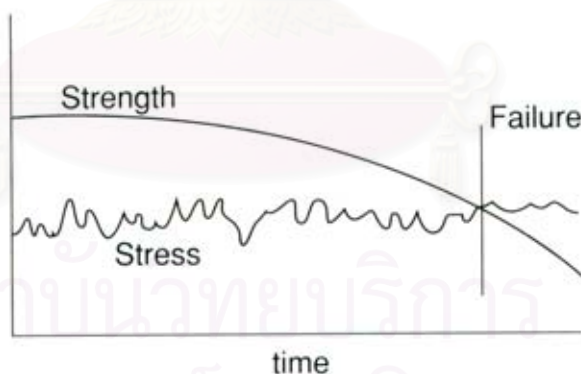
2.4 การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร [6]

เมื่อมีการเคลื่อนที่ของของชิ้นส่วน ในชิ้นส่วนหนึ่งสัมผัสกับอีกชิ้นส่วนหนึ่งจะเกิดความเสียหายขึ้นไม่ว่าจะเป็นความเสียหายจากการลื่นไถลหรือความเสียหายแบบกลิ้งตัว แม้จะมีการลดความเสียหายเหล่านี้ด้วยการใช้สารหล่อลื่น ซึ่งจะส่งผลให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำลง และลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากความเสียหาย แต่สุดท้ายตามกฎเกณฑ์ของธรรมชาติ สิ่งของต่างๆยังคงเกิดการสึกหรอและเสื่อมสภาพ เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะของการเสื่อมสภาพและหาสาเหตุหลักของการเสื่อมสภาพเพื่อทำการแก้ไข จึงต้องศึกษาทราบถึงประเภทของการเสื่อมสภาพและกลไกของการสึกหรอโดยสังเขปดังนี้

2.4.1 ประเภทของการเสื่อมสภาพ

ประเภทของการเสื่อมสภาพอาจแบ่งได้ตามลักษณะของการชำรุด ดังนี้

2.4.1.1 การเสื่อมสภาพตามเวลา (Time dependent degradation)

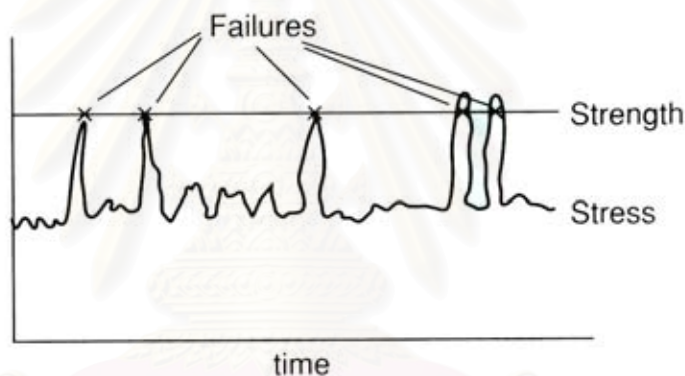


รูปที่ 2-16 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพตามเวลา [6]

ลักษณะของกราฟในรูปที่ 2-16 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเสื่อมสภาพ (การสึกหรอของวัสดุ) ของชิ้นส่วนอุปกรณ์ตามระยะเวลาการใช้งาน ซึ่งมีผลทำให้มิติ หรือขนาดของชิ้นส่วนเปลี่ยนแปลงไปมีผลทำให้ความแข็งแรง (Strength) ของชิ้นส่วนดังกล่าวมีค่าลดลงไปตามเวลาใช้งาน และสุดท้ายเมื่อค่าความแข็งแรงมีค่าลดลงจนใกล้ หรือต่ำกว่าค่าภาระใช้งาน ก็จะเป็นจุดที่เส้นกราฟ 2 เส้นนี้มาบรรจบกัน ซึ่งเป็นจุดที่ชิ้นส่วนจะชำรุด หรือแตกหักเสียหาย

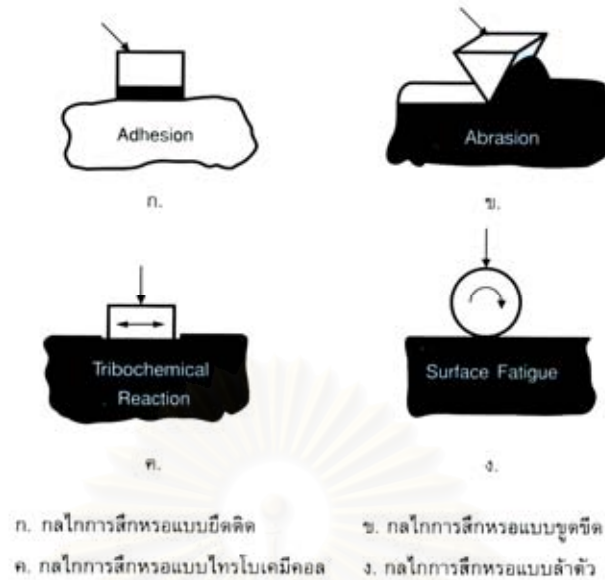
2.4.1.2 การเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent degradation)

ในการเสื่อมสภาพจนชำรุดในลักษณะนี้เป็นการชำรุดโดยไม่เกี่ยวข้องกับช่วงระยะเวลาใช้งานอาจจะเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ก็มีผลทำให้เกิดการชำรุดได้ (การชำรุดแบบ “แบบทันทีทันใด”) ซึ่งกรณีนี้ตรงกันข้ามกับกรณีแรก (กรณีแรกเป็นแบบการชำรุด “แบบค่อยเป็นค่อยไป”) หากดูจากกราฟในรูปที่ 2-17 จะเห็นว่าค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความแข็งแรงวัสดุต่อภาระใช้งานซึ่งเรียกว่า “ปัจจัยความปลอดภัย” (Safety Factor : SF) โดยทั่วไปวิศวกรออกแบบมักกำหนดให้มีค่ามากกว่า 1 หากแต่ถ้าเมื่อใดที่มีการใช้เครื่องจักรผิดวิธี หรือการเกิดภาระกระทันหันหรือช็อค (Shock or Impact load) ที่อาจเกิดจากอุบัติเหตุหรือใช้เครื่องจักรผิดวิธี ก็จะทำให้ภาระที่กระทำต่อชิ้นส่วนดังกล่าวพุ่งขึ้นสูงมากจนไปบรรจบกับค่าความแข็งแรงของวัสดุ จนทำให้วัสดุทนภาระดังกล่าวไม่ได้ และเกิดการชำรุดหรือแตกหักในที่สุด



รูปที่ 2-17 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา [6]

จากทั้งสองหัวข้อ คือ การชำรุดหรือการเสื่อมสภาพตามเวลา (Time dependent) มักจะเกี่ยวข้องกับการสึกหรอ (Wear) ส่วนการชำรุดแบบไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent) จะเกี่ยวข้องกับการแตกหัก ในการป้องกันการสึกหรอจำเป็นที่วิศวกรบำรุงรักษาต้องเข้าใจเสียก่อนว่า การสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรมีรูปแบบหรือกลไกการสึกหรอ (Wear mechanisms) อย่างไรบ้าง แล้วจึงสามารถหาแนวทางดำเนินการในการป้องกันการเสื่อมสภาพได้ ตามมาตรฐานด้านอุตสาหกรรมของประเทศเยอรมันหมายเลข 50320 (DIN 50320) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าแบ่งกลไกการสึกหรอไว้อย่างเหมาะสม 4 รูปแบบดังรูปที่ 2-18



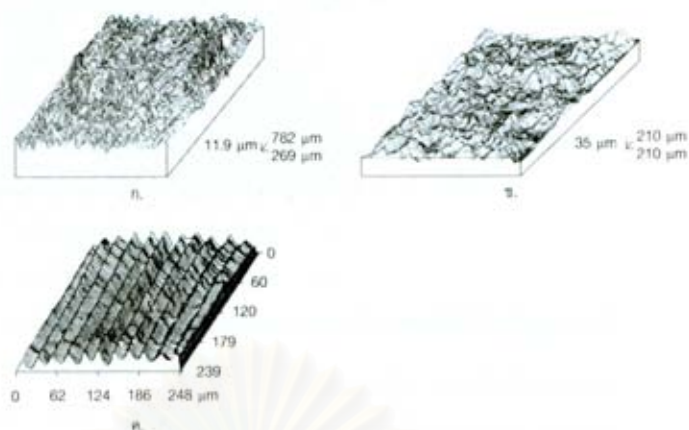
รูปที่ 2-18 แสดงกลไกการสึกหรอแบบต่าง ๆ [6]

2.4.2 การจำแนกกลไกการสึกหรอ

ก่อนที่จะกล่าวถึงกลไกการสึกหรอ (Wear mechanisms) จะอธิบายโดยสังเขปว่า เพราะเหตุใดจึงเกิดการสึกหรอขึ้น ทั้ง ๆ ที่มีบางคนแย้งว่าเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรไม่ควรเกิดการสึกหรอเพราะไม่ได้ใช้งานให้ภาระหรือความเค้น (Stress) ที่มากเกินไปกว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Strength) ซึ่งก็คือ วิศวกรออกแบบไว้ให้มีค่าปัจจัยความปลอดภัย (ความแข็งแรง/ความเค้น > 1) แต่สุดท้ายชิ้นส่วนก็ยังสึกหรอและแตกหักตามระยะเวลา เหตุผลที่สามารถอธิบายได้คือ การที่วิศวกรออกแบบคำนวณค่าความเค้น (Stress) ไว้คือ

$$\text{ความเค้น} = \frac{\text{แรงที่กระทำ}}{\text{พื้นที่รับแรงกระทำ}}$$

โดยที่พื้นที่รับแรงกระทำที่ใช้จะเป็นการใช้ค่าพื้นที่รับแรงกระทำที่เรามองเห็นหรือวัดได้ (Apparent area of contact) แต่ที่จริงแล้วพื้นที่รับแรงดังกล่าวอยู่บนสมมุติฐานว่า พื้นผิวชิ้นงานมีความเรียบ และรับภาระเต็มหน้าสัมผัส หากทว่าในระดับจุลภาคแล้วมนุษย์ยังไม่สามารถทำให้เกิดความเรียบของผิวดังกล่าวได้ ดังแสดงในรูปที่ 2-19



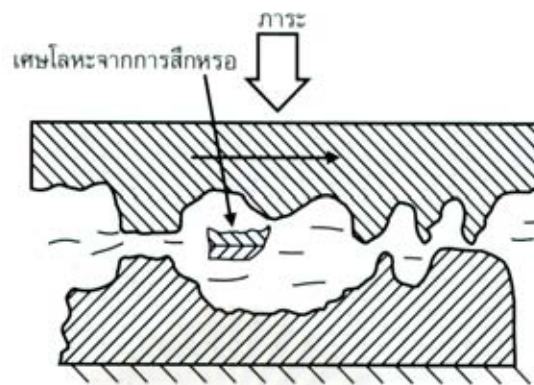
รูปที่ 2-19 แสดงพื้นผิวที่แท้จริงในระดับจุลภาค [6]

จะเห็นได้ว่าเมื่อหาค่าความเค้นในระดับจุลภาคแล้ว จะทำให้ค่าความเค้นจริงที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมากเกินค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Yield strength) โดยที่ยอดแหลม ๆ ที่เห็นจากภาพขยายของผิวงานถูกเรียกกันว่า “Asperities” เมื่อมีการสัมผัสกันของชิ้นงานจุดที่จะรับภาระจริงในระดับจุลภาค คือ Asperities ซึ่งมีพื้นที่เล็ก ๆ และเมื่อค่าภาระสูงเกิดค่าความแข็งแรง Asperities เหล่านี้จะเสียรูป/ยุบตัวโดยถาวรในขณะที่ชิ้นส่วนเหล่านี้หยุดนิ่ง เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนที่ Asperities ที่เสียรูปโดยถาวรดังกล่าวจะถูกเข็นตัวออกไป และกลายเป็นเศษโลหะจากการสึกหรอที่ปะปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นนั่นเอง ดังนั้นไม่ว่าจะใช้ภาระต่ำหรือสูง ก็จะทำให้เกิดการสึกหรอเสมอ โดยทั่วไปเราสามารถจำแนกกลไกการสึกหรอได้เป็น 4 กลไก คือ

2.4.2.1 กลไกการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive wear)

เป็นกลไกที่เกิดขึ้นจากการที่มีการเกิดพันธะยึดติดกันของ Asperities และมีการฉีกขาดตัวออกไปของพันธะที่เกิดขึ้นที่ในขณะที่ชิ้นงานมีการเคลื่อนที่ พันธะที่เกิดการ “ยึดติด” หรือ “เชื่อมติดกัน” ของ Asperities นี้เรียกกันว่า “การเชื่อมเย็น” (Cold-welded) ลักษณะการเกิดการสึกหรอแบบยึดติดแสดงในรูปที่ 2-20

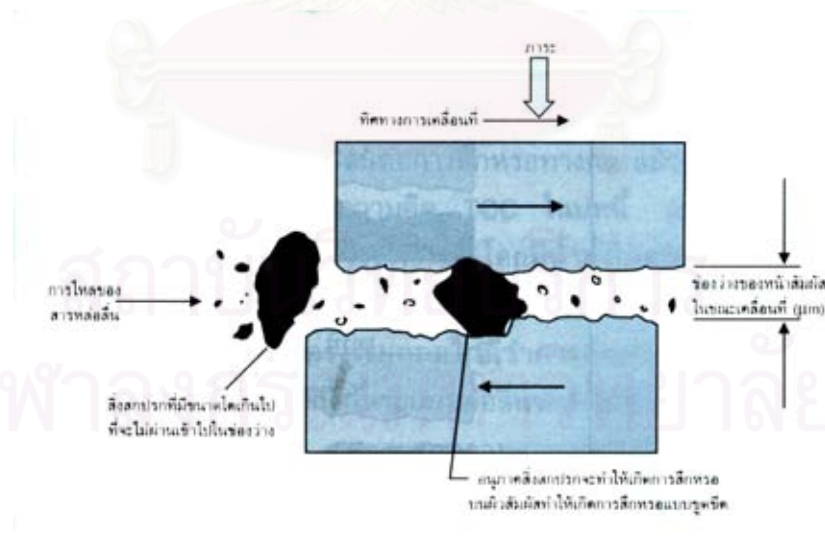
โดยที่สาเหตุที่เร่งให้เกิดการสึกหรอแบบยึดติด คือ สารหล่อลื่นมีความหนืดน้อยเกินไป ภาระมีค่าสูงมากเกินไปจนสารหล่อลื่นรับไม่ได้หรือใช้ความเร็วต่ำเกินไป



รูปที่ 2-20 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบยึดติด [6]

2.4.2.2 การสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasive wear)

เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการที่เนื้อวัสดุ ถูกเขือนออกไปจากการถูกขูดขีดโดยสสารที่มีความแข็งสูงมาก เช่น ฝุ่นละออง เม็ดทราย หรือกากเพชร เป็นต้น ลักษณะของการสึกหรอประเภทนี้ดังรูปที่ 2-21 การเร่งให้เกิดการสึกหรอประเภทนี้ คือ การใช้สารหล่อลื่นที่สกปรก การชุบแข็งผิวสัมผัสที่มีความแข็ง (Hardness) แตกต่างกันอย่างเกินไป



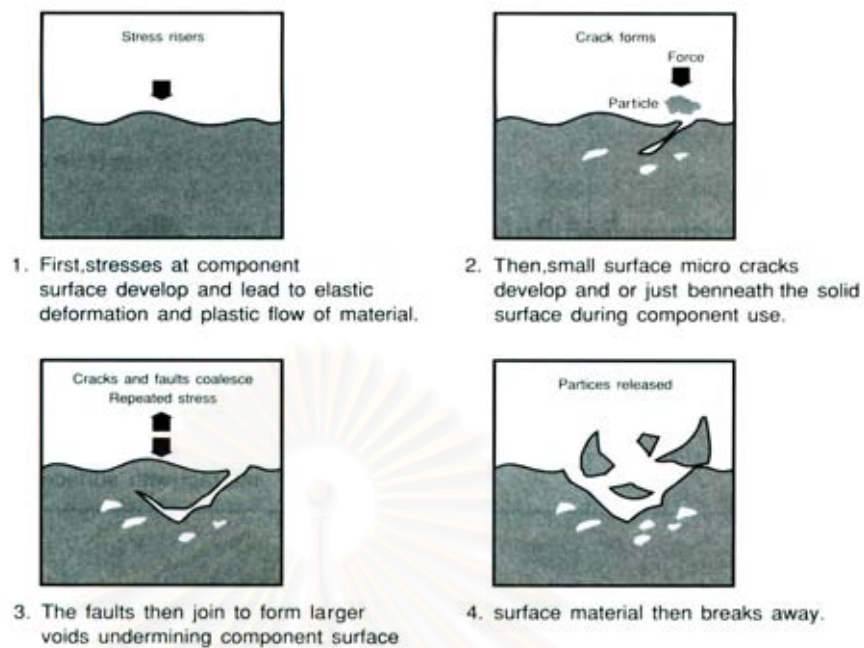
รูปที่ 2-21 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบขูดขีด [6]

2.4.2.3 การสึกหรอจากการล้าตัวของวัสดุ (Fatigue wear)

เป็นการล้าตัวและเกิดรอยแตกหรือหลุมบนผิวหน้าวัสดุบริเวณที่มีการล้าตัว ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าชิ้นงานมีการรับภาระเป็นวงรอบ (Stress cycles) การล้าตัวของวัสดุจะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก หากชิ้นงานรับภาระเพียงการกด (Compressive stress) หรือการดึง (Tensile stress) เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งแต่จะมีโอกาสเกิดการล้าตัวได้เร็วมาก ๆ หากมีการรับภาระสลับกันไปมาระหว่างการกดกับการดึง หรือการรับภาระแบบเป็นวงรอบ ซึ่งท้ายที่สุดจะส่งผลให้ผิววัสดุหลุดร่อนออกไปและทำให้มีรอยลึกหลงเหลือไว้บนผิวชิ้นงาน ลักษณะการเกิดการล้าตัวอีกแบบหนึ่งเกิดจากการมีสิ่งสกปรกในสารหล่อลื่นและทำให้เกิดรอยกด (Dents) ขึ้นบนผิวชิ้นงานก่อนและเมื่อใช้งานไปนาน ๆ รอยกดจะค่อย ๆ แพร่กระจายออกไปเป็นรอยแตก (Crack) เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปอยู่ในรอยกดนั้น ๆ ครั้งแล้วครั้งเล่า และเกิดเป็นหลุมในที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2-22

2.4.2.4 การสึกหรอแบบปฏิกิริยาโทรโบเคมี (Tribochemical reaction)

บางครั้งถูกเรียกว่าการสึกหรอแบบไป ๆ กลับ ๆ หรือเฟรตติ้ง (Fretting wear) จากชื่อ Tribochemical reaction มีความหมายเบื้องต้น คือ การที่ชิ้นงานต้องมีการขัดสี (Tribo) และเกิดผลพวงจากปฏิกิริยาเคมี (Reaction) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “ปฏิกิริยาออกซิเดชัน” สามารถอธิบายโดยง่าย ๆ จากการเกิดโทรโบเคมีคอลรีแอคชันที่ข้อต่อโซ่ จะมีผลทำให้บริเวณข้อต่อโซ่ดังกล่าวมีการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive) เมื่อมีการใช้งาน จะทำให้บริเวณข้อต่อโซ่มีการขัดสีกัน (Tribo) ก่อให้เกิดเศษเหล็กตรงจุดนั้น ผนวกเข้ากับเกิดความร้อนจากการขัดสี ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalyst) โดยที่ผงเหล็กที่เกิดขึ้นก็เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีเช่นกัน เพราะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว (Surface area) ให้ออกซิเจนในอากาศ สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น เมื่อมีองค์ประกอบหลักคือ เศษเหล็ก ความร้อน ความชื้น (หรือไอน้ำในอากาศ) กับออกซิเจนก็จะทำให้ปฏิกิริยาเคมีที่เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นสนิมเหล็ก (Rusty wear powder) และสนิมเหล็กจะมีคุณสมบัติคล้าย ๆ กับฝุ่นละออง คือ มีความแข็งแต่เปราะและจะทำให้เกิดการขูดขีด (abrasive) ตรงบริเวณข้อต่อโซ่ตามมาจนทำให้ข้อต่อโซ่ลดขนาดลงและทนภาระไม่ได้ในที่สุดก็จะขาดชำรุดไป นอกจากข้อต่อโซ่แล้ว อาจเกิดกลไกการสึกหรอชนิดนี้ได้กับเพลลา เพืองแบบเลื่อนได้ (Spline) แหนบรถยนต์ และผิวนอกของแบริ่งที่สัมผัสกับตัวเรือน เป็นต้น



รูป 2-22 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบล้าตัว

2.5 สารหล่อลื่น [6]

องค์ประกอบซึ่งเป็นหน้าที่หลักประการสำคัญของสารหล่อลื่นคือ ลดแรงเสียดทาน (Reduces Friction) ซึ่งมีผลต่อเนื่องคือ เป็นการลดการสึกหรอ (Reduces Wear) ประหยัดพลังงาน (Saves Power) ลดความร้อน (Reduces Heat) และเป็นการช่วยให้เกิดฟิล์มน้ำมันที่รองรับภาระที่ใช้งาน (Load-Carrying Lubricant Film)

หน้าที่ที่สำคัญของสารหล่อลื่นยังรวมไปถึง ก.) ทำหน้าที่เสมือนสารหล่อเย็นที่นำพาความร้อนออกไป (Carries Away Heat) จากชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ ข.) ทำหน้าที่เสมือนซีล (Sealing) ป้องกันสิ่งสกปรกเข้าไปสู่ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ เช่น ในกรณีของจาร์บี ค.) ป้องกันการกัดกร่อนและสนิม (Preventing Corrosion and Rust) ของผิวชิ้นงานที่เป็นเหล็ก ง.) ในบางกรณีก็จะทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังเช่นน้ำมันไฮดรอลิกและเนื่องจากว่าสารหล่อลื่นที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น และสำคัญ สิ่งที่สำคัญสูงสุดนั้นคือว่าสารหล่อลื่นต้องถูกออกแบบให้ใช้งานในช่วงการทำงานของเครื่องจักรโดยที่มีการเสียดหรือสึกหรอ และการสูญเสียคุณสมบัติของสารหล่อลื่นให้น้อยที่สุด

2.5.1 คุณสมบัติที่สำคัญๆ ของสารหล่อลื่น

คุณสมบัติที่สำคัญของสารหล่อลื่นประกอบด้วย ค่าความหนืด จุดไหลเท การต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน แต่คุณสมบัติที่จะนำมากล่าวถึงในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย คุณสมบัติทางความหนืด และ คุณสมบัติในการต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน

2.5.1.1 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดถูกให้ความหมายว่า “เป็นการต้านทานต่อการไหล” ซึ่งเป็นคุณสมบัติหลักที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่น ยิ่งน้ำมันหล่อลื่นมีความสามารถในการต้านทานการไหลมากเท่าใดก็จะมีค่าความหนืดมากเท่านั้น สามารถกล่าวได้ว่าค่าความหนืดเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการไหล (Flowability) ซึ่งโดยเฉพาะน้ำมันหล่อลื่นปิโตรเลียม นั้น ค่าความหนืดจะแปรเปลี่ยนไปตามค่าอุณหภูมิ ยิ่งค่าอุณหภูมิสูงค่าความหนืดจะยิ่งน้อยลง และค่าความสามารถในการไหลจะยิ่งดีขึ้น วิธีการที่ใช้ในการวัดค่าความหนืดในห้องทดลองนั้นก็จะใช้วิธีการตามมาตรฐานขององค์การระหว่างประเทศที่เกิดขึ้นโดยความร่วมมือของ ASTM (American Society for Testing and Materials) และ STLE (Society of Tribologists and Lubrication Engineers) จนปัจจุบันใช้กันโดยทั่วไปในหน่วยของ SI ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวัดค่าความหนืดในหน่วยเซนติสโตค (cSt.) ที่อุณหภูมิ 40°C



รูปที่ 2-23 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกับการใช้งาน [6]

น้ำมันหล่อลื่นที่หนืดมาก ๆ จะถูกใช้กับชิ้นส่วนเครื่องจักรที่เคลื่อนที่ช้า ๆ ภายใต้ภาระสูง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นจะทนทานต่อการถูกบีบดันออกไปจากผิวสัมผัส ส่วนน้ำมันที่มีความหนืดน้อย ๆ จะถูกนำมาใช้กับชิ้นงานที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ๆ ที่ค่าภาระต่ำ (รูปที่ 2-23)

2.5.1.2 การต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation resistance)

น้ำมันหล่อลื่นเป็นส่วนผสมที่ซับซ้อนระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนกับคาร์บอน (ไฮโดรคาร์บอน) เรียกว่าส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอน ส่วนใหญ่แล้วแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ แบบพาราฟินิก แนพทาสิก และอะโรมาติก ซึ่งแต่ละแบบจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน นักเคมีมักเรียกน้ำมันปิโตรเลียมฐานแร่ซึ่งส่วนใหญ่เป็น 2 ส่วนหลัก คือ พาราฟินิก และแนพทาสิก ว่า “สารหล่อลื่นอิ่มตัว” (Saturated) และสำหรับ อะโรมาติกว่าเป็น “สารหล่อลื่นไม่อิ่มตัว” (Unsaturated)

สารไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในชั้นหรือระดับเดียวกันจะมีโครงสร้างทางเคมีเหมือนกัน แต่จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปเป็นอย่างมาก ในแต่ละกลุ่มอาจจะมีสภาวะเป็นของแข็ง, ของเหลวและก๊าซได้ สภาวะที่เป็นของเหลว ซึ่งเป็นส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์มากที่สุดและมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไปมากในสภาวะต่างๆ อาจจะมีผลต่อสมรรถนะในการหล่อลื่น โดยที่ไม่ต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบน้ำมันหล่อลื่นที่จะถูกใช้งานในอนาคต ความร้อน และออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นองค์ประกอบที่ไม่ดีต่อน้ำมันหล่อลื่น กระบวนการดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และสารประกอบที่เกิดขึ้นก็เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ออกซิเดชันจะเกิดขึ้นช้าๆ อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น อย่างไรก็ตาม การเกิดการปนกันจนเกิดฟอง การฉีกฟุ้ง และการที่เกิดมีค่าอุณหภูมิสูงๆ โดยเฉพาะจุดที่มีความร้อนสูงเพียงจุดเล็ก ๆ จะมีผลทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันยิ่งเกิดเร็วขึ้น ทำให้เกิดสารประกอบที่เป็นกรดและทำให้เกิดตะกอนและคราบเหนียว

โดยความเป็นจริงแล้วทุก ๆ 10°C (18°F) ที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่นที่เกินกว่า 70°C อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า การที่จะลดปฏิกิริยาออกซิเดชันลงนั้น ต้องพยายามควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 60 ถึง 70°C (140 ถึง 150°F) ดังนั้นจึงเป็นข้อแนะนำให้ใช้น้ำมันหล่อลื่นที่มีความสามารถในการต่อต้านออกซิเดชันกับเครื่องยนต์เทอร์โบและระบบการไหลเวียนน้ำมันหล่อลื่นขนาดใหญ่ๆ ทั้งนี้เพราะว่าน้ำมันหล่อลื่นจะสามารถทนได้กับระดับอุณหภูมิสูงๆ ภายในช่วงเวลายาวนานกว่าการใช้ น้ำมันแบบธรรมดา น้ำมันหล่อลื่นดังกล่าวมักมีราคาแพง ทั้งนี้เนื่องจากว่าต้องถูกกลั่นด้วยกรรมวิธีพิเศษและมีการเติมด้วยสารปรุงแต่งที่รู้จักกันในชื่อ Oxidation Inhibitor เพื่อเพิ่มความสามารถในการต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน น้ำมันหล่อลื่นที่มีความสามารถในการต่อต้านออกซิเดชันต่ำนั้น ควรหลีกเลี่ยงใช้กับการหล่อลื่น

ในช่วงสั้นๆ เช่น กรณีการหล่อลื่นแบบใช้แล้วทิ้งไป หรือเมื่อมีการเติมน้ำมันหล่อลื่นลงไปบ่อยๆ ปกติแล้ว Additive Packages นี้มักรวมอยู่ในน้ำมันที่มี R & O Inhibitor อยู่แล้ว

2.6 การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

สารหล่อลื่นที่ใช้ในเครื่องยนต์หรือในที่นี่จะเรียกว่า น้ำมันหล่อลื่น จากการวิเคราะห์ น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้วและน้ำมันหล่อลื่นที่อยู่ระหว่างการใช้งาน จะทำให้ทราบว่า น้ำมันหล่อลื่นยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้หรือไม่ และจะทำให้ทราบถึงช่วงเวลาในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ ผลการวิจัยจะบ่งถึงสภาวะที่น่าจะทำให้เกิดอันตรายแก่เครื่องยนต์ รวมทั้งระยะเวลาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนถ่าย และทำให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาของความเสียหายที่เกิดขึ้นและทำให้แก้ปัญหาและป้องกันได้อย่างถูกต้อง

2.6.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเครื่องยนต์ [7]

แบ่งตามขั้นตอนได้ดังนี้

1. **ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์** การสุ่มตัวอย่าง จะต้องกระทำขณะเครื่องยนต์ทำงานและมีอุณหภูมิถึงระดับอุณหภูมิการใช้งานของเครื่องยนต์ เพื่อให้ น้ำมันหล่อลื่นมีการชะโลมเข้ากับส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องยนต์และไหลเวียนไปทั่วระบบหล่อลื่น ส่วนขวดพลาสติกที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นควรจะใช้ขวดชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันหล่อลื่น แห้งและสะอาด ฝาปิดขวดจะต้องทำด้วยวัสดุที่ไม่หลุดร่อน (Non shedding material) การเก็บน้ำมันหล่อลื่นลงในขวดพลาสติกจะต้องไม่เก็บจนเต็มขวด เนื่องจากจะต้องมีช่องว่างให้น้ำมันหล่อลื่นไหลผสมตัวของน้ำมันหล่อลื่นเองได้

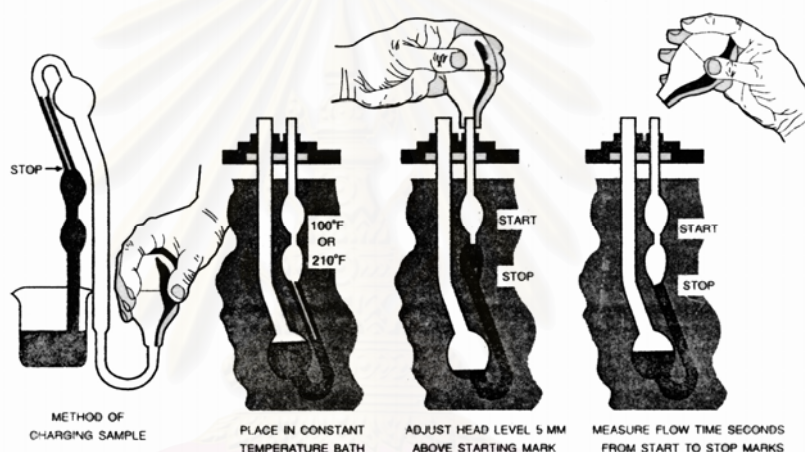
2. **วิธีการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้น** เช่น สี กลิ่น ความหนืดและปริมาณน้ำที่ปนในน้ำมันหล่อลื่น ด้วยวิธีการทดสอบเบื้องต้นในภาคสนาม

3. ขั้นตอนในการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่า

- ก. หาค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น
- ข. หาตัวเลขรวมของความเป็นด่าง (TBN)
- ค. หาค่าปริมาณธาตุกลุ่มที่มาจากกำมะถันและจากสารปรุงแต่งที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่น โดยวิธีสเปกโตรเมตรี
- ง. หากการเกิดออกซิเดชัน และสารปนเปื้อน โดยวิธี FTIR
- จ. หาลักษณะรูปร่างและขนาดของเศษเหล็กโดยเทคนิคเฟอร์โรกราฟี

2.6.2 การทดสอบหาค่าความหนืด

ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น คือการวัดความต้านทานในการไหลของน้ำมันหล่อลื่นนั้นๆ สำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์จะมีข้อกำหนดจำเพาะมาตรฐานระหว่างประเทศอยู่หลายมาตรฐาน ซึ่งอาจจะต้องทำการวัดค่าความหนืดคิเนเมติกเพิ่มเติมอีกหลายช่วงอุณหภูมิ เช่นที่ 20 °C , -10 °C และ 100 °C (เช่น กรณีของการกำหนดเกรดน้ำมันของ SAE : Society of Automotive Engineers) แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วสำหรับเครื่องยนต์และเครื่องจักรกลทั่วไปนั้นก็จะทำเฉพาะที่ 40° C และ 100°C. เท่านั้น ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่เปลี่ยนไปนั้นมีผลมาจากหลายองค์ประกอบ ซึ่งอาจจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ตัวอย่างเครื่องมือวัดความหนืดน้ำมันหล่อลื่นแสดงดังรูปที่ 2-24



รูปที่ 2-24 แสดงเครื่องมือวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น (ASTM D-445) [6]

กรณีที่ความหนืดเพิ่มขึ้น

สำหรับในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์นั้นเมื่อมีคราบสิ่งสกปรกหรือสารประกอบที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้น หากมีการปะปนเข้ามาด้วยสิ่งสกปรกแขวนลอยที่เป็นของแข็งในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ก็จะทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มสูงขึ้น เช่น ของแข็งแขวนลอยที่มีปริมาณเกินกว่า 5% โดยน้ำหนัก ในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซลจะทำให้น้ำมันมีความหนืดสูงมากและทำให้เกิดปัญหาในการสตาร์ท การอุดตันในไส้กรองและส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์จนทำให้เครื่องยนต์ชำรุดได้

กรณีที่มีความหนืดลดลง

ในกรณีของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์หากมีการเจือจางด้วยน้ำมันเชื้อเพลิง จะทำให้มีการลดค่าความหนืดของน้ำมันลงเป็นอย่างมาก หรือการเกิดการตัดเชือนตัวของสายใยโพลีเมอร์ในน้ำมันหล่อลื่นชนิดเกรดรวมในกรณีการใช้งานของเครื่องยนต์หนัก ก็จะมีผลในการที่ทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลงได้เช่นเดียวกัน

2.6.3 ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่าง (TBN)

ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่าง (TBN = Total Base Number) (ASTM D664 D2896, IP177, IP276) ค่า TBN เป็นการวัดค่าความเป็นด่างที่ยังคงมีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเช่น น้ำมันหล่อลื่นในอ่างน้ำมันเครื่อง ซึ่งต้องถูกตรวจสอบและติดตามอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรือเดินทะเลและเครื่องยนต์ เมื่อมีความสงสัยว่าคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซธรรมชาติมีคุณภาพไม่ดี หากใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทที่มีค่าปริมาณกำมะถันสูงจะทำให้ค่าความเป็นด่างของน้ำมันถูกทำลายลงไปและจะเป็นอันตรายต่อเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันเครื่องยนต์ไม่มีความสามารถในการต่อต้านกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสันดาปภายใน ในกรณีของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ค่ารวมความเป็นด่าง ระหว่างการใช้งานนั้น ค่าของตัวเลขรวมความเป็นด่างจะมีการลดระดับลงแสดงให้เห็นว่าน้ำมันมีความเป็นกรดสูงขึ้นซึ่งจะทำให้สามารถคาดคะเนได้ว่าควรจะมีการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องยนต์เมื่อใด

2.6.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปคโตรมิเตอร์

ในการวิเคราะห์ด้วยสเปคโตรมิเตอร์จะสามารถหาธาตุในน้ำมันหล่อลื่นได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความแม่นยำอยู่ที่ระดับ $\pm 10\%$ ของค่าที่ระบุเอาไว้ในการทดสอบ ซึ่งจะเป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับการทดสอบโดยทั่วไป

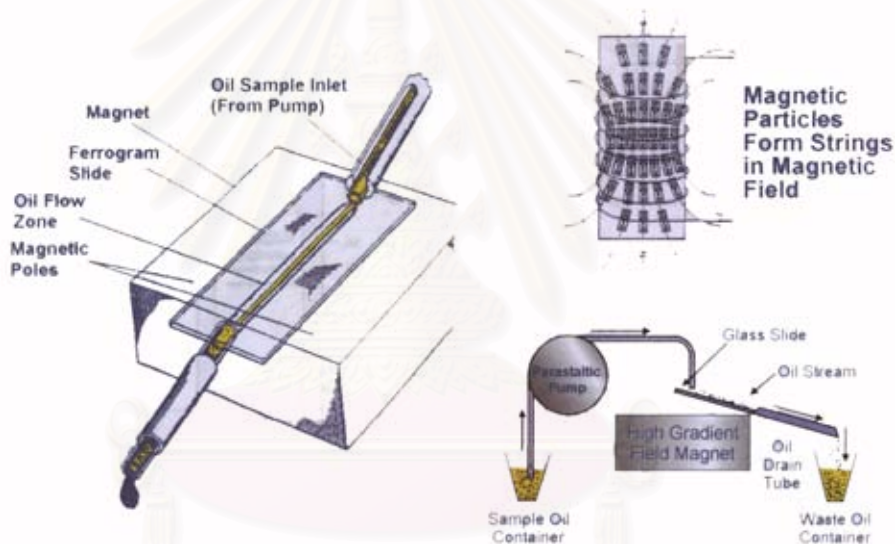
สเปคโตรมิเตอร์จะถูกนำไปใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาค่าโลหะจากสารปรุงแต่ง (Additives) ได้แก่ แบริียม, แคลเซียม, สังกะสี, ฟอสฟอรัสและโบรอน และโลหะหรือธาตุที่มาจาก การสึกหรอ (Wear Metals) จะสามารถวิเคราะห์หาค่าธาตุ ซึ่งธาตุเหล่านั้นได้แก่ เหล็ก, อลูมิเนียม และทองแดง ซึ่งการสรุปความหมายจากปริมาณที่วิเคราะห์ได้มีดังนี้

หากพบปริมาณเหล็กในระดับสูงๆ ย่อมเป็นสิ่งที่แสดงว่ามีระดับการสึกหรอของแหวน ลูกสูบและปลอกแหวนและหากมีระดับของค่าเหล็กมีค่าสูงเกินกว่า 600 ppm ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่อชิ้นส่วนในระดับการทำงานปกติ หากพบปริมาณอลูมิเนียมในระดับสูงๆ ย่อมเป็นสิ่งที่แสดงว่ามีระดับการสึกหรอของลูกสูบและหากมีค่าของอลูมิเนียมเกินกว่า 75 ppm จะทำให้เกิดอันตรายต่อชิ้นส่วนในระดับการทำงานปกติ หากพบปริมาณทองแดงในระดับสูงๆ ย่อมเป็นสิ่งที่

แสดงว่ามีระดับการสึกหรอของแบริ่งที่มีส่วนผสมของทองแดงและตะกั่ว และหากมีค่าของทองแดงและตะกั่วที่สูงกว่า 75 ppm ถือได้ว่าการสึกหรออยู่ในระดับค่อนข้างที่จะเป็นอันตรายต่อชิ้นส่วนส่วนปริมาณของตะกั่วในน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ดีเซลควรจะมีค่าต่ำกว่า 25 ppm

2.6.5 การวิเคราะห์ด้วยวิธีเฟอร์โรกราฟี (Ferrography)

เทคนิคเฟอร์โรกราฟี เป็นหลักในการวิเคราะห์เศษโลหะ (โดยเฉพาะที่เป็นเหล็กหรือวัสดุที่แม่เหล็กดูดได้) ที่ปะปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น วิธีการนี้สามารถใช้เพื่อระบุ แยกแยะ และวิเคราะห์เศษโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่นไปแล้วโดยหลักการของการใช้อำนาจสนามแม่เหล็กดูดเศษเหล็กจากลำการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ไหลผ่านสไลด์ ดังแสดงในรูปที่ 2-25

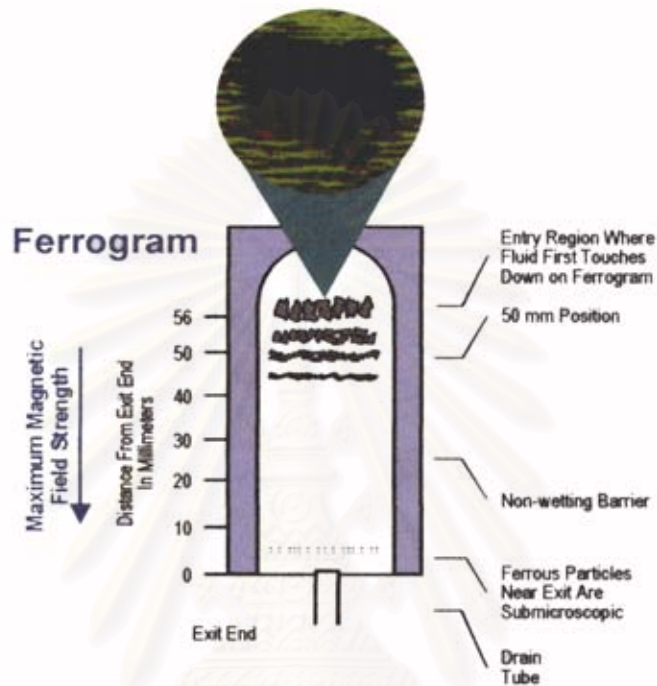


รูปที่ 2-25 แสดงกระบวนการเฟอร์โรกราฟี [8]

โดยเศษเหล็กจะถูกแยกออกด้วยสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะเรียงตัวตามขนาดใหญ่ไปหาเล็ก และมีแนวโน้มการวางตัวตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก ซึ่งเศษโลหะที่มีขนาดใหญ่จะเกาะติดบนแผ่นสไลด์ก่อนและไล่เรียงขนาดจนถึงขนาดเล็กที่สุดตรงปลายของแผ่นสไลด์ดังแสดงในรูปที่ 2-26

การวิเคราะห์ขั้นต่อไปคือการนำแผ่นสไลด์ มาส่องโดยกล้องจุลทรรศน์เพื่อการศึกษาถึงขนาดและรูปร่างของเศษโลหะ ทำให้ทราบถึงระดับความรุนแรงของการสึกหรอจากขนาดของอนุภาคและกลไกการสึกหรอ เช่น การสึกหรอแบบยึดติด แบบขูดขีด แบบล้าตัว หรือแบบการกัดกร่อน เป็นต้น

เฟอร์โรกราฟฟีเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่ย่างและรวดเร็วในการแยกเอาเศษอนุภาคการสึกหรอออกจากน้ำมันหล่อลื่น อนุภาคการสึกหรอจากกลไกการสึกหรอชนิดต่างๆ จะมีคุณลักษณะหรือรูปร่างเฉพาะตัวจึงสามารถที่จะระบุได้ว่าเป็นกลไกการสึกหรอประเภทใด เช่น



รูปที่ 2-26 แสดงแผ่นสไลด์ที่ใช้ในกระบวนการเฟอร์โรแกรม [8]

- ก. กรณีที่อนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการขัดถูหรือการยึดติด (Rubbing and Adhesive wear) จะมีลักษณะรูปร่างเป็นแผ่นๆ ซึ่งจะบอกให้ทราบว่าเป็นสภาวะปกติของเครื่องยนต์
- ข. กรณีที่อนุภาคการสึกหรอจากการมีกลไกการขูดขีดแบบเป็นร่องหรือการขูดตัด (Abrasive or cutting wear) จะทำให้เกิดอนุภาคการสึกหรอที่มีรูปร่างเป็นขีดหรือเส้นเหมือนเส้นด้าย ซึ่งจะบอกให้ทราบว่าเป็นสภาวะของการสึกหรอของเครื่องยนต์
- ค. กรณีที่อนุภาคการสึกหรอจากลักษณะของเศษโลหะที่มีรูปร่างเป็นเส้นด้ายเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ก็แสดงว่าเครื่องยนต์จะมีโอกาสชำรุดใกล้เข้ามาแล้ว

2.6.5.1 การวิเคราะห์อนุภาคการสึกหรอ (Wear Particle Analysis)

การตรวจสอบอนุภาคจากการสึกหรอแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

ก. ตรวจสอบขนาดของอนุภาค

อนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นเนื่องจากกลไกการสึกหรอชนิดต่างๆกัน จะมีขนาดที่แตกต่างกันไป ขนาดที่แตกต่างกันนี้พอที่จะนำมาเป็นข้อวินิจฉัยในการประเมินสภาพของเครื่องยนต์ได้

ข. ตรวจสอบรูปร่างของอนุภาค

รูปร่างของอนุภาคการสึกหรอจะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการบ่งชี้ให้เห็นถึงกลไกการสึกหรอ ซึ่งกลไกการสึกหรอที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดอนุภาคการสึกหรอที่แตกต่างกันไป

ค. ตรวจสอบการกระจายทางสถิติของขนาดของอนุภาคการสึกหรอ

การศึกษาถึงลักษณะของ Particle Size Distribution ซึ่งถือได้ว่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาอนุภาคการสึกหรอ และการกระจายตัวของขนาดของอนุภาคการสึกหรอ ก็ถือได้ว่าเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

ง. ตรวจสอบองค์ประกอบของอนุภาค

การตรวจสอบองค์ประกอบของอนุภาคการสึกหรอนั้นนับได้ว่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่ทำให้ได้ทราบว่าอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนใดของเครื่องยนต์สึกหรอบ้าง

2.6.5.2 การศึกษาอนุภาคการสึกหรอเชิงจุลภาค (Wear Particle Microscopic Examination)

ก. การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) ใช้ในการตรวจตัวอย่างของอนุภาคการสึกหรอที่เก็บตัวอย่างสารหล่อลื่นที่สู่มมาจากเครื่องยนต์

ข. การศึกษาด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM) เหตุผลที่ใช้กล้องชนิดนี้มาแทนกล้องจุลทรรศน์ชนิดธรรมดา เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์โดยทั่วไปจะมีจุดด้อยตรงที่ไม่สามารถให้กำลังขยายที่สูงมากๆได้ และยังไม่สามารถที่จะขยายภาพเพื่อศึกษา ณ จุดใดๆที่ต้องการได้อย่างชัดเจนเท่าที่ต้องการ

ค. การศึกษาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis) ซึ่งนับได้ว่าการศึกษาชนิดนี้เป็นการรวมเอาเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีด้านการใช้กล้องจุลทรรศน์เข้าด้วยกัน เช่นจะตรวจตัวอย่างอนุภาคการสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์และจะถ่ายทอดสัญญาณภาพไปยังคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมในการวิเคราะห์ผล

2.6.5.3 ชนิดของอนุภาคการสึกหรอ

ชนิดอนุภาคการสึกหรอแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิดดังนี้

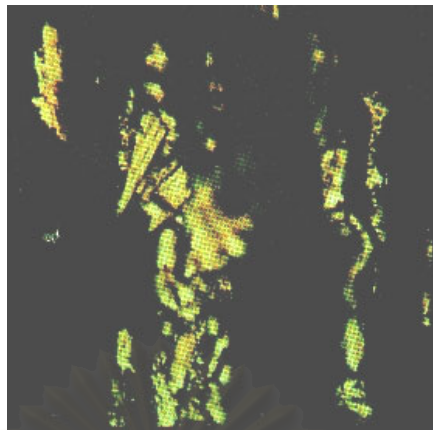
1. การเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ (Rubbing Wear Particle) อนุภาคจะมีลักษณะอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความหนาที่มีค่าสูง ซึ่งถือได้ว่าเป็นการสึกหรอที่น้อยมาก อนุภาคโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่า 15 ไมครอน หากระบบหล่อลื่นเกิดความสกปรกจะทำให้เกิดการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะโดยจะทำให้อัตราการเกิดเพิ่มอย่างทันทีทันใด อาจอยู่ในรูปของขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้นในบางครั้งอนุภาคที่โตกว่า 100 ไมครอนซึ่งถือได้ว่าเป็นอนุภาคการสึกหรอชนิดที่เกิดขึ้นสำหรับเครื่องจักรที่มีการหล่อลื่นด้วย น้ำมันหล่อลื่นดังรูปที่ 2-27



รูปที่ 2-27 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ [8]

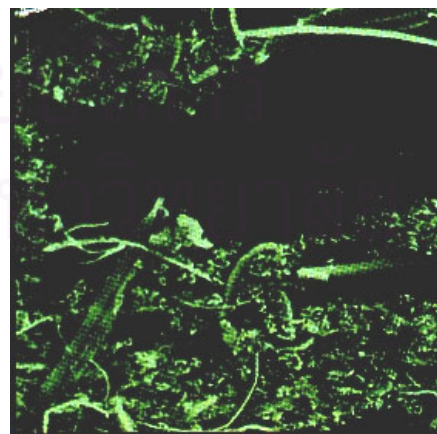
2. การสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีรุนแรงในเครื่องจักร (Severe Sliding Wear Particle)

ดังรูปที่ 2-28 ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใช้ภาระที่สูงเกินไป การใช้ความเร็วที่สูงเกินไป การขาดสารหล่อลื่น ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการยึดติดของวัสดุ อนุภาคการสึกหรอแบบนี้จะมีขนาดโตกว่า 100 ไมครอน หากเครื่องจักรทำงานภายใต้สภาวะที่รับภาระมากเกินไป ความเร็วในการเสียดสีเพิ่มขึ้น และหากระบบการหล่อลื่นที่ไม่ดี อนุภาคจะมีขนาดโตกว่าอนุภาคของการเสียดสีของโลหะกับโลหะ ซึ่งมีขนาดโตกว่า 20 ไมครอน อนุภาคที่เกิดขึ้นจะเป็นสีน้ำเงิน สีน้ำตาล สาเหตุที่เกิดเป็นสีน้ำเงินและสีน้ำตาลเนื่องมาจากความร้อนที่มากเกินไปจึงทำให้สีของอนุภาคจะเริ่มเปลี่ยนจากสีฟางข้าวไปเป็นสีน้ำตาลและกลายเป็นสีน้ำเงิน



รูปที่ 2-28 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสมดุลงในเครื่องจักร
(Severe Sliding Wear Particle) [8]

3. อนุภาคการสึกหรอจากการขูดขีดของเศษโลหะ (Cutting Wear Particles) เป็นผลสืบเนื่องมาจากที่มีการสึกหรอแบบ Abrasive ซึ่งทำให้เกิดอนุภาคการสึกหรอที่มีลักษณะเป็นเส้นคล้ายเศษกลิ้ง เกิดจากผิวดูถูกการทะลุผ่าน การถูด้วยวัสดุคล้ายคันไถหรืออาจถูกตัดด้วยสิ่งหนึ่งทำให้เกิดค่าความแข็งที่แตกต่างกัน อนุภาคจะมีความยาวเฉลี่ยตั้งแต่ 5 ไมครอนจนถึงความยาวมากกว่า 100 ไมครอน และมีความกว้างเฉลี่ยตั้งแต่ 2 ไมครอนจนถึง 15 ไมครอน ดังรูปที่ 2-21 อนุภาคจะมีสีที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน สีที่เกิดได้แก่ น้ำเงิน แดงและสีฟ้า ซึ่งอนุภาคชนิดนี้จะเป็นสิ่งที่จะบ่งบอกถึงอนุภาคที่ไม่ปกติ และสามารถที่จะบ่งบอกถึงสภาพการชำรุดของเครื่องจักรว่าจะถึงเวลาที่ชำรุดแล้ว



รูปที่ 2-29 แสดงอนุภาคการสึกหรอแบบ Cutting Wear [8]

4. อนุภาคการสึกหรอจากการล้าที่เกิดกับเฟืองและพื้นที่สัมผัสของตลับลูกปืน (Ferro Fatigue Particle)

ก. อนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง (Gear Fatigue Particle) ดังรูปที่ 2-30 แบ่งออกเป็นการกลิ้งและการถูไปบนผิวของฟันเฟือง ซึ่งในตอนแรกอนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นผิวเรียบ รูปร่างของอนุภาคจะมีลักษณะที่ผิดปกติโดยมีขอบที่คม และมีอัตราส่วนของความยาวต่อความหนาประมาณ 10:1 หากความเค้น (Stress) บนผิวสัมผัสเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของความยาวต่อความหนาจะมีค่าลดลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณการเกิดก้อนอนุภาคลดลงด้วย ซึ่งอนุภาคจะมีขนาดเล็กมากและเป็นการยากที่จะทำการหาจุดโฟกัส ในการดูอนุภาคที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์



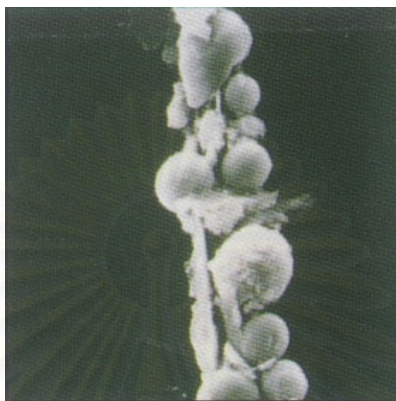
รูปที่ 2-30 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง (Gear Fatigue Particle) [8]

ข. อนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Rolling Fatigue Wear Particle) ดังรูปที่ 2-31 การล้าตัวของวัสดุจะมีการหลุดร่อนออกมาเป็นอนุภาคการสึกหรอเช่นการเกิดการล้าตัวของเม็ดลูกปืนหรือรางในของเสื่อตลับลูกปืน ซึ่งโดยปกติจะมีขนาดโตกว่า 75 ไมครอน และจะมีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างไป จากอนุภาคการสึกหรอที่ได้กล่าวมาแล้ว

อนุภาคที่เกิดขึ้นในลักษณะที่แตกต่างกันเช่นอนุภาคทรงกลม อนุภาคที่เป็นชิ้นเล็กๆซึ่งอนุภาคที่เป็นทรงกลมจะเกิดมาจากความล้าที่เกิดขึ้นภายในตลับลูกปืน แล้วจึงเกิดการแตกออกมาเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งมีขนาดของอนุภาคประมาณ 1 ถึง 10 ไมครอน และจะทำให้ปริมาณของอนุภาคมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน ซึ่งจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกให้รู้ว่า จะเกิดการเสียหายขึ้นในไม่ช้า อนุภาคที่เป็นทรงกลมเกิดขึ้นได้จากการกัดกร่อนเป็นโพรง (Cavitations Erosion) กระบวนการเชื่อม กระบวนการขบกันของเฟือง ซึ่งขนาดของอนุภาคที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการดังกล่าวแล้วจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งจะอยู่ในช่วง 10 ถึง 100 ไมครอน

อนุภาคการล้าที่มีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ จะหลุดแยกตัวออกมาจากผิวที่เป็นหลุมนั้น จะมีขนาดค่อนข้างโตถึงประมาณ 100 ไมครอน

อนุภาคที่เป็นแผ่นบางๆจะเกิดมาจากช่องว่างระหว่างผิวในของแบร็ง จะมีขนาดของอนุภาคประมาณไม่เกิน 70 ไมครอน และมีอัตราส่วนของความยาวต่อความหนาประมาณ 40:1



รูปที่ 2-31 แสดงอนุภาคสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Rolling Fatigue Wear Particle)[8]

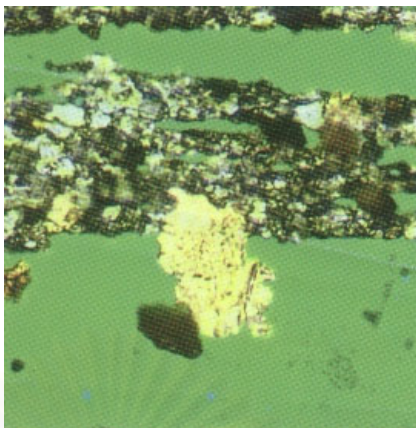
5. อนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของระบบเกียร์ (Combined Rolling and Sliding Wear Particles)

การที่อนุภาคการสึกหรอแบบนี้มีความแตกต่างจากอนุภาคการสึกหรอแบบอื่นๆ เนื่องจากเกียร์มีการเคลื่อนที่ทั้งแบบไถล และแบบหมุน (Both Sliding and Rolling Mode)

6. อนุภาคของโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

ลักษณะการเกิดอนุภาคการสึกหรอจากโลหะที่ไม่ใช่เหล็กนั้น บ่อยครั้งที่มีลักษณะพิเศษคล้ายกับการเกิดอนุภาคของโลหะที่เป็นเหล็ก เช่นการสังเกตเห็นลักษณะเด่นของ Rubbing Wear, Cutting Wear และการเสียดสีกันภายใต้ความเค้นสูง (High Stress Sliding) แต่มีสิ่งหนึ่งที่สามารถทำการแยกแยะให้เห็นได้อย่างชัดเจนสำหรับอนุภาคของโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก คือสีของอนุภาค

ก. อนุภาคของทองแดง แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคของทองแดงจะเป็นสีชมพู ซึ่งขนาดของอนุภาคจะอยู่ในช่วง 2 ถึง 100 ไมครอน และรูปร่างของอนุภาคการสึกหรอจะขึ้นอยู่กับวิธีการเกิดอนุภาค ดังรูปที่ 2-32 ในบางครั้งอนุภาคของทองแดงจะพบว่าเชื่อมติดกับวัสดุทั้งสองที่สัมผัสกัน



รูปที่ 2-32 แสดงอนุภาคการสึกหรอของทองแดง [8]

ข. อนุภาคของทองเหลือง หรืออาจเรียกว่าทองสัมฤทธิ์ (Bronze) แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคทองเหลืองจะเป็นสีเหลืองทอง ส่วนอนุภาคของทองสัมฤทธิ์ สีจะมีดกว่าเป็นสีเหลือง – ชมพู

ค. อนุภาคโครเมียม แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคจะเป็นสีเงิน โดยปกติแล้วอนุภาคที่เกิดขึ้นจะมีผิวเรียบ และจะมีขนาดของอนุภาคที่ต่ำกว่า 50 ไมครอน

ง. อนุภาคของนิกเกิล จะมีลักษณะคล้ายกับอนุภาคของโครเมียม แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคจะมีสีเงิน แต่เนื่องจากอนุภาคของนิกเกิลมีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก ฉะนั้นเราจึงพบอนุภาคของนิกเกิลในวงแหวนของแม่เหล็ก

จ. อนุภาคของอลูมิเนียม แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาค จะมีสีเทาเงิน อนุภาคจะมีผิวที่หยาบ และขนาดของอนุภาคไม่อาจจะระบุได้ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีขนาดใหญ่ประมาณ 25 ถึง 500 ไมครอน

7. อนุภาคการสึกหรอจากวัสดุอื่นๆ

อนุภาคการสึกหรอจากวัสดุอื่นๆ

เช่นออกไซด์ของโลหะผลึกที่ไม่ใช่โลหะ และโลหะอสัณฐาน ซึ่งคุณสมบัติและลักษณะอนุภาคได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 แสดงคุณสมบัติของอนุภาคการสีหรือจากวัสดุชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่โลหะ และ
อโลหะมาตรฐาน [7]

ชนิดของอนุภาค	ผลจากแสงสะท้อน ของอนุภาค	การกระจายแสงบน ฉากรองรับสีเทา	การกระจายแสงบน ฉากรองรับสีดำ
ออกไซด์ (เหล็ก)	แสงสะท้อนเป็นสี น้ำตาลบนฉากรองรับ สีขาว	เกิดสีส้ม - น้ำตาลบน ฉากรองรับสีเทา	แสงสว่างสีส้ม-น้ำตาล บนฉากรองรับสีดำ
ผลึกของโลหะ (ซิลิกา [silica])	แสงสะท้อนเป็นสีเทา บนฉากรองรับสีขาว	เกิดสีขาว/เงินบนฉาก รองรับสีเทา	เกิดสีขาว/เงินบนฉาก รองรับสีดำ
วัสดุโพลิเมอร์ (Polymer Material)	แสงสะท้อนเป็นสีครีม/ น้ำตาลบนฉากรองรับ สีขาว	เกิดสีอย่างขนสัตว์บน ฉากรองรับสีเทา	แสงสีขนสัตว์ บนฉากรองรับสีดำ

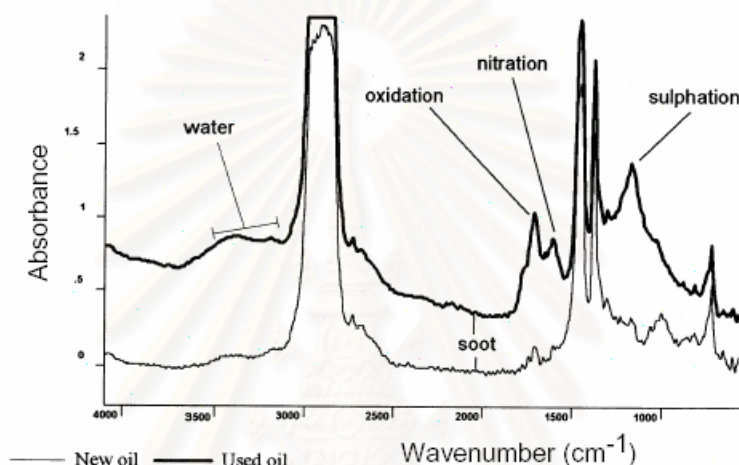
2.6.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) [9]

การวิเคราะห์ FTIR เป็นการวิเคราะห์ในระดับโมเลกุล เป็นวิธีการที่ใช้หาปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ของน้ำมันหล่อลื่นได้อย่างรวดเร็วเพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพน้ำมันหลัก สภาพสารเคมีเพิ่มคุณภาพ และสิ่งสกปรกปนเปื้อน โดยให้ค่าที่แม่นยำและเชื่อถือได้ หลักการในการวัดจะทำการผ่านรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.00008 เซนติเมตรถึง 0.04 เซนติเมตร ไปยังน้ำมันหล่อลื่นที่จะทำการทดสอบ ส่วนประกอบของน้ำมันที่เป็นสารประกอบต่างๆ ก็จะดูดซับปริมาณรังสีในช่วงความถี่จำเพาะที่ต่างกันไว้ เนื่องจากแต่ละพันธะในโมเลกุลจะดูดซับรังสีในช่วงความถี่ที่ต่างกัน ผลที่ได้จะแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับรังสี(Abs) กับส่วนกลับของความยาวคลื่น (Wave Number , cm^{-1}) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณและองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 2-33

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR

1. ค่าออกซิเดชัน

ในระบบหล่อลื่น สารอินทรีย์จะเกิดการแยกตัวที่สภาวะอุณหภูมิและความดันที่สูง ประกอบกับการมีออกซิเจนอยู่บริเวณรอบ ในกระบวนการ FTIR จะหาค่าออกซิเดชันจากพันธะคาร์บอนิล (Carbonyl) ซึ่งมีช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดระหว่าง 1,800 ถึง 1,670 เซนติเมตร⁻¹



รูปที่ 2-33 แสดงปริมาณการดูดซับรังสีอินฟราเรดในแต่ละช่วงความถี่ของน้ำมันหล่อลื่น [9]

2. ค่าไนเตรชัน

ลักษณะการเกิดไนเตรชัน จะเกิดที่สภาวะอุณหภูมิและความดันที่สูงเช่นเดียวกับการเกิดออกซิเดชัน ประกอบกับการมีไนโตรเจนและออกซิเจนอยู่บริเวณรอบ โดยทั่วไปการเกิดไนเตรชันจะอยู่ในรูปของ NO , NO_2 และ N_2O_4 ซึ่งมีช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดระหว่าง 1,650 ถึง 1,600 เซนติเมตร⁻¹ การเกิดไนเตรชันเป็นสาเหตุทำให้เกิดคราบยางเหนียวและ Lacquer สาเหตุของการเกิดไนเตรชันมาจาก การปรับอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่ออากาศที่ไม่ถูกต้อง การปรับจังหวะการจุดระเบิดที่ไม่เหมาะสม หรือมาจากสภาวะการทำงานที่ภาระสูง ซึ่งจะทำให้เกิดอุณหภูมิการทำงานและปริมาณ blow – by ที่สูงตามไปด้วย

3. ค่าซัลเฟชัน

เกิดจากกำมะถัน (Sulphur) ซึ่งพบได้ในน้ำมันเชื้อเพลิง และอาจพบได้ในสารเติมแต่งบางชนิดในน้ำมันหล่อลื่น การเกิดซัลเฟชัน จะอยู่ในรูปของ SO_3 และ SO_2 ซึ่งมีช่วงความถี่จำเพาะของ

การดูดซับรังสีอินฟราเรด อยู่ระหว่าง 1,180 ถึง 1,120 เซนติเมตร⁻¹ การเกิดซัลเฟชันจะทำให้เกิดคราบยางเหนียว กากตะกอน และทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมคุณภาพลง นอกจากนี้สารประกอบที่เกิดขึ้นยังสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งเกิดระหว่างการเผาไหม้ กลายเป็นกรดซัลฟูริก ซึ่งจะทำลายการรวมตัวของสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น

4. ปริมาณเขม่า

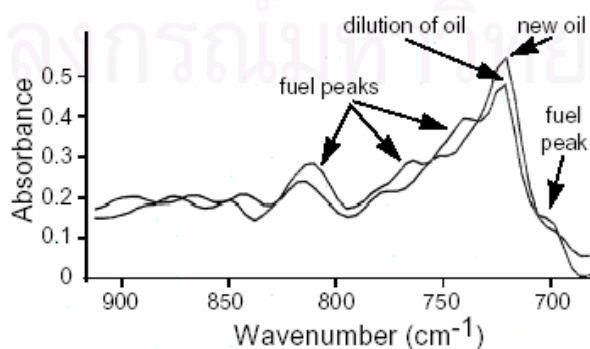
เขม่า เกิดจากอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศมีค่าสูง การเพิ่มปริมาณของเขม่าในน้ำมันหล่อลื่นแสดงให้เห็นถึงปัญหาจากการเผาไหม้ หรือช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องและไส้กรองที่นานเกินไป ปริมาณเขม่าที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดและทำให้เกิดการอุดตันที่ไส้กรองและอ่างน้ำมันหล่อลื่น

การวิเคราะห์ปริมาณเขม่าจะต่างจากวิธีที่ได้กล่าวมาข้างต้นซึ่งใช้เทคนิคการหาพื้นที่ใต้กราฟ เนื่องจากเขม่าจะไม่มีช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดที่แน่นอน ดังนั้นเพื่อให้สะดวกต่อการวัด จึงทำการวัดปริมาณการดูดซับที่ความถี่ 2,000 เซนติเมตร⁻¹

5. ปริมาณเชื้อเพลิง

ปริมาณเชื้อเพลิงที่พบในน้ำมันหล่อลื่นมีสาเหตุมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากเชื้อเพลิงทั่วไป จะประกอบด้วยโมเลกุลของของสารประกอบมากมาย ทั้งสารประกอบแอลิฟาติก เช่น ออกเทน และสารประกอบอโรมาติก เช่น เบนซีน และอีกมากรวมกันเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันเชื้อเพลิง

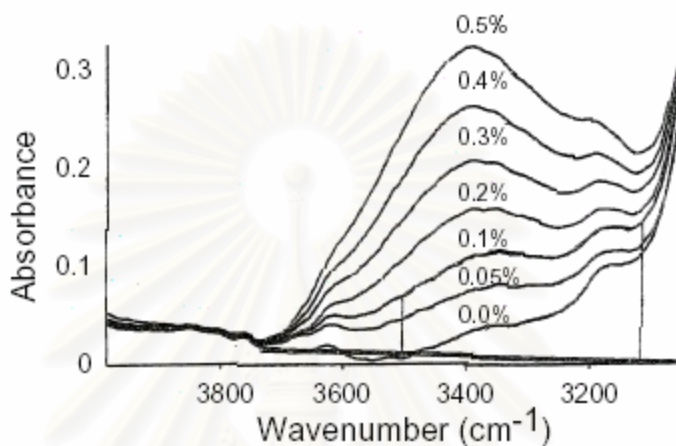
การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อเพลิงที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น ด้วยวิธี FTIR สามารถทำได้โดยหาช่วงความถี่ของการดูดซับในแต่ละส่วนประกอบของเชื้อเพลิง แล้วนำช่วงความถี่ที่ได้มาเปรียบเทียบกับในช่วงการดูดซับของน้ำมันหล่อลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2-34 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันเชื้อเพลิงมีหลายช่วงความถี่ตามสารประกอบมากมายที่พบในน้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 2-34 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับของน้ำมันใหม่กับน้ำมันที่มีเชื้อเพลิงปนเปื้อน [9]

6. ปริมาณน้ำ

ค่า Absorbance ที่พบในน้ำมันหล่อลื่นใช้ในการตรวจสอบการรั่วของน้ำจากระบบหล่อเย็น โดยน้ำจะดูดซับรังสีอินฟราเรดในปริมาณที่มาก ซึ่งทำให้ง่ายต่อการตรวจพบ ดังแสดงในรูปที่ 2-35 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ช่วงความถี่ที่น้ำที่ดูดซับรังสีอินฟราเรด เป็นช่วงที่มีปริมาณการดูดซับรังสีของน้ำมันหล่อลื่นน้อย



รูปที่ 2-35 แสดงช่วงความถี่จำเพาะที่น้ำสามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดได้ [9]

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR สามารถแสดงผลออกมาเป็น Absorbance Unit (Abs) ยกเว้นค่า ไกลคคอล, เซ็ลเฟลิ่ง และเขม่า ซึ่งแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อน

2.7 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล

การศึกษาเกี่ยวกับการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล ได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน สืบเนื่องมาจากปริมาณที่น้อยลงและราคาที่สูงขึ้นของน้ำมันดีเซล วิธีที่จะนำน้ำมันพืชมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นทำได้หลายรูปแบบ [10] โดยวิธีหลักที่นิยมใช้ซึ่งกล่าวโดย Yusuf Ali & Hanna [10] 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) ส่วนชนิดของพืชน้ำมันที่นำมาใช้ในการศึกษานั้น

จะแตกต่างกันไปตามลักษณะของพืชเศรษฐกิจที่เป็นพืชน้ำมันของแต่ละท้องถิ่น ภูมิภาค เช่น การใช้น้ำมันจากถั่วเหลืองในสหรัฐอเมริกา เช่นงานวิจัยของ Pryor et al. [11] ได้ทำการทดสอบสมรรถนะทั้งในช่วงระยะเวลาสั้น และระยะเวลายาวในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก จากการใช้น้ำมันถั่วเหลือง 100% การใช้น้ำมันจากเมล็ดเรปในประเทศทางแถบยุโรป เช่น งานวิจัยของ Norbert Hemmerlein et al. [12] จากศูนย์วิจัยและพัฒนาเพอร์เซ่ได้ทำการวิจัยถึงสมรรถนะมลภาวะ และการทดสอบความทนทาน กับเครื่องยนต์ดีเซล 6 เครื่องในแต่ละชนิดและขนาด โดยการใช้น้ำมันจากเมล็ดเรป 100% ในขณะที่ประเทศทางเขตร้อนรวมทั้งประเทศไทยนิยมนำน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าวมาใช้ในการศึกษา เป็นต้น นอกจากนี้ในบางที่ยังมีการนำน้ำมันจากสัตว์ เช่นน้ำมันจากปลา โดยนำไปผสมกับน้ำมันดีเซล 50% ในรัฐอลาสก้า ประเทศสหรัฐอเมริกา [13] น้ำมันที่เหลือจากการประกอบอาหาร เช่นในประเทศญี่ปุ่น โดย Yu et al. [14] ได้นำน้ำมันใช้แล้วจากโรงงานผลิตเส้นบะหมี่มาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่มีการนำน้ำมันมาผ่านกระบวนการเพิ่มเติม

การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อนคือใช้แทนน้ำมันดีเซลทั้งหมด (น้ำมันพืช 100%) แต่ปัญหาที่พบถูกรวบรวมโดย Sam Jones และ Charles L. [15] ประกอบด้วยการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดเขม่าและคราบทำให้หัวฉีดเกิดการอุดตัน แหวนลูกสูบติดเนื่องมาจากคราบและไข (Wax and Gum) หลังวาล์วและบ่าวาล์วมีปริมาณคาร์บอนตกค้างเป็นจำนวนมากทำให้เกิดปัญหาวาล์วรั่วทำให้กำลังอัดของเครื่องยนต์ลดลง และยังเกิดปัญหาคราบของน้ำมันพืชที่เกิดการออกซิเดชันซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายกับเครื่องยนต์ได้ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว วิธีการนำน้ำมันพืชมาใช้อาจเป็นการผสมน้ำมันพืชเป็นเพียงบางส่วนเข้ากับน้ำมันดีเซล น้ำมันพืชที่จะนำมาผสมนั้นสามารถใช้ได้จากหลายวิธีดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น วิธีที่ง่ายที่สุดและน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับพื้นที่ที่ต้องการนำน้ำมันพืชมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลเป็นเพียงบางส่วนโดยที่ไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีในการผลิตก็คือ การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งนำมาสู่ที่มาของการศึกษาวิจัยนี้

การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่เหมาะสม เช่นในงานวิจัยของ Mariuse Ziejewski และ Hans J.[16] ได้นำน้ำมัน high oleic sunflower 25% มาผสมกับน้ำมันดีเซล 75% และ น้ำมัน high oleic safflower 25% ผสมกับน้ำมันดีเซล 75% มาใช้กับเครื่องยนต์ Petter AC2 แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง โดยทดสอบความทนทานตามมาตรฐาน EMA เป็นระยะเวลา 200 ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนตกค้างภายหลังการทดสอบที่ 200 ชั่วโมง และวัดปริมาณมลภาวะระหว่างทดสอบความทนทานซึ่งไม่พบการเพิ่มขึ้นของค่ามลภาวะตลอดการทดสอบ และไม่พบความแตกต่างที่สำคัญของคราบคาร์บอนตกค้างในเครื่องยนต์ของทั้งสองเชื้อเพลิง เมื่อเทียบกับปริมาณที่พบจากการใช้น้ำมันดีเซล และในงานวิจัยของ Engelman et

al. [17] ได้นำน้ำมันถั่วเหลืองตั้งแต่ 10% ถึง 50% มาผสมกับน้ำมันดีเซล โดยหลังจากทดสอบที่ 50 ชั่วโมงพบคาร์บอนตกค้างในห้องเผาไหม้เล็กน้อย ค่า bsfc และกำลังที่ได้ต่างจากการใช้น้ำมันดีเซล 100% เล็กน้อย และพบว่าเมื่อผสมน้ำมันถั่วเหลืองที่สูงกว่า 60% เครื่องยนต์จะเกิดอาการสะดุดเดินไม่เรียบ ซึ่งมีสาเหตุมาจากไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดการอุดตัน จากรายงานของ Sam Jones และ Charles L. [15] สรุปได้ว่า จากงานวิจัยส่วนมาก การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลในปริมาณที่มากจะทำให้เกิดปัญหาระหว่างการทดสอบที่ระยะเวลาานาน และพบว่าการผสมน้ำมันพืชในอัตราส่วนที่ไม่เกิน 20% สามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ได้โดยไม่เกิดปัญหาระหว่างการทดสอบที่ระยะเวลาานาน

ส่วนการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้พบมากในประเทศมาเลเซีย โดยในปี 2544 ได้มีรายงานผลการวิจัยการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมน้ำมันก๊าดในประเทศมาเลเซีย โดย T.H. Lim [18] ได้นำน้ำมันปาล์มดิบเก้าสิบเปอร์เซ็นต์ผสมกับน้ำมันก๊าดสิบเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเพื่อลดปัญหาเรื่องค่าความหนืดของเชื้อเพลิง โดยการผสมน้ำมันก๊าดเข้ากับน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เพื่อเป็นการละลายอนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบ ผลการวิจัยพบว่าสมรรถนะของน้ำมันผสมมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่พบว่ามีคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซล 43% และไนโตรเจนออกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซล 7% นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันที่ถูกผสมมีอัตราการผลิตเชื้อเพลิงต่ำกว่าและสมรรถนะที่ต่ำกว่าน้ำมันปาล์มดิบ 100% และค่ามลพิษที่ปล่อยออกมาดีกว่า โดยมีค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำกว่า 19% และค่าไนโตรเจนออกไซด์ต่ำกว่า 19% นอกจากนี้ S. Bari, T.H. Lim และ C.W. Yu [19] ได้ทำการทดลองโดยทำการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบผสมให้ร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตันของระบบจ่ายน้ำมัน ซึ่งการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบให้มีอุณหภูมิสูงถึง 100 °C โดยนักวิจัยกลุ่มนี้ได้รายงานว่าการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิดังกล่าวไม่ได้ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์และไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีขึ้นกว่าเดิม เพียงแต่ช่วยให้น้ำมันในระบบไหลดีขึ้นไม่เกิดการติดขัดเมื่อทำการอุ่นที่อุณหภูมิ 60°C ขึ้นไป และไม่ควรเกิน 97°C ซึ่งเป็นจุดที่เชื้อเพลิงเริ่มเกิดฟองอากาศ ซึ่งนักวิจัยกลุ่มดังกล่าว [20] ยังได้ทำการศึกษาต่อไปโดยการเดินเครื่องยนต์เป็นเวลา 500 ชั่วโมงโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ถูกอุ่นที่อุณหภูมิ 92 °C เป็นเชื้อเพลิง โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ยี่ห้อรุ่น L60AE-D พบว่าหลังการทดสอบค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ลดลงไปถึง 20% และค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นถึง 26% นอกจากนี้ยังได้มีการถอดเครื่องยนต์ออกเพื่อทำการตรวจสอบ พบว่ามีถ่านเกาะอยู่ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เป็นจำนวนมาก และคราบของถ่านเกาะที่วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย และนอกจากนี้ยังพบร่องรอยการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับ แหวนของลูกสูบ, เข็มในหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและวาล์วส่งน้ำมันในปั๊มเชื้อเพลิง นักวิจัยได้ทำการหาสาเหตุของการที่สมรรถนะของเครื่องยนต์ตกลง โดยการนำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่มีปัญหาไป

ใส่ในเครื่องยนต์ใหม่ทีละส่วน และพบว่าการที่มีถ่านเกาะที่ก้านและป่าของวาล์วไอดีและวาล์วไอดีเสียทำให้วาล์วเกิดการติดขัด เป็นสาเหตุให้เกิดการรั่วในระหว่างช่วงจังหวะอัดและจังหวะระเบิด ด้วยปัจจัยนี้เพียงอย่างเดียวส่งผลทำให้กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ลดลงถึง 18% และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นถึง 23% ส่วนงานวิจัยของ M.A. Kalam และ H.H. Masjuki [21] ได้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของมลภาวะ(Emission)และคราบตะกอนตกค้าง(deposit) ของเครื่องยนต์ขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ(preheated CPO) เป็นเชื้อเพลิง (น้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ได้ผ่านกระบวนการทำให้เป็นเอสเตอร์แล้ว) โดยใช้เครื่องยนต์สูบเดี่ยว ขนาด 1,400 ซีซี ทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,700 รอบต่อนาที ค่าแรงบิด 5.5 นิวตัน-เมตร เป็นระยะเวลา 100 ชั่วโมงของแต่ละเชื้อเพลิงทดสอบ พบว่าการอุ่นให้น้ำมันปาล์มดิบมีอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสตลอดการใช้งานทำให้ก๊าซไอเสียซึ่งประกอบไปด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์(CO) สารไฮโดรคาร์บอน(HC) มวลสารละออง(PM) มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นผลมาจากการให้ความร้อนกับน้ำมันทำให้ค่าความหนืดลดลงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ช่วยทำให้ลักษณะของการสเปรย์และการแตกตัวเป็นละอองฝอยของน้ำมันปาล์มดิบดีขึ้นส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น แต่อย่างไรก็ดี การใช้น้ำมันปาล์มดิบที่มีการอุ่นให้ร้อนนี้ ก็ทำให้ค่ามลภาวะในส่วนของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์(NO_x) มีค่าสูงขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากลักษณะของคราบตะกอน(deposit) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่มีการอุ่นให้ร้อน มีสัดส่วนของคราบตะกอนที่เป็นขี้เถ้า(ash) มีมากขึ้น ทำให้การระบายความร้อนในห้องเผาไหม้ทำได้แยกลง ส่งผลให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงขึ้นจึงเป็นผลให้เกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์(NO_x) มากขึ้นตามไปด้วย

ส่วนงานวิจัยในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นมีทั้งที่นำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงและแบบที่ผสมเป็นบางส่วนเข้ากับน้ำมันดีเซล ตัวอย่างของพืชน้ำมันที่มีการศึกษาได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง เป็นต้น น้ำมันพืชที่นำมาใช้นั้นมีทั้งแบบที่เป็นน้ำมันพืชดิบ น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการผลิต เช่นการกรองหรือการสกัด รวมถึงน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงให้เป็นเอสเตอร์ งานวิจัยส่วนใหญ่ที่เป็นการนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงนั้นจะเป็นการทดสอบกับเครื่องยนต์การเกษตรที่มีขนาดเล็กและใช้งานที่ความเร็วรอบต่ำ โดยเฉพาะในช่วงปี 2544-2546 ซึ่งเป็นช่วงที่ผลผลิตทางการเกษตรมีราคาถูก ได้มีการเร่งพัฒนาการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยมีรายละเอียดโดยสังเขปของโครงการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

ปี 2544 ทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ [22] ได้ทดสอบเดินเครื่องยนต์การเกษตรแบบสูบเดี่ยว โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบอุ่นให้ได้อุณหภูมิ 60°C ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 0:100 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 , 70:30 , 80:20 , 90:10 , 100:0 ผลการทดสอบพบว่า สามารถติดเครื่องยนต์ได้เช่นเดียวกับน้ำมันดีเซล อัตราการสิ้นเปลือง

น้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับน้ำมันดีเซล เกิดควันดำน้อยลงในขณะเร่งเครื่องยนต์ สามารถทำงานได้ทุก ส่วนผสม ในปีเดียวกัน ทางสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ป.ต.ท. [23] ได้ดำเนินงานวิจัยกับ เครื่องยนต์ดีเซลสำหรับการเกษตรกรรมโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันดีเซลเช่นเดียวกัน ใน งานวิจัยมีการหาสูตรของน้ำมันผสมที่มีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่มีความเหมาะสมกับเครื่องยนต์ โดยที่ไม่ต้องปรับแต่งการทำงานใดๆ จากการทดสอบสมรรถนะพบว่า มีสูตรน้ำมันที่เหมาะสมกับ เครื่องยนต์ 2 สูตร(แต่ไม่ปรากฏรายละเอียดวิธีการผสม) คือ สูตรที่ 1 ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ดิบร้อยละ 10 และน้ำมันดีเซลร้อยละ 90 กับสูตรที่ 2 ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มดิบร้อยละ 20 น้ำมันดีเซลร้อยละ 75 และน้ำมันก๊าดร้อยละ 5 ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านกำลังของ เครื่องยนต์ตลอดจนการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าควันดำ ความเร็วรอบการทำงาน ของ เครื่องยนต์และค่าอุณหภูมิของไอเสีย เป็นต้น

ในปี 2545 งานวิจัยของกรมวิชาการเกษตร [24] ใช้ น้ำมันปาล์มดิบที่กรองไขมันออกแล้ว แทนที่น้ำมันดีเซลทั้งหมดกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบ 8-15 แรงม้าแบบสูบเดี่ยว พบว่าสามารถจะติด เครื่องยนต์ได้ในระยะแรกประมาณ 3-4 วัน หลังจากนั้นจะมีตะกอนไขมันสะสมที่กรองน้ำมันและ หัวฉีดทำให้เกิดการอุดตันและเครื่องยนต์สตาร์ทติดยาก ซึ่งปัญหานี้ทางกรมฯ ได้เสนอให้ใช้อัตรา ส่วนผสมน้ำมันปาล์มดิบต่อน้ำมันดีเซลให้น้อยลงเป็น 1:9 และ 2:8 ซึ่งผลการทดสอบพบว่า เครื่องยนต์สามารถทำงานได้เช่นเดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลปกติ แต่ต้องมีการล้างกรอง น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นระยะเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของตะกอนไขมันที่ยังมีอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง นอกจากนี้ทางกรมฯ ยังเสนอว่าการใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงจะมีผลดีกว่าการใช้น้ำมัน ปาล์มดิบเนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีส่วนผสมของน้ำ, ไขมันและกรด ซึ่งจะส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ เมื่อใช้งานในระยะยาว

ทางด้านงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันปาล์มมาใช้ในเครื่องยนต์สำหรับรถยนต์ซึ่งมี ขนาดที่ใหญ่ขึ้นและทำงานที่ความเร็วรอบสูงกว่าเครื่องยนต์การเกษตรได้แก่ งานวิจัยของสถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือในปี 2543 [25] ได้ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีด น้ำมันโดยตรง (direct injection) 4 สูบ ขนาด 2500 และแบบฉีดน้ำมันโดยอ้อมขนาด 5 สูบ 3000 ซีซี โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงโดยนำน้ำมันปาล์มดิบมาอุ่นให้ได้อุณหภูมิ 60 °C ก่อน นำมาใช้ งาน การอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนนั้นเพื่อให้ไขชั้นของน้ำมันปาล์มเป็นของเหลวก่อนการใช้ งาน โดยใช้อัตราส่วนผสมน้ำมันปาล์มดิบต่อน้ำมันดีเซล 0:100 20:80 30:70 40:60 50:50 60:40 70:30 80:20 90:10 100:0 ผลทดสอบปรากฏว่าสามารถติดเครื่องยนต์ได้เช่นเดียวกับ น้ำมันดีเซลและสามารถทำงานได้ทุกส่วนผสม ต่อมาในปี 2544 ทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอม ก่อเกล้าพระนครเหนือ ได้มีการวิจัยความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันปาล์มโอเลอินผ่านกรรมวิธีผสมกับ น้ำมันดีเซล [7] เพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ในอัตราส่วนผสมน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ผ่านกรรมวิธีต่อน้ำมันดีเซล 0:100 50:50 100:0 ตามลำดับ การทดสอบภายใต้เหตุการณ์จริง โดยการขับรถยนต์ทดสอบจำนวน 3 คัน ขับเป็นขบวนเดียวกันบนถนนทุกสภาวะภูมิประเทศและทุกสภาวะภูมิอากาศในประเทศไทยเป็นระยะทางประมาณ 200,000 กิโลเมตร ผลการทดสอบสรุปได้ว่า น้ำมันผสมทั้ง 2 สูตร สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลตามเงื่อนไขการวิจัยได้ทุกสภาวะภูมิประเทศและทุกสภาวะอากาศในประเทศไทย โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 9.503 , 9.971 , 7.786 กิโลเมตรต่อลิตรตามลำดับ ส่วนปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) , สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (THC) , ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และมวลสารละออง (PM) ของน้ำมันผสมมีค่าที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลโดยที่เมื่อใช้อัตราส่วนผสม 0:100 จะมีค่าสูงสุด ยกเว้นค่าควันดำซึ่งเมื่อใช้น้ำมันผสมจะให้ค่าที่ต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ส่วนคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันหล่อลื่นหลังการทดสอบพบว่าค่าที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งหมายความว่า การสึกหรอในส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ที่มีต่อน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ใช้แล้วไม่มีความแตกต่างเป็นนัยสำคัญ ทางคณะผู้วิจัยได้สรุปว่าน้ำมันเชื้อเพลิงผสมอัตราส่วนผสมน้ำมันปาล์มโอเลอินผ่านกรรมวิธีต่อน้ำมันดีเซล 50:50 มีคุณสมบัติโดยรวมดีกว่าน้ำมันผสมอัตราส่วนผสมที่ 100:0 ในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ทดสอบภายใต้เงื่อนไขในการวิจัย

ในปี 2545 สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ป.ต.ท.[26] ได้มีการศึกษาผลของการใช้น้ำมันปาล์มผ่านกรรมวิธี(Refined Palm Oil, น้ำมันปาล์มรีไฟน์) ผสมกับน้ำมันดีเซล ทดสอบในรถบรรทุกขนาดเล็ก อัตราส่วนผสมของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อน้ำมันดีเซลเท่ากับ 5:95 และ 10:90 ทดสอบบนแท่นทดสอบรถยนต์ ผลการทดสอบพบว่า กำลังและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงไม่มีความแตกต่างเมื่อเทียบกับใช้น้ำมันดีเซล ค่าควันดำมีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เขม่าและคราบตกค้างที่หัวฉีด(โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี Cummins L10 Injector Depositing Test method) พบว่ามีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ในปี 2546 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ [27] ได้มีการศึกษาการประเมินสมรรถนะ การปล่อยควันดำและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง เมื่อใช้น้ำมันดีเซลกับน้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสม 10:90 ที่สภาวะความเร็วรอบคงที่ 2500 รอบต่อนาที ภาระโหลด 50 % ของภาระสูงสุดเป็นระยะเวลา 250 ชม. ผลการทดสอบพบว่า กำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและปริมาณควันดำ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามอายุการใช้งาน การสึกหรอที่เกิดขึ้นเป็นไปตามปกติโดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดสรุปได้ว่าน้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันดีเซลสามารถใช้งานได้เทียบเคียงกับน้ำมันดีเซลในปี 2547 ห้องปฏิบัติการเครื่องยนต์สันดาปภายใน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [28] ได้ศึกษาปรากฏการณ์การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นใน

เครื่องยนต์ดีเซลโดยการถ่ายภาพ โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ 10 % ผสมกับน้ำมันดีเซล 90 % เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลแบบเผาไหม้ล่วงหน้า ระบบประจุไอดีโดยธรรมชาติ ขนาด 2,500 ซีซี จากผลของการถ่ายภาพปรากฏการณ์การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าพบว่า การใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลทำให้ จุดเริ่มต้นของการฉีดของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นเร็วกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล 1-2 องศาข้อเหวี่ยง โดยลักษณะของสเปรย์จากน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลจะมีระยะพุ่งของสเปรย์ที่ยาวกว่าและมุมของสเปรย์ที่กว้างกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นและการกระจายความหนาแน่นของเขม่าที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ Two color method เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีค่าที่ต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล เนื่องจากผลของค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

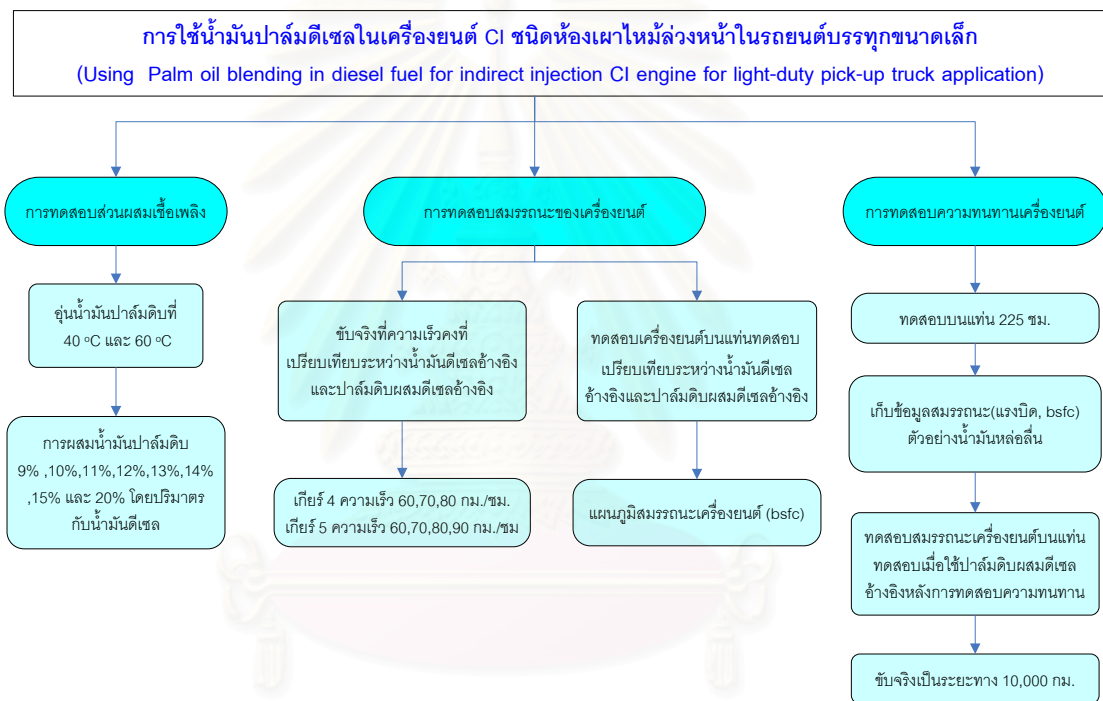
การนำน้ำมันพืชมาใช้ในการศึกษาวิจัยนี้จึงเลือกน้ำมันปาล์มดิบโดยนำเทคนิคการทำให้โมเลกุลแตกตัวเพื่อให้ขนาดเล็กลงโดยการให้ความร้อนมาใช้ร่วมกับการลดความหนืดของน้ำมัน โดยการใช้ น้ำมันดีเซลเป็นตัวทำละลายเพื่อให้ความหนืดของน้ำมันผสมมีค่าลดลง ป้องกันปัญหาการอุดตันของระบบจ่ายน้ำมันและช่วยทำให้ลักษณะของการสเปรย์และการแตกตัวเป็นละอองฝอยของน้ำมันปาล์มดิบดีขึ้นส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น[21] การทดสอบเพื่อศึกษาผลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลได้กระทำทั้งในระยะสั้นคือการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้น และการทดสอบระยะยาวคือการติดตามผลของสมรรถนะที่เปลี่ยนแปลงและผลต่อความทนทานของเครื่องยนต์ ในด้านการสึกหรอที่เกิดขึ้น คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่เปลี่ยนไปเพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นต่อการนำน้ำมันชนิดนี้มาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนการใช้ น้ำมันดีเซลในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบและระเบียบวิธีวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบและระเบียบวิธีวิจัย โดยรายละเอียดขั้นตอนการวิจัยแสดงดังรูปที่ 3-1 ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้คือ 1. การทดสอบส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิง 2. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ 3. การทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์



รูปที่ 3-1 แสดงแผนภาพรายละเอียดขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนการทดสอบส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมและสัดส่วนของการผสมน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำมันดีเซลที่เหมาะสม

ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของสมรรถนะของเครื่องยนต์ระหว่างการใช้ น้ำมันดีเซลข้างอิงกับน้ำมันปาล์มดีเซลผสมดีเซลข้างอิง โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เมื่อนำมาใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กด้วยความเร็วคงที่ และการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เป็นการทดสอบเครื่องยนต์ภายใต้สภาวะการใช้งาน แบ่งได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการใช้งานต่อเนื่องภายใต้วัฏจักรการทำงานที่กำหนด(โดยในงานวิจัยนี้ได้ดัดแปลงมาจาก EMA CYCLE TEST) เป็นระยะเวลา 225 ชั่วโมงบนแท่นทดสอบหลังจากการทดสอบความทนทานในส่วนแรก ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ก่อนที่จะทำการทดสอบความทนทานในส่วนที่สองซึ่งเป็นการใช้งานโดยนำเครื่องยนต์ไปใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กลงภายใต้ลักษณะการใช้งานปกติในสิ่งแวดล้อมจริงเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร ตลอดการทดสอบความทนทานทั้งสองส่วนใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ในระหว่างการทดสอบความทนทานได้มีการเฝ้าติดตามและตรวจสอบสภาพการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นด้วยการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นอย่างต่อเนื่องตลอดการทดสอบเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การทดสอบส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิง

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาสัดส่วนและวิธีการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำมันดีเซลเพื่อให้ได้ส่วนผสมที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เกิดการแยกชั้นขณะเก็บรักษาโดยจัดการทดสอบเพื่อศึกษาปริมาณไขและตะกอนที่เกิดขึ้นในส่วนผสมน้ำมันปาล์มดิบต่อน้ำมันดีเซลที่ 9 : 91 , 10 : 90 , 11 : 89 , 12 : 88 , 13 : 87 , 14 : 86 , 15 : 85 และ 20 : 80 โดยปริมาตร โดยก่อนผสมจะทำการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิ 40 °C และ 60 °C ตามลำดับ

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบส่วนผสมน้ำมันเชื้อเพลิง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบส่วนผสมน้ำมันเชื้อเพลิงมีดังนี้

3.1.1.1 เครื่องกวน

ในขั้นตอนการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำมันดีเซล จะใช้เครื่องกวนเพื่อให้ส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เครื่อง Magnetic Stirrer รุ่น F-3075 ดังแสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 แสดงเครื่องกวนที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1.2 เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเร่งการแยกสารแขวนลอยในสารตัวอย่างเพื่อให้ตกตะกอนได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง Sigma รุ่น 201 ดังรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 แสดงเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.2 วิธีการทดสอบส่วนผสมน้ำมัน

ขั้นตอนในการดำเนินการเริ่มจากตวงน้ำมันปาล์มดิบตามส่วนผสมที่ต้องการ นำไปอุ่นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ (ที่อุณหภูมิ 40°C และ 60°C) แล้วนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อให้ได้ตามส่วนผสมที่ต้องการ น้ำมันผสมจะถูกกวนให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องกวน จากนั้นจึงนำน้ำมันที่ผสมเสร็จใส่หลอดแก้วทดลองตั้งทิ้งไว้หนึ่งๆ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณตะกอนและการเกิดไขของส่วนผสมที่สัดส่วนต่างๆ

นอกจากนั้น ยังได้นำน้ำมันปาล์มดิบผสมน้ำมันดีเซลที่ส่วนผสม 9:91 , 10:90 และ 11:89 ซึ่งทำการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ โดยที่อุณหภูมิน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมมีค่า 40 °C และ 60°C

ไปผ่านกระบวนการเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifuge) ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เพื่อเร่งให้ของแข็งแขวนลอยให้ตกตะกอน ก่อนนำมาทำการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 แสดงน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลที่ส่วนผสมต่างๆ หลังผ่านกระบวนการเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

3.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ระหว่างการใช้ น้ำมันดีเซลอ้างอิงกับน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง แบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เมื่อนำมาใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กด้วยความเร็วคงที่และส่วนที่สองเป็นการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบทั้งที่สภาวะภาระสูงสุด (Full load) และที่สภาวะภาระบางส่วน (Part load) โดยผลที่ได้จากการทดสอบในส่วนนี้ได้แสดงผลในรูปแบบแผนภูมิสมรรถนะ (Performance map) สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะทั้ง 2 ส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เมื่อนำมาใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกทุกขนาดเล็กด้วยความเร็วคงที่

ขั้นตอนแรกก่อนการทดสอบเป็นการวัดสมรรถนะเบื้องต้นของเครื่องยนต์ โดยผู้วิจัยได้ทำการปรับสภาพเครื่อง (Overhaul) ด้วยการเปลี่ยนชิ้นส่วนหลักของเครื่องยนต์คือ ลูกสูบ แหวน ลูกสูบ ก้านสูบ แบริ่งก้านสูบ แบริ่งข้อเหวี่ยง วาล์วไอดี วาล์วไอเสีย และปะเก็นฝาสูบ สำหรับในส่วนของระบบปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ทำการซ่อมบำรุงและปรับตั้งค่าปริมาณและความดันในการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงตามมาตรฐานของผู้ผลิต ก่อนที่จะนำเครื่องยนต์ไป run-in โดยการนำไปใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกทุกขนาดเล็กภายใต้การใช้งานปกติเป็นระยะทางประมาณ 3,000 กิโลเมตร เพื่อให้เครื่องยนต์มีสภาพสมบูรณ์ก่อนการทดสอบ หลังจากผ่านการ run-in แล้วนำเครื่องยนต์ไปใช้ขับเคลื่อนรถทดสอบด้วยความเร็วคงที่ โดยใช้ น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

3.2.1.1 รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ ยี่ห้อฟอร์ด เรนเจอร์ XL ขนาดเครื่องยนต์ 2,500 ซีซี รุ่น WL 81 ดังแสดงในรูปที่ 3-5 ส่วนรายละเอียดทางเทคนิคได้แสดงในตารางที่ 3-1



(ก)



(ข)

รูปที่ 3-5 (ก) รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ (ข) เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 3-1 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

รุ่น	Ford Ranger XL 2.5 ลิตร	
หมายเลขตัวถัง	MNBBSD30XW121582	
เครื่องยนต์	แบบ	(WL 81) 4 สูบ 12 วาล์ว SOHC
	ชนิด	แบบแถวเรียง 4 จังหวะการทำงาน
	ระบบห้องเผาไหม้	Pre-chamber Indirect Injection
	ระบบประจุไอดี	Natural Aspirated
	ระบบระบายความร้อน	ระบายความร้อนด้วยน้ำ
	ปริมาตรกระบอกสูบ	2499 ซีซี
	ความกว้างกระบอกสูบxช่วงชัก	93x92 มม.
	ความยาวก้านสูบ	152 มม.
	อัตราส่วนกำลังอัด	21.6 : 1
ระบบส่งกำลัง	ระบบเกียร์	เกียร์ธรรมดา
	คลัทช์	แบบแห้งแผ่นเดี่ยวควบคุมด้วยไฮโดรลิก
	อัตราทดเฟืองท้าย	4.444
น้ำหนัก (กก.)	1,379	
ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง	ปั้มหิวฉีดน้ำมันแบบจานจ่าย	

3.2.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในรถยนต์ทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงในรถทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3-6 เป็นอุปกรณ์การวัดแบบ Volumetric gravitation flow meter ประกอบด้วยเซนเซอร์ตรวจจับระดับของเหลวแบบ Optical sensor ยี่ห้อ SUNX รุ่น EX-F1 ซึ่งเป็นแบบที่มีแอมพลิฟายเออร์ในตัวมีค่าเวลาในการตอบสนอง (Response time) น้อยกว่า 2 ms ติดตั้งที่หลอดแก้วในตำแหน่งที่เซนเซอร์ด้านบนและตัวล่างห่างกันในระดับที่น้ำมันในหลอดแก้วระหว่างเซนเซอร์ทั้งสองตัวมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร เมื่อน้ำมันเคลื่อนที่ลงมาถึงตำแหน่งเซนเซอร์ด้านบน นาฬิกาจับเวลาจะเริ่มจับเวลาและจะหยุดเมื่อระดับน้ำมันเคลื่อนที่มาถึงระดับเซนเซอร์ตัวล่าง ช่วงเวลาที่ได้นี้นำไปคำนวณหาอัตราการไหลโดยปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงได้จากสมการ (3.1)

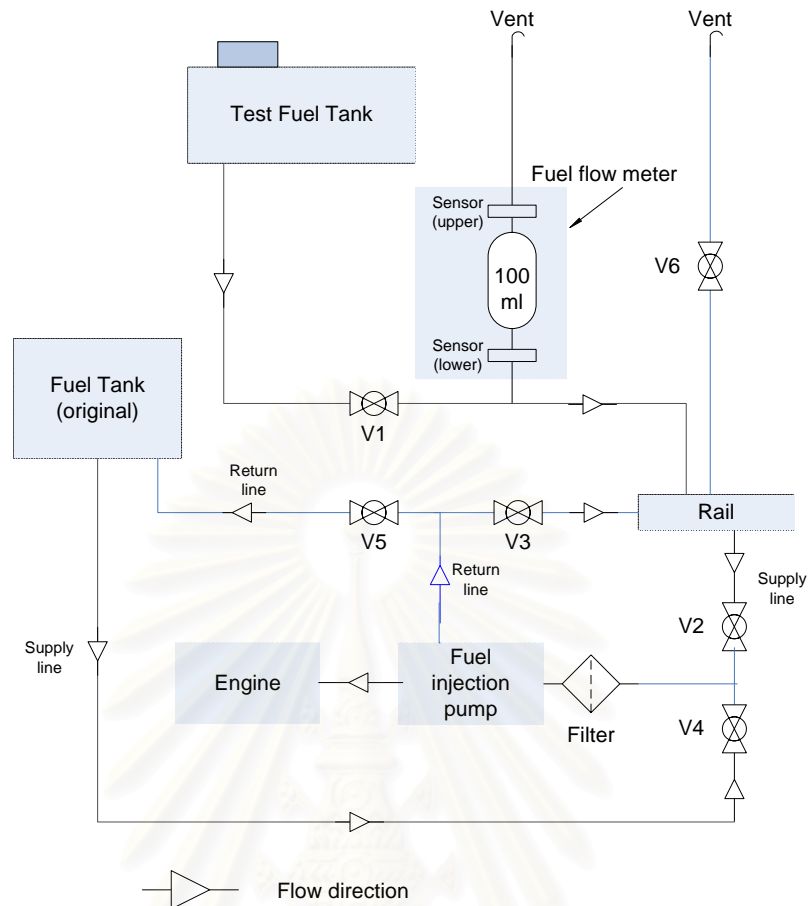
$$\dot{V} = \frac{V}{t} \quad (3.1)$$

โดยที่ \dot{V} คือ อัตราการไหลโดยปริมาตร (ml/s)
 V คือ ปริมาตรที่ใช้วัด (ml) สำหรับการทดสอบนี้ใช้ 100 มิลลิลิตร
 t คือ เวลาที่นาฬิกาจับเวลาวัดได้ (s)

การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในรถยนต์ทดสอบ ทำได้โดยการดัดแปลงและติดตั้งระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มเติมจากระบบปกติซึ่งทำให้สามารถเลือกใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้ระหว่างน้ำมันจากถังน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ(ที่ติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดังแสดงในรูปที่ 3-6) หรือน้ำมันจากถังน้ำมันเชื้อเพลิงปกติ โดยแผนผังของระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มเติมที่ดัดแปลงเข้ากับระบบน้ำมันเชื้อเพลิงปกติดังแสดงในรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-6 แสดงอุปกรณ์ของระบบน้ำมันเชื้อเพลิงที่ติดตั้งเพิ่มเติมในรถยนต์ทดสอบ



รูปที่ 3-7 แสดงแผนผังการติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ติดตั้งเพิ่มเติมในรถยนต์ ทดสอบร่วมกับระบบน้ำมันเชื้อเพลิงปกติ

จากรูปที่ 3-7 แสดงระบบการทำงานของอุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในรถยนต์ทดสอบ เมื่อต้องการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากถังทดสอบทำได้โดยเริ่มจากการเปิดวาล์ว V1, V2 และ V3 แล้วปิดวาล์ว V4, V5 เพื่อให้ น้ำมันเชื้อเพลิงในระบบเป็นน้ำมันจากถังทดสอบเพียงอย่างเดียวแล้วจึงเริ่มการทดสอบ

การวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงทำได้โดยขณะที่น้ำมันเต็มหลอดแก้ว 100 ml เริ่มต้นด้วยการปิดวาล์ว V1 เมื่อระดับน้ำมันเคลื่อนที่ผ่านเซนเซอร์ด้านบน นาฬิกาจับเวลาจะเริ่มต้นจับเวลาและจะหยุดเมื่อระดับน้ำมันเคลื่อนที่มาถึงระดับเซนเซอร์ตัวล่าง จากนั้นเปิดวาล์ว V1 เพื่อให้ น้ำมันไหลเต็มเข้าไปในหลอดแก้วอีกครั้งรอจนกระทั่งน้ำมันเคลื่อนที่ผ่านเซนเซอร์ด้านบนแล้วจึงปิดวาล์ว V1 เพื่อทำการวัดอัตราการไหลครั้งต่อไป

หลังจากเสร็จสิ้นการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแล้ว การเปลี่ยนมาใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงจากถังปกติทำได้โดยการเปิดวาล์ว V4 และ V5 และปิดวาล์วตัวที่เหลือทั้งหมด (ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงเดิมจะมีเชื้อเพลิงบางส่วนที่เหลือจากการกระบวนกรฉีดถูกส่งกลับไปยังถังเชื้อเพลิงหลัก

ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงส่วนนี้ทำให้ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่วัดได้ไม่ถูกต้อง ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการดัดแปลงให้น้ำมันเชื้อเพลิงในส่วนนี้ไหลไปรวมกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าสู่ปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอีกครั้งที่ท่อร่วม(Rail)

3.2.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์

อุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์ระหว่างการทดสอบสามารถวัดได้โดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล แบบ K (Chromel-Alumel, CA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 มิลลิเมตร ใช้งานร่วมกับตัวอ่านค่าอุณหภูมิ DIGICON รุ่น IS-7 ซึ่งจะแสดงผลในระบบ zero blanking มีค่าความแม่นยำที่ ± 0.5 % ของค่าเต็มสเกล และใช้ชุดเพิ่มเติมตำแหน่งการอ่านค่าอุณหภูมิ DIGICON รุ่น TS-94ST ดังแสดงในรูปที่ 3-16 โดยตำแหน่งการวัดอุณหภูมิการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3-8 ถึง 3-15 มีดังนี้

- อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ติดตั้งที่บริเวณท่อทางเข้าและออกของน้ำหล่อเย็นจากเครื่องยนต์
- อุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่น ติดตั้งผ่านช่องเสียบก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น
- อุณหภูมิของอากาศ ติดตั้งที่ทางเข้าของท่อร่วมไอดี
- อุณหภูมิของไอเสีย ติดตั้งที่ทางออกของท่อร่วมไอเสีย
- อุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง วัดในถังน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบและที่ท่อน้ำมันไหลกลับจากหัวฉีด
- อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม ติดตั้งที่ภายนอกเครื่องยนต์



รูปที่ 3-8 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ทางเข้าเครื่องยนต์



รูปที่ 3-9 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ทางออกเครื่องยนต์



รูปที่ 3-10 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ
น้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์



รูปที่ 3-11 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ
ไอดีของเครื่องยนต์



รูปที่ 3-12 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิไอเสีย
ของเครื่องยนต์



รูปที่ 3-13 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ
น้ำมันเชื้อเพลิงที่ถังทดสอบ



รูปที่ 3-14 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของ
น้ำมันเชื้อเพลิงท่อไหลดักจับ



รูปที่ 3-15 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ
ของอากาศภายนอก



รูปที่ 3-16 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการแสดงค่าอุณหภูมิ

3.2.2 วิธีการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ขณะที่ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กด้วยความเร็วคงที่

การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงโดยการทดสอบเครื่องยนต์ขณะที่ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กด้วยความเร็วคงที่จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาหาข้อมูลอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบื้องต้นก่อนการทดสอบสมรรถนะและความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ โดยการขับด้วยความเร็วคงที่ 60,70 และ 80 กม./ชม. ด้วยอัตราทดเกียร์ 4 และที่ความเร็วคงที่ 60,70,80 และ 90 กม./ชม. ด้วยอัตราทดเกียร์ 5

ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบในช่วงกลางคืนเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการจราจรเนื่องจากระหว่างการขับด้วยความเร็วคงที่ต้องใช้เส้นทางราบที่มีรถสัญจรไปมาน้อยที่สุดเพื่อให้ได้ระยะทางเพียงพอสำหรับการควบคุมความเร็วรถให้คงที่ในช่วงวัดประเมินผล

นอกจากนี้การทดสอบในช่วงเวลากลางคืนยังมีข้อดีคือ ทำให้สภาวะเงื่อนไขการทำงานของเครื่องยนต์มีค่าใกล้เคียงกันทุกครั้งที่ทำทดสอบ เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืนไม่มีผลของความร้อนจากแสงแดดจึงทำให้อุณหภูมิบรรยากาศระหว่างการทดสอบค่อนข้างคงที่ในแต่ละวันที่ทำการทดสอบตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดสอบ (ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิบรรยากาศที่วัดได้ในแต่ละวันที่ทดสอบมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 3°C) ซึ่งมีผลทำให้

- อุณหภูมิของผิวถนนมีค่าคงที่ ดังนั้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างผิวถนนกับยางรถยนต์จึงไม่มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวถนน (ก่อนการทดสอบได้ทำการตรวจวัดความดันลมยางเริ่มต้นให้มีค่าเท่ากับ 35 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเท่ากันทั้ง 4 ล้อทุกครั้ง โดยใช้เกจวัดความดันลมยางตัวเดียวกันตลอดการทดสอบ)
- ผลจากอุณหภูมิบรรยากาศภายนอกที่ค่อนข้างคงที่และไม่มีผลของความร้อนจากแสงแดดทำให้ภาระทางความร้อน(Cooling load) ของระบบปรับอากาศในรถยนต์มีค่าค่อนข้างคงที่ (โดยตำแหน่งสวิทช์ควบคุมอุณหภูมิในห้องโดยสาร กำหนดให้เป็นตำแหน่งสูงสุดตลอดการทดสอบ) จึงมีผลให้ภาระส่วนเพิ่มของเครื่องยนต์เนื่องจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศมีค่าใกล้เคียงกัน
- ผลจากอุณหภูมิบรรยากาศระหว่างการทดสอบที่ใกล้เคียงกันทำให้ผลของการขยายตัวเชิงปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ดังจะเห็นได้จากผลการวัดอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถังทดสอบ ในแต่ละวันที่ทดสอบมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 3°C การวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงจึงไม่มีผลกระทบจากการขยายตัวของเชื้อเพลิงเนื่องจากอุณหภูมิ

สำหรับเส้นทางและรูปแบบการขับรถทดสอบกำหนดให้เป็นแบบเดียวกันตลอดการทดสอบ โดยเส้นทางที่ใช้ในการทดสอบมีต้นไม้สูงตลอดข้างทางซึ่งจะช่วยบังลมได้เป็นอย่างดีทำให้ผลจากการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมระหว่างการทดสอบมีค่าน้อยลง

การตรวจความพร้อมของเครื่องยนต์ ก่อนการทดสอบทุกครั้ง ได้แก่ การตรวจระดับน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันหล่อเย็น น้ำมันเบรกและคลัช การรั่วซึมที่ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ การตรวจความดันของลมยาง เป็นต้น น้ำหนักบรรทุกทุกกำหนดให้มีค่าคงที่ประมาณ 500 กิโลกรัม ข้อมูลที่ทำการเก็บบันทึกประกอบไปด้วย ข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความเร็วรถยนต์, ข้อมูลอุณหภูมิการทำงาน of เครื่องยนต์ และข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยมีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

- ข้อมูลระยะเวลาที่รถยนต์ใช้ในการเคลื่อนที่ในทางราบทุกๆ 3 กิโลเมตร เทียบกับเวลาที่ได้จากการคำนวณซึ่งใช้ในการตรวจสอบความเร็วรถยนต์ให้มีค่าคงที่ตลอดช่วงระยะเวลาที่จดบันทึกข้อมูลระหว่างการทดสอบ

- ข้อมูลอุณหภูมิการทำงาน of เครื่องยนต์ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ทางเข้าและทางออกของเครื่องยนต์ อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าของท่อร่วมไอดี อุณหภูมิของไอเสีย อุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ท่อน้ำมันไหลกลับจากปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงและที่ถังน้ำมันทดสอบ อุณหภูมิของบรรยากาศภายนอก

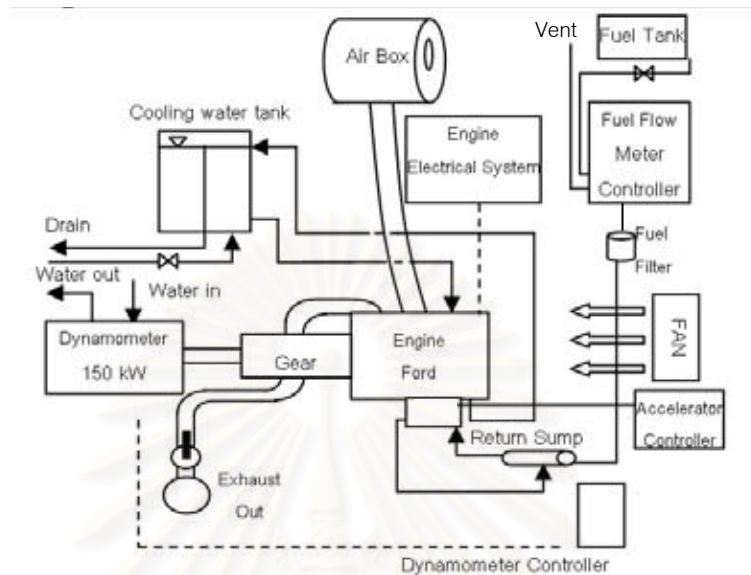
- ข้อมูลระยะเวลาที่เครื่องยนต์ใช้ในการบริโภคน้ำมัน 100 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นการบันทึกอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะคงตัวและอุณหภูมิการทำงาน of เครื่องยนต์มีค่าคงที่

ก่อนวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ได้ทำการตรวจสอบความเร็วของรถยนต์ให้มีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บบันทึกข้อมูลโดยการจับเวลาขณะที่รถเคลื่อนที่ในทางราบผ่านหลักกิโลเมตรช่วงละประมาณ 3 กิโลเมตรเทียบกับเวลาที่ได้จากการคำนวณและทำการตรวจสอบให้แน่ใจว่าเครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะคงตัวโดยรอจนอุณหภูมิการทำงาน of เครื่องยนต์มีค่าคงที่ก่อนเริ่มเก็บข้อมูล จากการตรวจสอบทั้งสองส่วนขณะที่ทำการบันทึกข้อมูลทำให้แน่ใจว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่วัดได้มีความแม่นยำและถูกต้องสูง

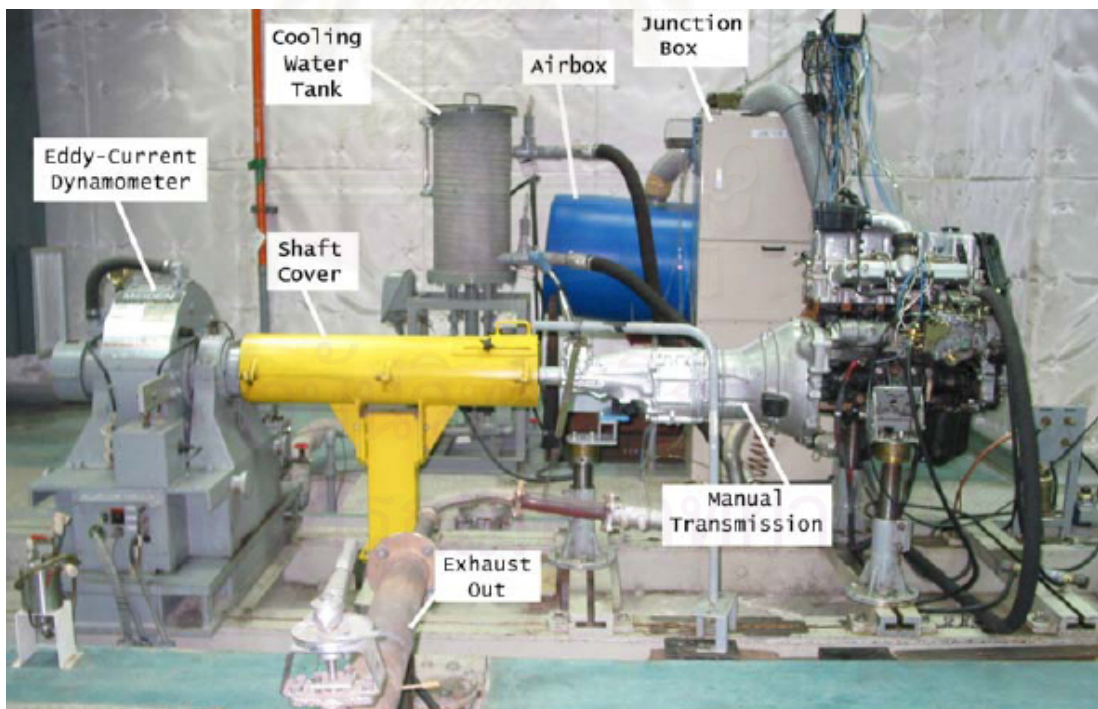
3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ

หลังจากการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ขณะที่ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.2.1 ต่อไปเป็นขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบซึ่งประกอบด้วยการทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด (Full load) และที่สภาวะภาระบางส่วน (Part load) ระหว่างการใช้ น้ำมันดีเซลอั้งอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอั้งอิง

แผนผังของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบและการติดตั้งเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 3-17 และรูปที่ 3-18 ตามลำดับ



รูปที่ 3-17 แสดงแผนผังอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะและความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ



รูปที่ 3-18 แสดงอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะและความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ



รูป 3-19 แสดงไดนาโมมิเตอร์และแผงควบคุมการทำงาน

3.2.3.1 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องตัวเดียวกับเครื่องยนต์ที่ติดตั้งอยู่ในรถยนต์ทดสอบซึ่งได้แสดงรายละเอียดไปแล้วในหัวข้อที่ 3.2.1

3.2.3.2 ไดนาโมมิเตอร์

ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นแบบ Eddy-Current ยี่ห้อ MEIDEN รุ่น EC-80 ชนิด PTW-DAD (TWD150) ขนาดกำลังสูงสุดที่รับได้ 150 kW แรงบิดสูงสุดที่รับได้เท่ากับ 500 นิวตัน-เมตร ความแม่นยำในการวัดแรงบิดเท่ากับ ± 0.1 % ของค่าเต็มสเกล ความเร็วรอบสูงสุดที่วัดได้มีค่า 8,000 รอบต่อนาที มีความแม่นยำในการวัดความเร็วรอบเท่ากับ ± 0.1 % ของค่าเต็มสเกล ควบคุมการทำงานโดยชุดควบคุมแผงควบคุม MEIDEN รุ่น IED 853 แสดงดังรูปที่ 3-19

3.2.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดังรูปที่ 3-20 เป็นอุปกรณ์การวัดแบบ Volumetric gravitation flow meter ซึ่งเหมือนกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในรถยนต์ทดสอบโดยแตกต่างกันที่ปริมาตรน้ำมันที่ทำการวัด สำหรับการทดสอบบนแท่นทดสอบจะทำการติดตั้งเซนเซอร์ตัวบนและตัวล่างห่างกันในระดับที่ของเหลวในหลอดแก้วระหว่างเซนเซอร์ทั้งสองตัวมี

ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เวลาที่ได้จากการวัดนี้จะนำไปคำนวณหาอัตราการไหลโดยปริมาตรได้จากสมการ (3.1) เช่นกัน สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงหาได้จากสมการ (3.2)

$$\dot{m}_f = \frac{\rho_f V}{t} \quad (3.2)$$

โดยที่ \dot{m}_f คือ อัตราการไหลโดยมวลของน้ำมันเชื้อเพลิง (kg/s)

ρ_f คือ ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิง (kg/m³)

3.2.3.4 อุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศ

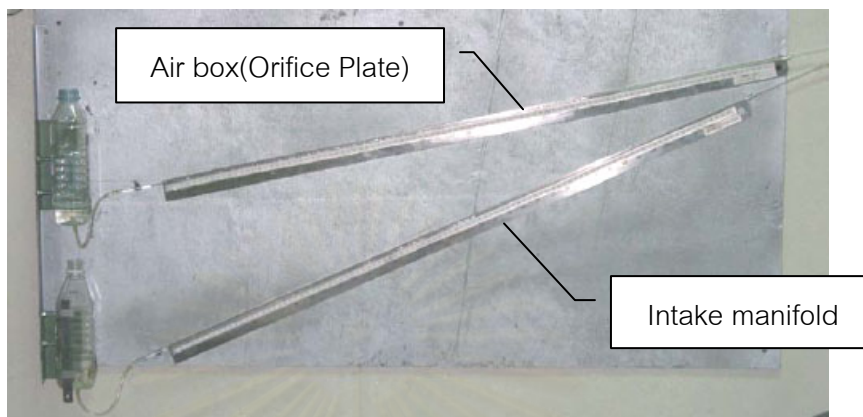
การวัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าสู่เครื่องยนต์วัดด้วยวิธี Air box method เป็นการวัดอัตราการไหลของอากาศดังแสดงในรูปที่ 3-20 โดยที่ถังอากาศมีหน้าที่ช่วยลดการกระเพื่อมของอากาศที่ไหลผ่าน orifice เนื่องจากจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ จากนั้นวัดค่าความดันตกคร่อม Orifice Plate เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ โดยวัดความดันที่ตกคร่อม Orifice Plate ตามมาตรฐาน BS1042 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Orifice Plate ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 50 มิลลิเมตรและมีค่า Drag Coefficient เท่ากับ 0.6



รูป 3-20 แสดงเครื่องวัดอัตราการไหลน้ำมันเชื้อเพลิงและอัตราการไหลของอากาศ

ค่าของผลต่างความดันตกคร่อมที่ Orifice Plate ของถังพักอากาศและความดันในท่อไอดี วัดโดยใช้मानอมิเตอร์แบบเอียงโดยใช้น้ำเป็นของเหลวทำงาน ค่าความดันที่ได้เป็นหน่วย

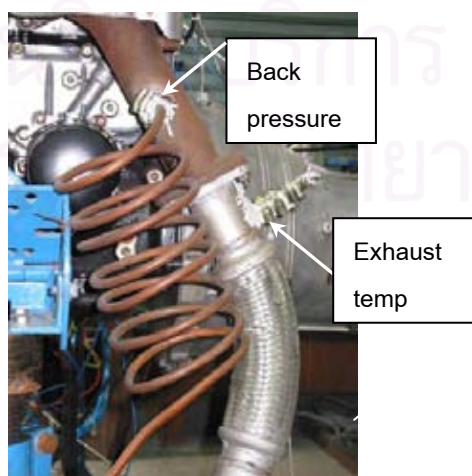
มิลลิเมตรน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3-21 ที่ Orifice Plate วัดได้สูงสุด 200 มิลลิเมตรน้ำ ส่วนความดันที่ก่อนเข้าท่อร่วมไอดีวัดได้สูงสุด 400 มิลลิเมตรน้ำ มีค่าความละเอียดเท่ากับ 0.02 และ 0.04 มิลลิเมตรน้ำ ตามลำดับ



รูป 3-21 แสดงมานอมิเตอร์แบบเอียงที่ใช้ในการวัดความดันตกคร่อม Orifice Plate และ intake manifold

3.2.3.5 อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันและอุณหภูมิไอเสีย

การวัดความดันไอเสียวัดโดยใช้มานอมิเตอร์แบบ U-tube ยี่ห้อ Merium ใช้น้ำเป็นของเหลวทำงาน ค่าความดันที่อ่านได้มีหน่วยเป็นนิ้วน้ำ ความละเอียด 0.1 นิ้ว ตำแหน่งที่ติดตั้งอยู่ห่างจากฝาสูบประมาณ 15 เซนติเมตร โดยติดตั้งท่อขดทองแดงที่ตำแหน่งวัดเพื่อลดอุณหภูมิไอเสีย ส่วนตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิไอเสียจะอยู่ต่อจากตำแหน่งที่วัดความดันประมาณ 15 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3-22



รูป 3-22 แสดงท่อขดลดอุณหภูมิและตำแหน่งการวัดความดันและอุณหภูมิไอเสีย

3.2.3.6 อุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ

การวัดอุณหภูมิบรรยากาศจะวัดทั้งอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง ตามลำดับ ส่วนความดันบรรยากาศวัดโดยใช้บารอมิเตอร์ ดังรูปที่ 3-23



รูปที่ 3-23 แสดง บารอมิเตอร์ (ซ้าย)และเทอร์โมมิเตอร์ (ขวา)

3.2.4 วิธีการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบที่ภาระสูงสุด (Full load) ที่สภาวะคงตัว

หลังจากที่ทำการทดสอบวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงด้วยการใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.2.2 แล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ภาระสูงสุด สภาวะคงตัว ความเร็วรอบคงที่ โดยก่อนทดสอบต้องทำการอุ่นเครื่องยนต์ด้วยการเดินเครื่องยนต์ที่รอบเดินเบา (900 รอบต่อนาที) จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นมีค่าเท่ากับ 90°C ซึ่งเป็นที่อุณหภูมิเหมาะสมสำหรับการใช้งานเครื่องยนต์ตามคำแนะนำของผู้ผลิต จากนั้นจึงเริ่มทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าแรงบิดเบรกกับความเร็วยนต์ที่สภาวะภาระสูงสุด โดยในการทดสอบนี้จะทำการปรับชุดควบคุมไดนาโมมิเตอร์ให้ทำงานที่ความเร็วยนต์คงที่ และไดนาโมมิเตอร์จะควบคุมให้ความเร็วยนต์คงที่อยู่ตลอดเวลาด้วยการเพิ่มหรือลดภาระ โดยถ้าเพิ่มคันเร่งมากจนความเร็วยนต์เกินค่าที่กำหนดไว้ ไดนาโมมิเตอร์จะทำการเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์โดยออกแรงเบรกให้ความเร็วยนต์ของเครื่องยนต์ลดลงจนมีค่าเท่ากับความเร็วยนต์ที่กำหนด ส่งผลให้แรงบิดเบรกจากเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น

การทดสอบค่าแรงบิดเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดนี้ เริ่มจากปรับไดนาโมมิเตอร์ให้ทำงานที่ความเร็วยนต์เท่ากับ 1,000 รอบต่อนาที จากนั้นทำการปรับมุมมองขาของคันเร่งให้เพิ่มขึ้นจนถึงตำแหน่งสูงสุด ไดนาโมมิเตอร์จะทำหน้าที่สร้างภาระให้กับเครื่องยนต์เพื่อควบคุมให้

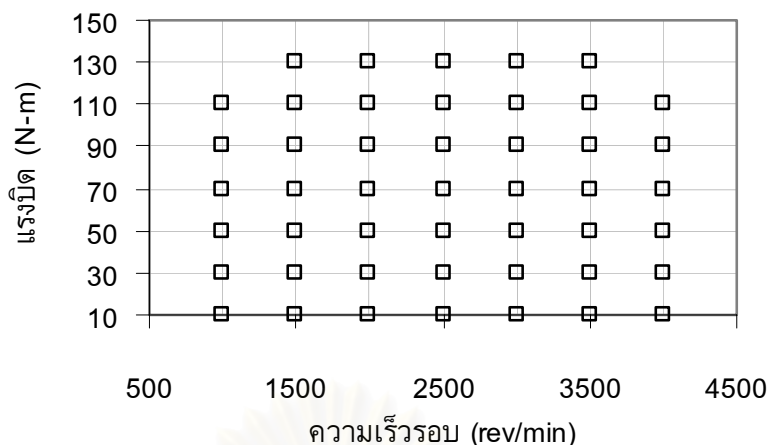
เครื่องยนต์มีความเร็วรอบเท่ากับค่าความเร็วยกที่กำหนดไว้คือ 1,000 รอบต่อนาที โดยภาระที่ไดนาโมมิเตอร์สร้างขึ้นนี้เป็นค่าแรงบิดเบรกสูงสุดที่เครื่องยนต์สามารถสร้างได้ที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที รอกจนกระทั่งเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว แล้วบันทึกค่าแรงบิดเบรก อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าอุณหภูมิและความดันที่ตำแหน่งต่างๆ

จากนั้นปรับให้ไดนาโมมิเตอร์ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้มีค่าคงที่เท่ากับ 1,250 รอบต่อนาที จนกระทั่งเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว แล้วบันทึกข้อมูลต่างๆ เช่นเดียวกับที่ความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที ความเร็วรอบต่อไปที่ทดสอบคือ ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที แล้วเพิ่มขึ้นทีละ 250 รอบต่อนาทีจนถึง 4,000 รอบต่อนาที (ยกเว้นที่ 3,000 รอบต่อนาทีแต่จะเปลี่ยนเป็น 3,030 รอบต่อนาที เนื่องจากความเร็วรอบดังกล่าวไดนาโมมิเตอร์ไม่สามารถควบคุมให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ได้) หลังจากได้ค่าแรงบิดเบรกสูงสุดแต่ละความเร็วรอบตามที่กำหนดแล้วจึงเดินเบาเครื่องยนต์ โดยเป็นการลดอุณหภูมิของเครื่องยนต์ให้มีค่าประมาณ 90°C ก่อนที่จะดับเครื่องเพื่อรักษาเครื่องยนต์

ในการทดสอบที่สภาวะแรงบิดเบรกสูงสุดมีลำดับการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงดังนี้ คือ 1. การทดสอบน้ำมันดีเซลอ้างอิง 2. การทดสอบด้วยน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง เมื่อเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงจะเปลี่ยนไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยทุกครั้ง หลังทดสอบด้วยการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลจะเดินเครื่องยนต์ด้วยการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงทุกครั้งเพื่อให้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่ค้างในระบบให้หมดไป ก่อนที่จะเปรียบเทียบค่าแรงบิดเบรกและค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่ได้จากการทดสอบของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดต้องนำไปปรับค่าที่สภาวะอากาศมาตรฐานด้วยค่าความดันบรรยากาศและอุณหภูมิของสภาวะที่ทดสอบเพื่อให้ได้ตามมาตรฐาน ISO 3046 [30] ดังแสดงในภาคผนวก ก นอกจากนี้จากการทดสอบค่าแรงบิดสูงสุดจะทำให้ทราบค่าที่ใช้ในการกำหนดจุดทดสอบ (Matrix) เพื่อสร้างแผนภูมิสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วนและจุดสำหรับการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ต่อไป

3.2.5 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบที่ภาระบางส่วน (Part load)

ความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่างภาระและความเร็วรอบของเครื่องยนต์จากการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุด นำมาใช้กำหนดจุดในการทดสอบ (Matrix) ที่ความเร็วและที่แรงบิดต่างๆ เพื่อใช้ในการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วนของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3-24



รูปที่ 3-24 แสดงเมตริกซ์ที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สภาวะภาระบางส่วน

การทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วน ตามจุดทำงานบนเมตริกซ์ที่กำหนดในรูปที่ 3-24 เริ่มต้นด้วยการเดินเครื่องยนต์ที่รอบเดินเบา (900 รอบต่อนาที) จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นมีค่าเท่ากับ 90°C ซึ่งเป็นที่อุณหภูมิเหมาะสมสำหรับการใช้งานเครื่องยนต์ตามคำแนะนำของผู้ผลิต จากนั้นปรับชุดควบคุมให้ไดนาโมมิเตอร์ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้มีค่าคงที่ตามที่กำหนดเช่นเดียวกับการทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด เริ่มที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,000 รอบต่อนาที ปรับคันเร่งให้ค่าแรงบิดเบรกจากเครื่องยนต์มีค่าเท่ากับ 10 นิวตัน-เมตร เมื่อปรับให้เครื่องยนต์ทำงานตรงตามจุดทดสอบที่ต้องการแล้ว รอจนกระทั่งสภาวะการทำงาน of เครื่องยนต์มีค่าคงตัว จึงวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง พร้อมกับบันทึกค่าอุณหภูมิและความดันที่ตำแหน่งต่างๆ

จากนั้นเปลี่ยนจุดทำงานโดยเพิ่มองศาคันเร่งเพื่อให้ได้ค่าแรงบิดเบรกมากขึ้นโดยเพิ่มทีละ 20 นิวตัน-เมตร จนถึงค่าแรงบิดเบรกสูงสุด รอให้สภาวะการทำงาน of เครื่องยนต์มีค่าคงตัว เช่นกันแล้วจึงวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง พร้อมกับบันทึกอุณหภูมิและความดันที่ตำแหน่งต่างๆ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ทดสอบต่อไปคือ 1,500 รอบต่อนาที แล้วเพิ่มขึ้นทีละ 500 รอบต่อนาทีจนถึง 4,000 รอบต่อนาที ทำการทดสอบและเก็บบันทึกข้อมูลจนครบจุดทดสอบที่กำหนด นำค่าแรงบิดเบรกและอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณปรับค่าที่สภาวะอากาศมาตรฐานด้วยค่าความดันบรรยากาศและอุณหภูมิของสภาวะที่ทดสอบเพื่อให้ได้ตามมาตรฐาน ISO 3046 [30] ก่อนที่จะนำมาแสดงในรูปแผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดเบรกแก้ไข ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด โดยการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระบางส่วนมีลำดับในการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงดังนี้คือ การทดสอบด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลอ้างอิงแล้วจึงทำการทดสอบด้วยน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล

3.3 การทดสอบความทนทาน

การทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการนำเครื่องยนต์ไปใช้งานจริงอย่างต่อเนื่อง ในระยะเวลาที่กำหนดเพื่อหาผลกระทบที่มีต่อสมรรถนะและการเสื่อมสภาพของเครื่องยนต์ การทดสอบความทนทานแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งใช้ไดนาโมมิเตอร์เป็นอุปกรณ์สร้างภาระ จำลองให้กับเครื่องยนต์ตลอดการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบเป็นระยะเวลา 225 ชั่วโมง (โดยในการวิจัยนี้ได้ดัดแปลงมาจาก EMA CYCLE TEST) และส่วนที่สองเป็นการทดสอบเครื่องยนต์โดยนำไปใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็ก ในลักษณะของการใช้งานปกติในสิ่งแวดล้อมจริงเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร รายละเอียดของอุปกรณ์และวิธีการทดสอบในแต่ละช่วงมีดังต่อไปนี้

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ เป็นอุปกรณ์ชุดเดียวกับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ตามหัวข้อที่ 3.2.3 แต่จะเพิ่มอุปกรณ์ที่ใช้ในการสูมเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นซึ่งทำการสูมเก็บอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติและตรวจหาปริมาณโลหะที่ตกค้างอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทาน

3.3.2 วิธีการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ

วิธีการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เริ่มต้นจากการกำหนดวัฏจักรภาระจำลองการทำงานสำหรับการทดสอบความทนทาน โดยการดัดแปลงจากมาตรฐานการทดสอบ EMA cycle (Engine Manufacturers Association, EMA) เพื่อให้เหมาะสมกับข้อจำกัดทางด้านอุปกรณ์และสถานที่ รายละเอียดของขั้นตอนการทดสอบได้แสดงในตารางที่ 3-2 ดังนี้

จากตารางที่ 3-2 แสดงให้เห็นว่าใน 1 วัฏจักรการทำงานประกอบไปด้วย 4 ลำดับขั้นตอนการทดสอบ แต่ละวัฏจักรใช้ระยะเวลาในการทดสอบรวม 3 ชั่วโมง โดยในหนึ่งวันจะทำการทดสอบทั้งสิ้น 5 วัฏจักรเป็นระยะเวลารวม 15 ชั่วโมงต่อวัน ส่วนระยะเวลาที่เหลือ 9 ชั่วโมงจะเป็นการหยุดเพื่อพักและตรวจสภาพเครื่องยนต์

ตารางที่ 3-2 แสดงรายละเอียดของขั้นตอนทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบเป็น
ระยะเวลา 225 ชั่วโมง

ลำดับ (step)	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์		แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	ระยะเวลา (นาที)	ระยะทาง เทียบเท่า(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 ของแรงบิดสูงสุด (40 นิวตัน-เมตร)	30	50
4	เดินเบา	900	-	30	-
			รวม	180	250

ก่อนเริ่มต้นทดสอบในแต่ละวัน ต้องตรวจสอบสภาพความพร้อมโดยรวมของอุปกรณ์ภายในห้องทดสอบให้อยู่ในสภาพการใช้งานได้ปกติ ได้แก่ ตรวจสอบการคลายตัวของสกรูยึดแท่นทดสอบเครื่องยนต์ ตรวจสอบวัดระดับและอัตราการไหลของน้ำมันหล่อลื่นสำหรับแบร์ริงของไดนาโมมิเตอร์สำหรับเครื่องยนต์ทดสอบ ทำการตรวจวัดระดับน้ำหล่อเย็น ระดับและการรั่วซึมของน้ำมันหล่อลื่น ตรวจสอบการคลายตัวของนอตและสกรูตามจุดยึดต่างๆ เช่น ยางแท่นเครื่อง นอตชั้นเพลากลาง การตรวจสอบความตึงของสายพาน เป็นต้น

เมื่อตรวจสอบสภาพความพร้อมแล้ว จึงเริ่มทดสอบความทนทานตามขั้นตอนของวัฏจักรการทดสอบดังนี้คือ ทำการอุ่นเครื่องยนต์โดยให้เครื่องยนต์ทำงานที่รอบเดินเบา (900 รอบต่อนาที) จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นมีค่าเท่ากับ 90 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเครื่องยนต์ตามคำแนะนำของผู้ผลิต จากนั้นทำการปรับเครื่องยนต์ให้ทำงานตามจุดทำงานของสภาวะการทำงานลำดับที่ 1 (ภาวะสูงสุดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,250 รอบต่อนาที) ที่สภาวะการทำงานลำดับที่ 1 เป็นการปรับไดนาโมมิเตอร์ให้ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 3,250 รอบต่อนาที จากนั้นปรับตำแหน่งคันเร่งของเครื่องยนต์ให้เพิ่มขึ้นจนถึงตำแหน่งสูงสุด เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ ไดนาโมมิเตอร์จะสร้างภาระให้กับเครื่องยนต์โดยการเพิ่มภาระให้จนกระทั่งเครื่องยนต์มีความเร็วรอบลดลงเท่ากับ 3,250 รอบต่อนาที ค่าแรงบิดเบรกที่ไดนาโมมิเตอร์สร้างให้กับเครื่องยนต์เพื่อควบคุมให้ความเร็วรอบเท่ากับค่าที่กำหนดนี้คือ ค่าแรงบิดเบรกสูงสุดที่เครื่องยนต์สามารถทำได้ รอจนกระทั่งสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์มีค่าคงตัว แล้วจึงทำการวัดค่าแรงบิดเบรก อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

พร้อมกับบันทึกค่าอุณหภูมิและความดันที่ตำแหน่งต่างๆ โดยการจดบันทึกข้อมูลจะทำทุก 20 นาทีจนครบ 1 ชั่วโมงการทำงาน

ที่สภาวะการทำงานลำดับที่ 2 เป็นการทำงานของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2,750 รอบต่อนาที ที่สภาวะภาระสูงสุด โดยการปรับไดนาโมมิเตอร์ให้ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,750 รอบต่อนาที จากนั้นปรับตำแหน่งคันเร่งของเครื่องยนต์ให้เพิ่มขึ้นจนถึงตำแหน่งสูงสุด ภาระที่ไดนาโมมิเตอร์เพิ่มให้กับเครื่องยนต์จนกระทั่งมีความเร็วรอบเท่ากับค่าที่กำหนด (2,750รอบต่อนาที) คือแรงบิดเบรกสูงสุดที่เครื่องยนต์สามารถทำได้ รอจนกระทั่งสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์มีค่าคงตัว แล้วจึงทำการวัดค่าแรงบิดเบรก อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง พร้อมกับบันทึกค่าอุณหภูมิและความดันที่ตำแหน่งต่างๆ โดยการจดบันทึกข้อมูลจะทำทุก 20 นาทีจนครบ 1 ชั่วโมงการทำงาน

ที่สภาวะการทำงานลำดับที่ 3 เป็นการเดินเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบ 2,900 รอบต่อนาที ที่ภาระคงตัว 40 นิวตัน - เมตร ซึ่งทำได้โดยการปรับให้ไดนาโมมิเตอร์ควบคุมความเร็วรอบเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบเท่ากับ 2,900 รอบต่อนาที จากนั้นปรับตำแหน่งคันเร่งให้เป็นตำแหน่งที่เครื่องยนต์สร้างแรงบิดได้เท่ากับ 40 นิวตัน - เมตร เมื่อปรับเครื่องยนต์ให้ทำงานตรงจุด สภาวะการทำงานลำดับที่ 3 แล้ว รอจนกระทั่งสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์มีค่าคงตัว แล้วจึงทำการวัดค่าแรงบิดเบรก อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงพร้อมกับบันทึกค่าอุณหภูมิและความดันที่ตำแหน่งต่างๆ โดยการจดบันทึกจะทำทุก 10 นาที จนกระทั่งครบ 30 นาที

ที่สภาวะการทำงานลำดับที่ 4 เป็นการทำงานของเครื่องยนต์ที่รอบเดินเบา (900 รอบต่อนาที ไม่มีภาระ) โดยปรับคันเร่งให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 900 รอบต่อนาที เมื่อปรับเครื่องยนต์ได้ตรงตามสภาวะจุดทำงานลำดับที่ 4 แล้ว รอจนกระทั่งสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์มีค่าคงตัว แล้วจึงทำการวัดค่าแรงบิดเบรก อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงพร้อมกับบันทึกค่าอุณหภูมิและความดันที่ตำแหน่งต่างๆ โดยการบันทึกข้อมูลจะทำทุก 10 นาที จนกระทั่งครบ 30 นาที หลังจากสิ้นสุดการทำงานที่สภาวะการทำงานลำดับที่ 4 ถือว่าการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ครบ 1 วัฏจักร

ในแต่ละวันจะทำการทดสอบทั้งสิ้น 5 วัฏจักรเป็นระยะเวลารวม 15 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อสิ้นสุดการทดสอบทั้ง 5 วัฏจักร จะทำการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นด้วยอุปกรณ์พิเศษขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่รอบเดินเบาผ่านทางรูเหล็กวัดระดับน้ำมันหล่อลื่นครั้งละ 100 มิลลิลิตร และเติมน้ำมันใหม่กลับคืนในปริมาตรที่เท่ากับที่สูมไปทุกครั้ง

การทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 225 ชั่วโมง (80 วัฏจักรทำงาน) สามารถเทียบเป็นระยะทางเทียบเท่าประมาณ 20,000 กิโลเมตร หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบผสม

ดีเซลอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบผลของสมรรถนะที่ได้หลังการทดสอบความทนทานกับก่อนการทดสอบความทนทาน ดังที่จะได้แสดงในหัวข้อถัดไป

3.3.3 วิธีการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์หลังทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

วิธีการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์หลังจากการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ ใช้อุปกรณ์ในการทดสอบชุดเดียวกับหัวข้อที่ 3.2.3 และมีวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบสมรรถนะก่อนการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ในหัวข้อที่ 3.2.4 และ 3.2.5 โดยการทดสอบในส่วนนี้จะใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเพียงอย่างเดียวเพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ระหว่างค่าก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

3.3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการนำเครื่องยนต์ไปใช้ขับเคลื่อนรถยนต์ทดสอบเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการนำไปใช้ขับเคลื่อนรถยนต์ทดสอบประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

(ก) รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นคันเดียวกับที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นก่อนการทดสอบความทนทานตามหัวข้อที่ 3.2.1 ในการทดสอบส่วนนี้ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงตลอดระยะเวลาทดสอบ

(ข) อุปกรณ์วัดค่าควันดำ

การทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการนำไปใช้ขับเคลื่อนรถทดสอบจริงได้มีการวัดค่าควันดำจากไอเสียตลอดการทดสอบโดยใช้เครื่องวัดควันดำ (Diesel smoke meter) ยี่ห้อ BOSCH ประกอบด้วย เครื่องเก็บตัวอย่างควัน (Diesel smoke tester) รุ่น ETD 020.00 (รูปที่ 3-26 ซ้าย) และเครื่องอ่านค่าควันดำ (Diesel smoke evaluator) รุ่น ETD 020.50 (รูปที่ 3-26 ขวา)



รูปที่ 3-26 ชุดเครื่องมือวัดค่าควันดำ ประกอบไปด้วยปั๊มดูดไอเสีย รุ่น ETD 020.00 (ซ้าย)
เครื่องอ่านค่าควันดำ รุ่น ETD 020.50 (ขวา)

อุปกรณ์วัดค่าควันดำ เป็นแบบกระดาษกรอง ยี่ห้อ BOSCH ดังแสดงในรูปที่ 3-26 (ซ้าย) ประกอบด้วย ปั๊มดูดไอเสีย รุ่น ETD 020.00 เป็นเครื่องมือเก็บตัวอย่างค่าควันดำจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ภายในตัวปั๊มประกอบด้วย

- กระบอกปั๊ม ภายในมีลูกสูบที่มีปลายช่องสำหรับใส่กระดาษกรอง
- สปริงคั่นชักรอกจากลูกสูบ(ตัวสปริงถูกหุ้มด้วยปลอกยาง)
- ลูกยางบีบ มีท่อต่อลมเข้ากับตัวลิคคสปริง ที่หัวกระบอกปั๊ม
- หัวดูดไอเสีย (Exhaust – Sample Pickup) ประกอบด้วยอุปกรณ์ยึดติดกับท่อไอเสีย และท่อลมสำหรับแก๊สไอเสียผ่านเข้ากระบอกสูบ

ส่วนเครื่องอ่านค่าควันดำ ดังแสดงในรูปที่ 3-26 (ขวา) รุ่น ETD 020.50 เป็นเครื่องอ่านค่าความเข้มชั้นของเขม่าดำบนกระดาษกรองแสดงค่าด้วยตัวเลขดิจิทัลเรืองแสง มีสเกลอยู่ระหว่างที่ 0.0– 10.0 เมื่อตัวเลขแสดงค่า 0 มีความหมายว่าผิววัดที่ทดสอบนั้นขาวบริสุทธิ์ ถ้าตัวเลขแสดงค่า 10 หมายความว่าผิววัดที่ทดสอบนั้นดำสนิท หรือมีความดำ 100% ในหัวอ่านค่าควันดำ ภายในจะประกอบด้วย Photo Element รูปวงแหวนตรงกลางมีหลอดไฟ และมีสายสัญญาณส่งเข้าเครื่องอ่านค่า หลักการทำงานคือเมื่อกดสวิทช์อ่านค่า หลอดไฟจะติด แสงที่พุ่งออกไปเมื่อกระทบกับผิววัด (กระดาษกรอง) จะมีการสะท้อนกลับ Photo Element จะรับแสงสะท้อนนั้นแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าผ่านตามสายไฟฟ้าไปยังตัวอ่านค่าควันดำและแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลขเรืองแสง ในกรณีที่กระดาษกรองขาวบริสุทธิ์ แสงจะสะท้อนกลับมาหมด Photo Element จะส่งสัญญาณเป็นกระแสไฟเต็มๆ ตัวเลขจะแสดงค่า 0 ถ้ากระดาษกรองดำสนิท

จะดูคลื่นแสงไว้ทั้งหมด ไม่มีการสะท้อนกลับ จึงไม่มีสัญญาณไฟส่งไปยังเครื่องวัด ตัวเลขจะแสดงค่า 10

(ค) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยการขับเคลื่อนรถยนต์ทดสอบด้วยความเร็วคงที่ จะกระทำหลังจากสิ้นสุดการทดสอบความทนทานครบระยะทางที่กำหนดประมาณ 10,000 กิโลเมตร ซึ่งจะดำเนินการทดสอบเช่นเดียวกับขั้นตอนการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถยนต์ทดสอบในหัวข้อที่ 3.2.2

3.3.5 วิธีการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร

เมื่อสิ้นสุดการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบเป็นระยะเวลา 225 ชั่วโมง ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ โดยการนำเครื่องยนต์ไปใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร เพื่อติดตามผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมจริงที่มีต่อคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นและวัดค่าควันดำตลอดช่วงระยะทางที่ทดสอบภายใต้สภาวะการใช้งานปกติ รายละเอียดของการทดสอบมีดังต่อไปนี้

ก่อนเริ่มทดสอบในแต่ละวัน จะต้องตรวจสอบสภาพความพร้อมของรถยนต์ทดสอบ โดยแบ่งเป็น การตรวจสอบภายในห้องเครื่องยนต์ การตรวจอุปกรณ์ในห้องโดยสารและการตรวจความเรียบร้อยของสิ่งของบรรทุกในกระบะท้าย

การตรวจสอบภายในห้องเครื่อง ได้แก่ การตรวจระดับของน้ำมันหล่อลื่น น้ำหล่อเย็น ระดับน้ำมันเบรก คลัช การรั่วซึมของน้ำมันที่ตำแหน่งต่างๆ ความตึงของสายพาน เสียงหรือสิ่งผิดปกติอื่นๆ ที่เกิดขึ้น เป็นต้น

การตรวจอุปกรณ์ในห้องโดยสาร ได้แก่ การทดสอบอุปกรณ์แสงสว่างภายในไฟสัญญาณต่างๆ กระดาษจดบันทึกข้อมูล ไฟฉาย เกจวัดลมยาง เป็นต้น

การตรวจสอบการบรรทุกของในกระบะท้าย ซึ่งบรรทุกน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาดเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงระหว่างการทดสอบ โดยใช้ถังขนาด 70 ลิตร 2 ถัง และแกลลอนขนาด 5 ลิตร จำนวน 12 แกลลอน ต้องผูกมัดอย่างแน่นหนาเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ไปมาซึ่งอาจทำให้เกิดอันตรายได้ และการตรวจสอบวัดความดันลมยาง (กำหนดให้มีความดันเท่ากับ 35 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของผู้ขับและผู้โดยสารตลอดการทดสอบ

ในแต่ละวันที่ทดสอบ จะทำการวัดค่าควันดำที่ออกจากท่อไอเสีย โดยการอุ่นเครื่องยนต์ที่รอบเดินเบาจนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นมีค่าเท่ากับ 90 °C ซึ่งเป็นที่อุณหภูมิเหมาะสมสำหรับการใช้งานเครื่องยนต์ตามคำแนะนำของผู้ผลิต การวัดค่าควันดำที่ออกจากท่อไอเสียทำได้โดยใส่หัวดูดไอเสีย(ที่ตำแหน่งเดียวกันทุกครั้ง) เข้าไปที่ปลายท่อไอเสีย จากนั้นเหยียบคันเร่งตำแหน่งมากที่สุดพร้อมกับบีบลูกยางเพื่อดูดตัวอย่างไอเสียผ่านกระดาษกรอง ทำการทดสอบซ้ำในลักษณะเดียวกันจำนวน 3 ครั้ง ก่อนเริ่มต้นทดสอบ

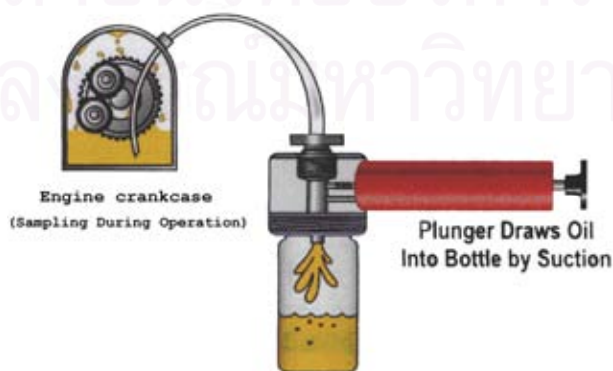
ในแต่ละวันจะขับรถทดสอบเป็นระยะทางประมาณ 500 กิโลเมตร ความเร็วที่ใช้ในการขับอยู่ในช่วงการใช้งานปกติ (ไม่เกิน 120 กม./ชม.) โดยสัดส่วนการขับรถทดสอบประกอบไปด้วยการใช้งานในเมือง(city) และทางหลวงระหว่างจังหวัด(highway) ในสัดส่วน 30:70 ระหว่างการทดสอบได้ทำการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นอย่างต่อเนื่องซึ่งรายละเอียดจะแสดงในหัวข้อถัดไป

3.4 การสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

ในระหว่างการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ทั้งในส่วนของการทดสอบบนแท่นทดสอบและส่วนของการทดสอบโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถทดสอบจะมีการสูมเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นอย่างต่อเนื่องเพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติต่างๆ และปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งสามารถบอกถึงลักษณะของการสึกหรอที่เกิดขึ้นภายในเครื่องยนต์ว่าเกิดสิ่งผิดปกติหรือไม่ รายละเอียดและวิธีที่ใช้ในการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นมีดังต่อไปนี้

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นเป็นอุปกรณ์พิเศษที่สามารถดูดน้ำมันหล่อลื่นจากอ่างน้ำมันเครื่องผ่านทางรูเหล็กวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น ดังแสดงในรูปที่ 3-27



รูปที่ 3-27 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

3.4.2 วิธีการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น

ขั้นตอนการสูมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นทั้งในระหว่างขั้นตอนการทดสอบความทนทานบนแท่นและโดยการขับซึ่งจริงใช้วิธีการเดียวกันคือ สูมตัวอย่างผ่านทางรูเหล็กวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบเดินเบา (ประมาณ 900 รอบต่อนาที) ที่อุณหภูมิการทำงานปกติของเครื่องยนต์ โดยในแต่ละครั้งจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร หลังจากการสูมเก็บตัวอย่างน้ำมันแล้วจะทำการเติมน้ำมันใหม่กลับคืนในปริมาตรที่เท่ากับการสูมตัวอย่างไปทุกครั้ง ช่วงเวลาในการสูมน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบแสดงได้ในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 แสดงรายละเอียดการสูมน้ำมันหล่อลื่นช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

NO.	วัฏจักรการทำงาน ของเครื่องยนต์	ชั่วโมงการทำงาน ของน้ำมันหล่อลื่น	ครั้งที่สูม ตัวอย่าง	หมายเหตุ
1	ถ่ายน้ำมันเครื่อง เปลี่ยนไส้กรองน้ำมันเครื่อง เริ่มการทดสอบ			
2	7	21	1	
3	14	42	2	
4	19	57	3	
5	ก่อนเริ่มวัฏจักรที่ 20 ถ่ายน้ำมันเครื่องและเปลี่ยนไส้กรองน้ำมันเครื่อง			
6	24	15	1	
7	29	27	2	
8	34	42	3	
9	39	57	4	
10	ก่อนเริ่มวัฏจักรที่ 40 ถ่ายน้ำมันเครื่อง เปลี่ยนไส้กรองน้ำมันเครื่องและไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง			
11	44	15	1	
12	49	27	2	
13	54	42	3	ก่อนเริ่มวัฏจักรที่ 55 มีการเปลี่ยนฝาสูบและเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง
14	59	57	4	
15	ก่อนเริ่มวัฏจักรที่ 60 ถ่ายน้ำมันเครื่องและเปลี่ยนไส้กรองน้ำมันเครื่อง			
16	64	31	1	
17	69	46	2	
18	74	61	3	
19	77	70	4	
20	79	76	5	
21	83	83	6	เกินอายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น

ส่วนรายละเอียดของการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นระหว่างขั้นตอนการทดสอบความทนทานโดยการขับซึ่งจริงเป็นระยะทาง 11,400 กิโลเมตร แสดงได้ดังตารางที่ 3-4 ดังนี้

ตารางที่ 3-4 แสดงรายละเอียดของการสุ่มน้ำมันหล่อลื่นช่วงการทดสอบโดยการขับจริง

NO.	ชั่วโมงการทำงานของเครื่องยนต์ (ระยะทาง)	ชั่วโมงการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น (กิโลเมตร)	ครั้งที่สุ่มตัวอย่าง	หมายเหตุ
1	ถ่ายน้ำมันเครื่อง เปลี่ยนไส้กรองน้ำมันเครื่อง เริ่มการทดสอบ			
2	3100	3100	1	
3	4100	3100	2	
4	5200	5200	3	
5	ถ่ายน้ำมันเครื่องและเปลี่ยนไส้กรองน้ำมันเครื่อง			
6	9470	4270	1	
7	10468	5268	2	
8	11400	6200	3	จบการทดสอบโดยการขับจริง

3.5 การวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น

3.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นในงานวิจัยนี้ใช้วิธีวัดจากก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่นหรือวิธี (Dip Stick Method หรือ Level – Top – Up Method) [31] เป็นการวัดระดับของน้ำมันหล่อลื่นด้วยก้านวัดระดับน้ำมัน ส่วนปริมาณน้ำมันที่สูญเสียก็จะมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำมันที่เติมกลับไปโดยใช้กระบอกลง

3.5.2 การวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น

การวัดระดับของน้ำมันหล่อลื่นด้วยวิธีนี้ต้องทำขณะที่เครื่องยนต์หยุดทำงานเป็นเวลานาน เพื่อให้ น้ำมันที่อยู่บนผนังห้องเผาไหม้และส่วนต่างๆ ไหลกลับมารวมที่อ่างน้ำมันหล่อลื่น และอุณหภูมิในการวัดต้องอยู่ที่อุณหภูมิบรรยากาศปกติ การวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่นทำได้โดย เมื่อเครื่องยนต์ผ่านการใช้งานระดับน้ำมันหล่อลื่นลดลงจากตำแหน่งที่อ้างอิงที่กำหนดไว้ ทำการเติมน้ำมันหล่อลื่นให้ระดับน้ำมันอยู่ตรงกับระดับอ้างอิงที่กำหนดไว้ ซึ่งก็จะเท่ากับปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่สูญเสียไป ในงานวิจัยนี้ได้เทียบมาตรฐาน(calibrate) ก้านวัดน้ำมันหล่อลื่นไว้ด้วยเพื่อให้เกิดความถูกต้องของปริมาณที่เติมลงไปให้มากที่สุด การเทียบมาตรฐานทำโดยตวงน้ำมันหล่อลื่นใส่อ่างน้ำมันที่วางอย่างได้ระดับด้วยกระบอกลงที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน ณ อุณหภูมิห้องปกติ

บทที่ 4

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบซึ่งจะประกอบไปด้วย อุณหภูมิการอุ่น CPO ก่อนการผสมและผลการทดสอบหาส่วนผสม การตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ รวมถึงการแบ่งชนิดของเชื้อเพลิง และการควบคุมคุณภาพ



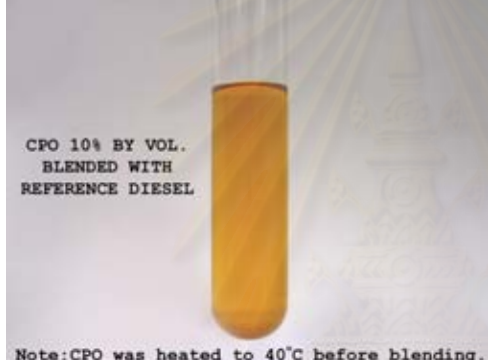

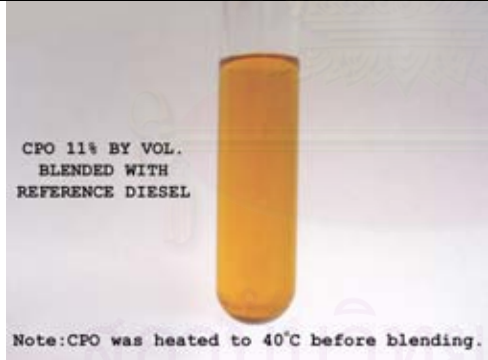

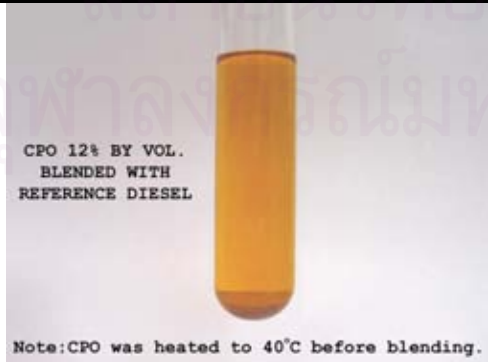

4.1 ผลการทดสอบส่วนผสมของเชื้อเพลิง

จากการทดสอบผลของอุณหภูมิน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมและสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการผสมของน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำมันดีเซลด้วยการตรวจพินิจปริมาณตะกอนที่อยู่ในหลอดแก้วที่ตั้งทิ้งไว้หลังการผสม และจากการตรวจวัดปริมาณตะกอนหลังจากนำไปผ่านกระบวนการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นหลังจากเก็บน้ำมันผสมทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือนสามารถสรุปผลได้ดังนี้



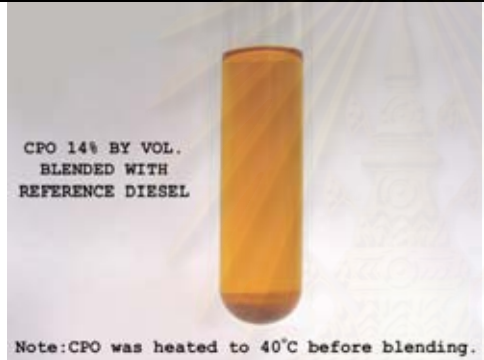
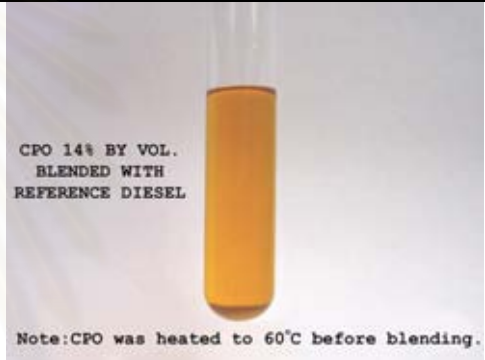
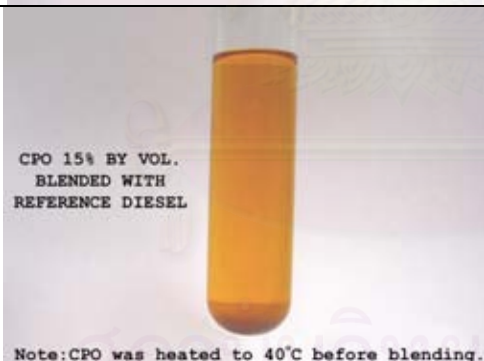


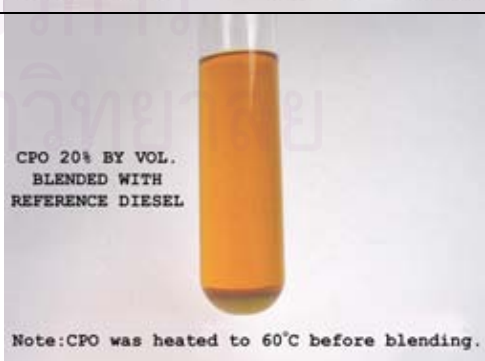
ปริมาณตะกอนในทุกส่วนผสมของการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมตั้งแต่ 60°C ขึ้นไป น้อยกว่าปริมาณตะกอนในทุกส่วนผสมของการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสม 40°C และพบว่า ณ อุณหภูมิน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสม 60°C สามารถเห็นปริมาณตะกอนได้ชัดเจนในปริมาณที่มากเมื่อปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่นำมาผสมมีปริมาณตั้งแต่อัตราส่วนผสมที่ 13% ขึ้นไป

ผลจากการนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลผ่านกระบวนการเหวี่ยงหนีศูนย์กลางพบว่า ตะกอนจะถูกแรงเหวี่ยงอัดชิดปลายหลอดแก้ว จากการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นพบว่าการเพิ่มส่วนผสมของน้ำมันปาล์มดิบ จะทำให้ตะกอนที่ก้นหลอดมีปริมาณมากขึ้นตามปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่เพิ่มขึ้น และพบว่าตะกอนนี้จะมีปริมาณลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นก่อนการผสมมีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 4-1 ภาพแสดงการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำมันดีเซลอ้างอิงระหว่างการใช้อุณหภูมิการอุ่นปาล์มดิบก่อนการผสมที่ 40°C และ 60°C ที่ส่วนผสมต่างๆ

	อุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ 40°C	อุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ 60°C
น้ำมันปาล์มดิบ 9%	 <p>CPO 9% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 40°C before blending.</p>	 <p>CPO 9% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 60°C before blending.</p>
น้ำมันปาล์มดิบ 10%	 <p>CPO 10% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 40°C before blending.</p>	 <p>CPO 10% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 60°C before blending.</p>
น้ำมันปาล์มดิบ 11%	 <p>CPO 11% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 40°C before blending.</p>	 <p>CPO 11% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 60°C before blending.</p>
น้ำมันปาล์มดิบ 12%	 <p>CPO 12% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 40°C before blending.</p>	 <p>CPO 12% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 60°C before blending.</p>

ตารางที่ 4-1 (ต่อ) ภาพแสดงการเปรียบเทียบปริมาณตะกอนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำมันดีเซลอ้างอิงระหว่างการใช้อุณหภูมิการอุ่นปาล์มดิบก่อนการผสมที่ 40°C และ 60°C ที่ส่วนผสมต่างๆ

	อุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ 40°C	อุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ 60°C
น้ำมันปาล์มดิบ 13%	 <p>CPO 13% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 40°C before blending.</p>	 <p>CPO 13% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 60°C before blending.</p>
น้ำมันปาล์มดิบ 14%	 <p>CPO 14% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 40°C before blending.</p>	 <p>CPO 14% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 60°C before blending.</p>
น้ำมันปาล์มดิบ 15%	 <p>CPO 15% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 40°C before blending.</p>	 <p>CPO 15% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 60°C before blending.</p>
น้ำมันปาล์มดิบ 20%	 <p>CPO 20% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 40°C before blending.</p>	 <p>CPO 20% BY VOL. BLENDED WITH REFERENCE DIESEL</p> <p>Note:CPO was heated to 60°C before blending.</p>

เมื่อนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการทดสอบมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 6 เดือน แล้วทำการตรวจสอบพบว่าปริมาณไขและตะกอนเพิ่มขึ้นจนสามารถเปรียบเทียบผลของปริมาณที่เกิดขึ้นได้ ดังแสดงในตารางที่ 4-2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่ใช้อุณหภูมิอุ่นปาล์มดิบก่อนการผสม 40°C มีปริมาณไขและตะกอนเกิดขึ้นมาก และปริมาณและตะกอนมีน้อยที่อุณหภูมิปาล์มดิบก่อนการผสม 60 °C และปริมาณไขและตะกอนจะมีแนวโน้มที่มากขึ้นตามส่วนผสมของน้ำมันปาล์มดิบที่มากขึ้น สรุปได้ว่าแนวโน้มของการเกิดไขจากการเก็บรักษามีแนวโน้มเดียวกับปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นหลังการผสมน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล

ตารางที่ 4-2 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณไขและตะกอนที่เกิดขึ้นหลังเก็บน้ำมันเป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้องระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ 40°C และ 60°C

NO.	อุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ 40°C					
	9% CPO		10% CPO		11% CPO	
	ปริมาณตะกอน	(%vol)	ปริมาณตะกอน	(%vol)	ปริมาณตะกอน	(%vol)
1	0.5	5.00	0.6	6.00	0.65	6.50
2	0.5	5.00	0.5	5.00	0.6	6.00
3	0.5	5.00	0.5	5.00	0.6	6.00
Avg.		5.0		5.3		6.2
NO.	อุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ 60°C					
	9% CPO		10% CPO		11% CPO	
	ปริมาณตะกอน	(%vol)	ปริมาณตะกอน	(%vol)	ปริมาณตะกอน	(%vol)
1	0.2	2.00	0.15	1.50	0.4	4.00
2	0.15	1.50	0.35	3.50	0.5	5.00
3	0.15	1.50	0.1	1.00	0.5	5.00
Avg.		1.7		2.0		4.7

จากผลดังกล่าวข้างต้นน้ำมันปาล์มดิบ 10% ผสมกับน้ำมันดีเซล 90% จึงเป็นส่วนผสมที่ ถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้เนื่องจาก เพราะว่าเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณตะกอนไม่มากนักและสะดวก ในการผสม อุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมเท่ากับ 60°C เนื่องจากมีปริมาณ ของตะกอน และปริมาณการเกิดไขเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลาที่น้อยกว่าจากการอุ่นที่ อุณหภูมิ 40°C และพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนการผสมนั้นยิ่งมากก็ยังมี แนวน้ำมันที่จะทำให้เกิดไขตะกอนหลังจากการผสมจะลดลงอย่างไรก็ตาม 60°C เป็นอุณหภูมิที่ไม่ สูงจนเกินไปนักและเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ทำให้ไขในน้ำมันปาล์มดิบละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้

4.2 รูปแบบน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้แบ่งเชื้อเพลิงตามรูปแบบการทดสอบออกเป็นสองชนิด คือ เชื้อเพลิง สำหรับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงสำหรับทดสอบความทนทาน

รูปแบบการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์นั้นแตกต่างไปจากรูปแบบการทดสอบความ ทนทาน โดยการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์นั้นเป็นการศึกษาในเชิงคุณภาพ ซึ่งต่างจากการ ทดสอบความทนทานซึ่งเป็นการทดสอบในเชิงปริมาณ

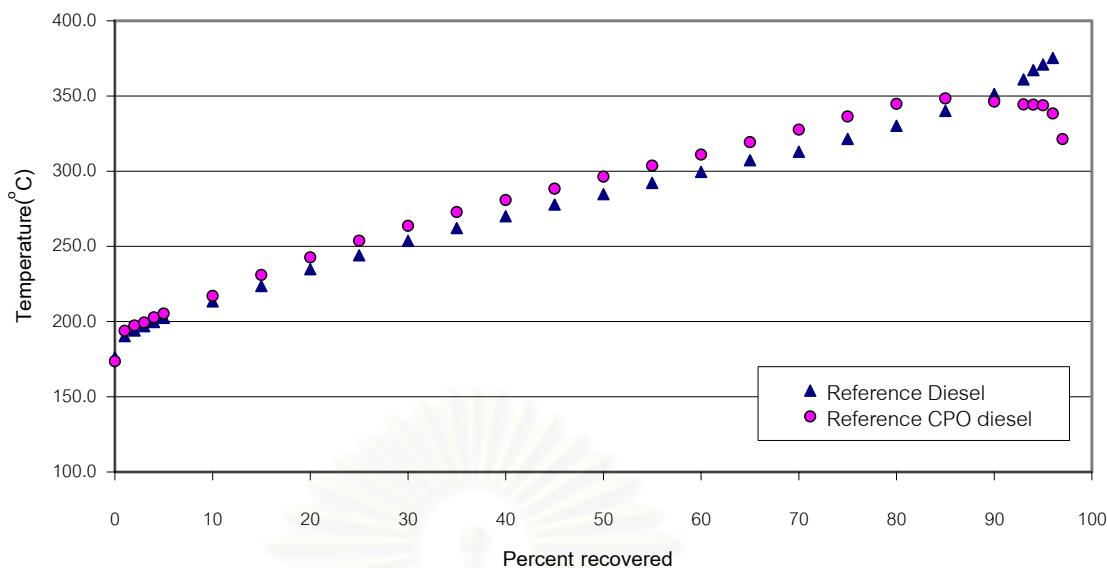
ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์นั้นได้ดำเนินการทดสอบภายใต้สภาวะที่ถูก ควบคุม เนื่องจากการทดสอบกระทำในช่วงเวลาสั้นๆและมีค่าใช้จ่ายสูงดังนั้นจะต้องทำการ ทดสอบอย่างด้วยความระมัดระวังเป็นอย่างมากเพื่อให้ผลที่ได้ออกมามีความเที่ยงตรงและแม่นยำ และจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงอ้างอิงจากแหล่งเดียวกันตลอดทั้งน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลและน้ำมัน ดีเซล เพื่อที่จะนำผลมาเปรียบเทียบกันได้ ซึ่งคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและ น้ำมันดีเซลอ้างอิงที่ใช้ในการนำมาผสมกับน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการทดสอบนี้ แสดงดังตารางที่ 4-3

จากตารางที่ 4-3 จะเห็นได้ว่าน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าความหนาแน่นและค่า ความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 1% และ 2.6 % ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความร้อนและค่า cetane number มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 2.1% และ 6.5% ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติ ของน้ำมันปาล์มดิบที่มีค่าความหนาแน่นและความหนืดที่สูงกว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงและ ค่า cetane number ที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ยังพบว่า ค่ากากคาร์บอน(carbon residue) และปริมาณขี้เถ้า(ash) ของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลอ้างอิง ส่วน ค่าความสามารถในการหล่อลื่น(HFRR) ของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีคุณสมบัติที่ดีกว่า น้ำมันดีเซลอ้างอิงเล็กน้อย ค่าความเป็นกรดรวมของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าสูงกว่า น้ำมันดีเซลอ้างอิง

ตารางที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ระหว่างน้ำมันดีเซลอ้างอิง กับน้ำมันปาล์มดิบผสมน้ำมันดีเซลอ้างอิง

Properties	Unit	Test Method	Reference Diesel	Reference CPO/Diesel	Thailand Diesel Specification
Specific Gravity @ 15.6/15.6 °C		ASTM D1298	0.8266	0.8360	0.810 – 0.870
Cetane Index		ASTM D976	58.9	-	47 min.
Cetane number		ASTM D613	59.3	55.4	47 min.
Viscosity @ 40 °C	CST	ASTM D445	3.10	3.910	1.8 – 4.1
Pour point	°C	ASTM D97	-3	-6	10 max.
Sulfer content	%wt.	ASTM D4294	0.040	-	0.05 max.
Copper strip corrosion number	Number	ASTM D130	1a	1a	1a
Carbon residue	%wt.	ASTM D4530	< 0.001	0.039	0.05 max.
Water and sediment	%vol	ASTM D2709	Trace	0.025	0.05 max.
Ash, %wt.		ASTM D482	< 0.001	0.002	0.01 max.
Flash point	°C	ASTM D93	70	73	52 min.
Distillation		ASTM D86			
90 % recovered	°C		350.6	346.2	350 max.
Colour		ASTM D1500	L0.5	-	-
Lubricity by HFRR	µm	CEC F-06-A-96	522 (+ LA = 398)	209	460 max.
Total Acid Number		ASTM D974	0.04	1.02	-
Gross heating value	J/g		45,968	44,982	44,500 min.

จากนั้นนำส่วนผสมที่เลือกใช้มาทำการทดสอบการกลั่นตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มดิบ 10% ผสมดีเซลอ้างอิง 90% มีอุณหภูมิของการกลั่นตัว (Distillation Curve) สูงกว่าอุณหภูมิการกลั่นตัวของน้ำมันดีเซลอ้างอิง ซึ่งหมายความว่าที่อุณหภูมิเดียวกันน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงจะมีปริมาณของไอที่ได้จากการระเหยของน้ำมันในปริมาณที่น้อยกว่า และช่วงปลายของการกลั่นตัวพบว่าในน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง ได้เกิดการแตกตัว (Cracking) เป็นโครงสร้างที่เล็กลงทำให้อุณหภูมิการกลั่นตัวของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าลดลง ซึ่งรวมถึงค่า T90 ด้วย



รูปที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการกลั่นตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ของน้ำมันดีเซลอ้างอิงและปาล์มดิบผสมน้ำมันดีเซลอ้างอิง ตามมาตรฐาน ASTM D86

ในการทดสอบความทนทานนั้นเป็นการทดสอบที่ต้องดำเนินการเป็นระยะเวลาาน การทดสอบนี้จึงต้องใช้เชื้อเพลิงเป็นจำนวนมากประกอบกับการหาน้ำมันที่มาจากแหล่งเดียวกัน และเพื่อใช้ในการทดสอบตลอดโครงการจำเป็นต้องมีสถานที่จัดเก็บซึ่งไม่สามารถกระทำได้และ เพื่อเป็นการจำลองการนำแนวคิดสูตรเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะไปปฏิบัติจริงตลอดจน ศึกษาการสึกหรออันรวมผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการแกว่งของค่าคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลที่มี ในท้องตลาดซึ่งมาจากแหล่งและ/หรือวาระ (batch) ที่ต่างกัน ดังนั้นเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบนี้ จึงควบคุมเฉพาะวิธีการผสมโดยที่ไม่ควบคุมแหล่งหรือ batch ในขั้นตอนการผสมนั้นน้ำมันปาล์มดิบจะถูกนำมาทำให้ร้อนจนกระทั่งน้ำมันปาล์มดิบใส ที่อุณหภูมิประมาณ 60°C จากนั้นนำน้ำมันปาล์มดิบมาผสมกับน้ำมันดีเซลในภาชนะที่ได้เตรียมไว้ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล อนึ่งในการทดสอบความทนทานนี้ จะใช้น้ำมันผสมดังกล่าวควบคู่กับน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง ดังรายละเอียดดังนี้

1. น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง น้ำมันชนิดนี้จะถูกใช้สำหรับการวัดค่าสมรรถนะ และการวัดค่าไอเสีย
2. น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล เป็นน้ำมันผสมที่ถูกผสมเองโดยผู้ใช้น้ำมันผสมชนิดนี้จะถูกใช้สำหรับการทดสอบความทนทาน

บทที่ 5

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ทั้งการทดสอบสมรรถนะและการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1.ผลการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เบื้องต้น 2.ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ

1. ผลการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เบื้องต้น(เป็นการทดสอบหลังจากการ run-in) ทำให้สามารถเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลข้างอิงและน้ำมันดีเซลข้างอิงเมื่อนำเครื่องยนต์มาใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กด้วยความเร็วคงที่ ดังมีรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.1.1
2. ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ ทำให้สามารถเปรียบเทียบค่าแรงบิดเบรกแก้ไข อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไข และอุณหภูมิไอเสีย จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลข้างอิงและน้ำมันดีเซลข้างอิงที่ความเร็วรอบคงที่และสภาวะคงตัว โดยแบ่งเป็นผลการทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด และที่สภาวะภาระบางส่วน ดังมีรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.1.2 และ 5.1.3 ตามลำดับ

ผลการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดเป็นเชื้อเพลิงตลอดการทดสอบ แบ่งตามสภาวะการใช้งานเป็น 2 ส่วน คือ 1.ผลการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ทำงานต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 225 ชั่วโมง ภายใต้วัฏจักรภาระจำลองที่กำหนดบนแท่นทดสอบ 2.ผลการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ด้วยการนำไปใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กภายใต้ลักษณะของการทำงานปกติในสิ่งแวดล้อมจริงเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร

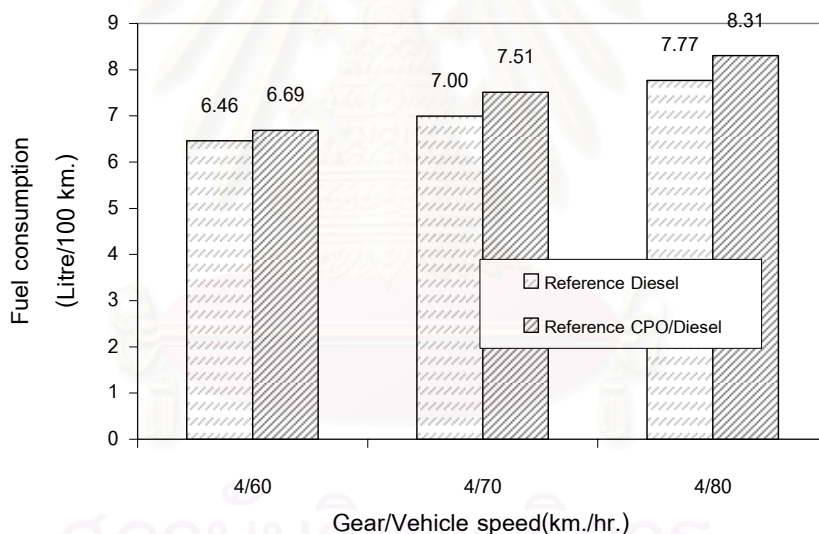
1. ผลการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ ทำให้สามารถเปรียบเทียบค่าแรงบิดเบรก อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ อุณหภูมิไอเสีย อุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่น และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.2
2. ผลการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ด้วยการนำไปใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็ก ทำให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นภายใต้ลักษณะของการทำงานปกติในสิ่งแวดล้อมจริงดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.6

5.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในส่วนแรกเป็นการทดสอบเบื้องต้นด้วยการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถยนต์ทดสอบด้วยความเร็วคงที่ ระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง ผลการทดสอบมีดังต่อไปนี้

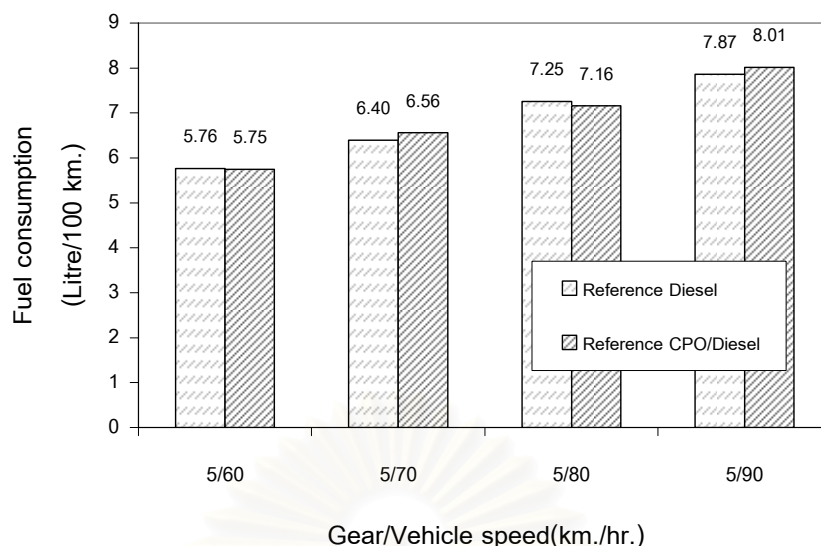
5.1.1 ผลการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถยนต์ทดสอบด้วยความเร็วคงที่

ผลการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถยนต์ทดสอบด้วยความเร็วคงที่ แบ่งเป็นการทดสอบด้วยการขับที่อัตราทดเกียร์ 4 ความเร็ว 60 , 70 , และ 80 กม./ชม. และที่อัตราทดเกียร์ 5 ความเร็ว 60 , 70 , 80 และ 90 กม./ชม.แสดงได้ดังรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ



รูปที่ 5-1 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ย เมื่อการขับความเร็วคงที่ด้วยอัตราทดเกียร์ 4 เมื่อน้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง

จากรูปที่ 5-1 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเทียบกับน้ำมันดีเซลอ้างอิง เมื่อขับรถยนต์ทดสอบความเร็วคงที่ ด้วยอัตราทดเกียร์ 4 ผลการทดสอบพบว่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 2.3%, 7.2%, 6.9% ที่ความเร็ว 60, 70 และ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ



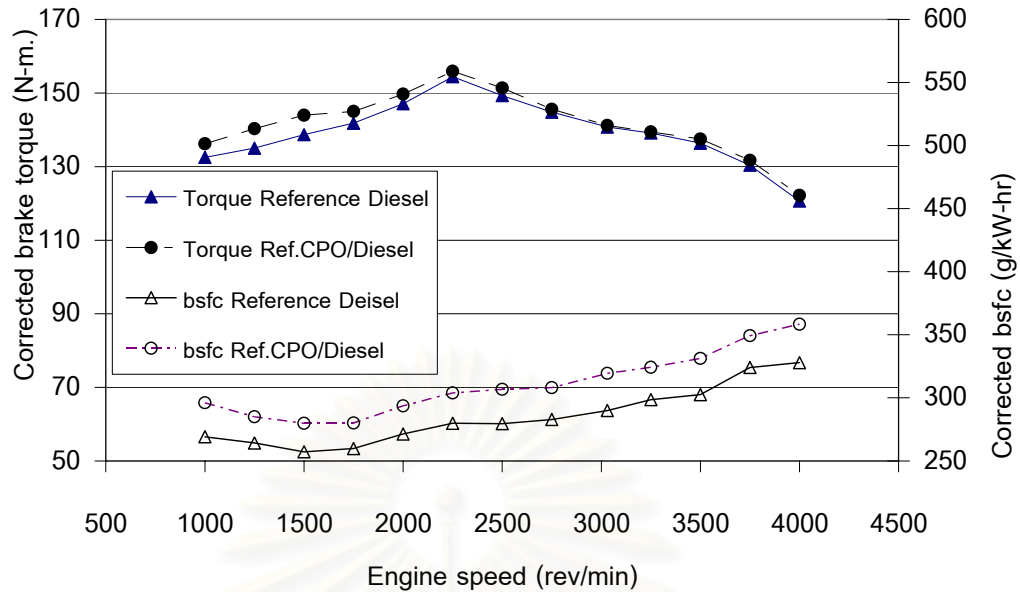
รูปที่ 5-2 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ย เมื่อขับความเร็วคงที่ด้วยอัตราทดเกียร์ 5 เมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง

จากรูปที่ 5-2 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเทียบกับน้ำมันดีเซลอ้างอิง เมื่อขับรถยนต์ทดสอบความเร็วคงที่ ด้วยอัตราทดเกียร์ 5 ผลการทดสอบพบว่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงเมื่อขับด้วยความเร็ว 60 และ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0.2% และ 1.2% ตามลำดับ การใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงจะให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงเล็กน้อยที่ความเร็ว 70 และ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 2.4% และ 1.8% ตามลำดับ

ดังนั้น จากผลการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เบื้องต้นโดยการใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถยนต์ทดสอบให้มีความเร็วคงที่ สรุปได้ว่า การใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีแนวโน้มที่จะให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิง

5.1.2 ผลของแรงบิดเบรกแก้ไข(Corrected brake torque) และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (bsfc) ที่สภาวะภาระสูงสุด

ผลการทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด แสดงค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดที่ได้และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่ความเร็วรอบทดสอบ แสดงได้ดังรูปที่



รูปที่ 5-3 แสดงค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่สภาวะคงตัวภาวะสูงสุด แต่ละความเร็วรอบของการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง

จากรูปที่ 5-3 พบว่าค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิงมีค่าไม่แตกต่างจากการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงทุกความเร็วรอบที่ทำการทดสอบ โดยค่าของแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเท่ากับ 156 นิวตัน-เมตร ที่ความเร็วรอบ 2,250 รอบต่อนาที และเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงจะให้ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดเท่ากับ 154.4 นิวตัน-เมตร ที่ความเร็วรอบเดียวกัน ในช่วงความเร็วต่ำ (1,000 ถึง 1,750 รอบต่อนาที) จะเห็นความแตกต่างของค่าแรงบิดได้เล็กน้อย โดยความแตกต่างมากที่สุดของค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิงเทียบกับเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 5.3 นิวตัน-เมตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่มากกว่าเท่ากับ 3.9 % ที่ความเร็วรอบ 1,250 รอบต่อนาที เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้นค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเป็นผลจากคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบที่มีค่าความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลจึงทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงระหว่างกระบวนการอัดในระบบปั๊มเชื้อเพลิงในปริมาณที่น้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซลและส่งผลให้เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้มากกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิง

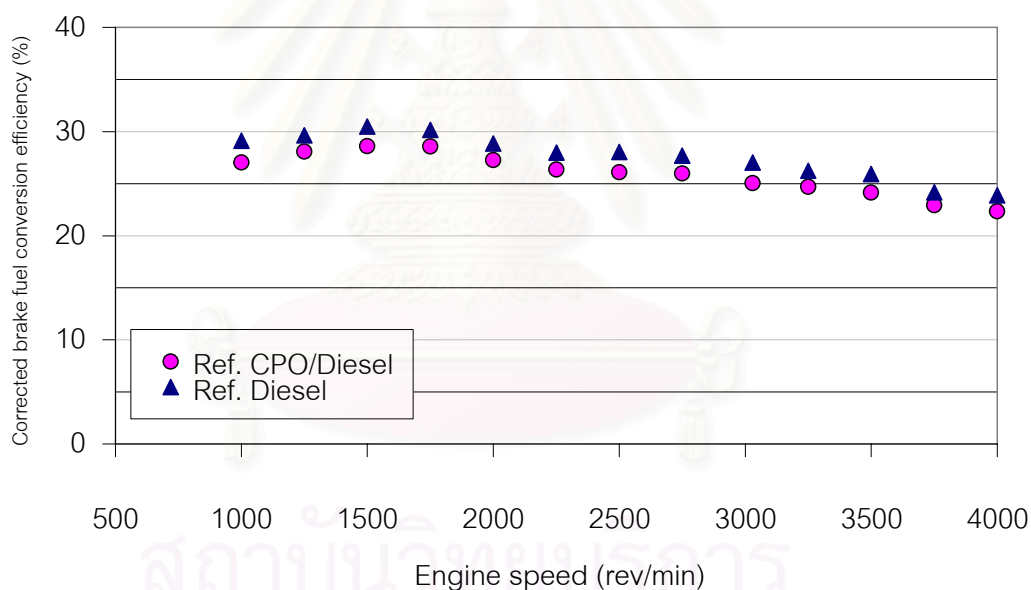
ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่สภาวะภาวะสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงให้ค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงทุกความเร็วรอบที่ทำการ

ทดสอบ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 7.8 ถึง 10.2 % เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงจะให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะต่ำสุดเท่ากับ 280 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที ส่วนน้ำมันดีเซลอ้างอิงให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะต่ำสุดเท่ากับ 257 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบเดียวกัน อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงค่อนข้างคงที่ (อยู่ในช่วง 8-10%) ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของค่าความร้อนของเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลอ้างอิงและปริมาณการฉีดที่มากกว่าในจังหวะการฉีดเดียวกัน

5.1.3 ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไข

(Corrected brake fuel conversion efficiency) ที่สภาวะภาระสูงสุด

ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิง แสดงได้ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5-4 แสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่สภาวะคงตัวภาระสูงสุด แต่ละความเร็วรอบของการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง

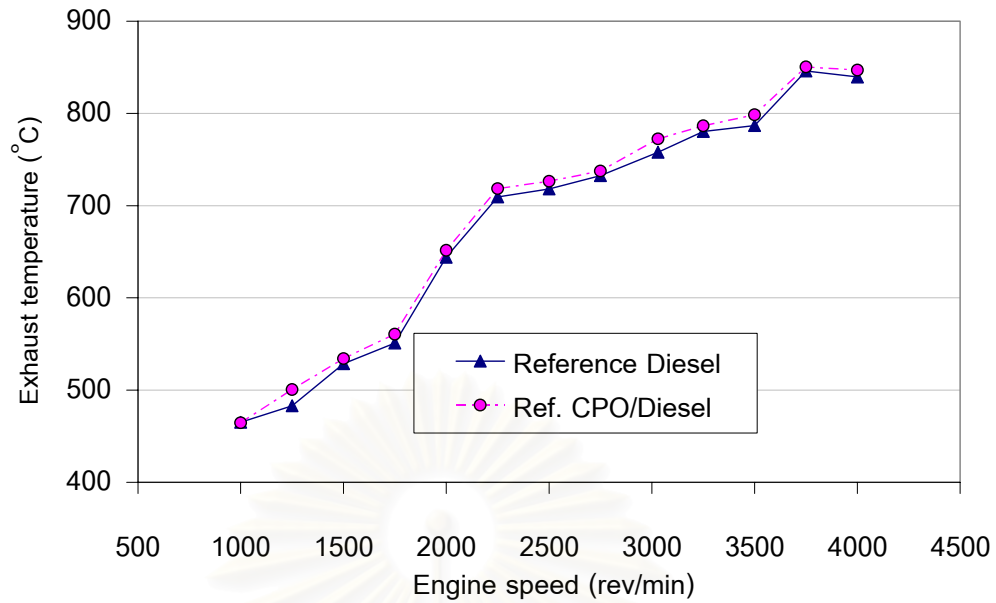
จากรูปที่ 5-4 แสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่สภาวะภาระสูงสุด พบว่า ประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิงมีค่าต่ำกว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิงประมาณ 2% ตลอดทุกช่วงความเร็วรอบที่ทำการทดสอบ ประสิทธิภาพสูงสุดของการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขจาก

การใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 28.6% ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 รอบต่อนาที ขณะที่ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขจากการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 30.5% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,500 รอบต่อนาที ซึ่งแตกต่างกัน 1.9% สรุปได้ว่าที่สภาวะภาระสูงสุดประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าต่ำกว่าประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงเล็กน้อยตลอดช่วงความเร็วที่ทำการทดสอบ

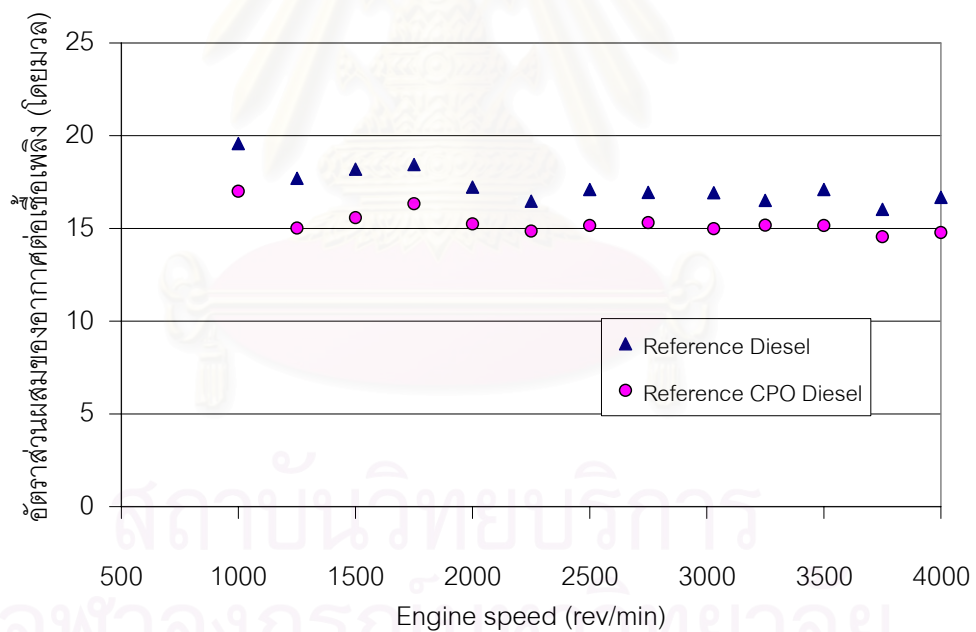
5.1.4 อุณหภูมิไอเสียและอัตราส่วนผสมโดยมวลระหว่างอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระสูงสุด

ในรูปที่ 5-5 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสียจากการใช้เชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดที่สภาวะภาระสูงสุดพบว่า อุณหภูมิไอเสียจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 8.15°C ซึ่งคิดเป็นความแตกต่างได้ 1.2% อุณหภูมิไอเสียสูงสุดจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 850°C ที่ความเร็วรอบ 3,750 รอบต่อนาที ส่วนการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงให้ค่าอุณหภูมิไอเสียสูงสุดเท่ากับ 846°C ที่ความเร็วรอบเดียวกัน ผลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงซึ่งทำให้อุณหภูมิไอเสียมีค่าสูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าสภาวะการเผาไหม้ของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีช่วงการเผาไหม้ที่ยาวนานกว่าน้ำมันดีเซลอ้างอิง ทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ในช่วงปลายของจังหวะระเบิดมีค่าสูง และอาจแสดงถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ปริมาณเชื้อเพลิงตกค้างที่ยังไม่เผาไหม้หลังช่วงจังหวะขยายมีปริมาณที่มาก ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องที่ปลายจังหวะขยายและจังหวะคาย จึงทำให้อุณหภูมิไอเสียจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิง

สำหรับอัตราส่วนผสมโดยมวลระหว่างอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่สภาวะภาระสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 5-6 พบว่ามีแนวโน้มลดลงตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มากขึ้น โดยการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงจะมีอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงอยู่ในช่วง 8 - 15% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่สภาวะภาระสูงสุด (ตำแหน่งคันเร่งเดียวกัน) การใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงทำให้มีปริมาณของเชื้อเพลิงที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้มากกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิง



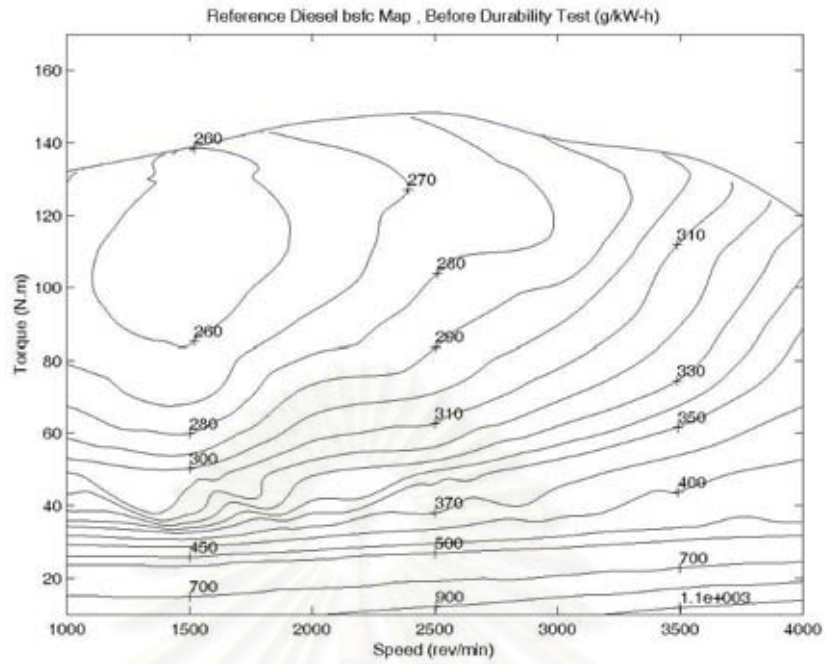
รูปที่ 5-5 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ ระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง



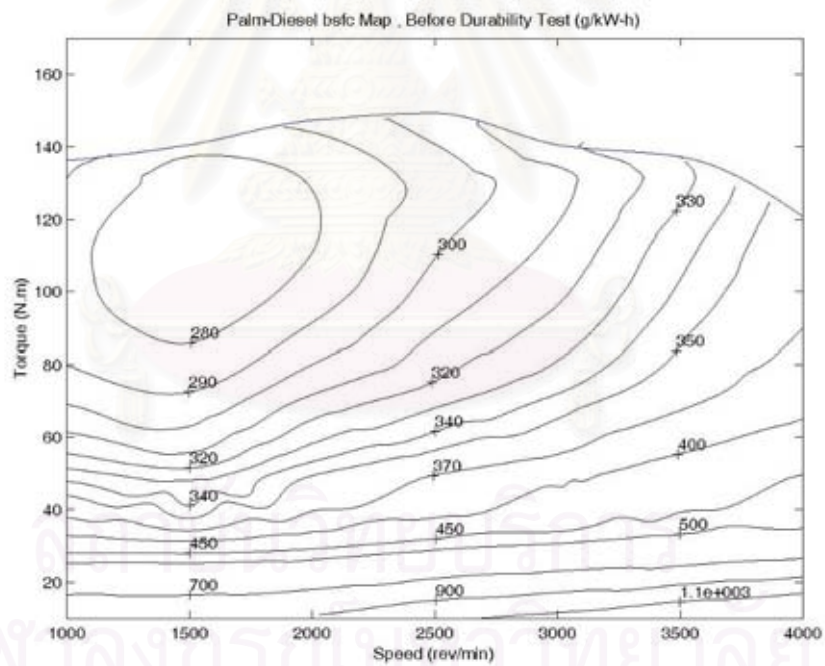
รูปที่ 5-6 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง

5.1.5 แผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map)

ผลการทดสอบที่ภาระบางส่วน (Part-Load) ก่อนการทดสอบความทนทานเพื่อวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะได้แสดงอยู่ในรูปของแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 5-7 (ก) และ (ข) เมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง ตามลำดับ เมื่อมองภาพรวมของแผนภูมิสมรรถนะ พบว่า แนวของเส้นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะคงที่เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าที่สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงตลอดทุกช่วงภาระและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ทดสอบ นั่นคือถ้าพิจารณาผลที่ตำแหน่งค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและความเร็วรอบเดียวกันการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงจะให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะต่ำกว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง เมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะต่ำสุดมีค่าประมาณ 260 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เกิดขึ้นที่บริเวณช่วงแรงบิดเบรกแก้ไขประมาณ 85 ถึง 140 นิวตัน-เมตร ช่วงความเร็วรอบประมาณ 1,100 ถึง 1,800 รอบต่อนาที ส่วนการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะต่ำสุดประมาณ 280 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เกิดขึ้นที่บริเวณช่วงแรงบิดเบรกแก้ไขประมาณ 90 ถึง 135 นิวตัน-เมตร ช่วงความเร็วรอบประมาณ 1,100 ถึง 2,000 รอบต่อนาที



(ก) น้ำมันดีเซลอ้างอิง



(ข) น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง

รูปที่ 5-7 แสดงแผนภูมิสมรรถนะแสดงค่า bsfc map ของเครื่องยนต์ ก่อนการทดสอบความทนทาน จากการใช้ (ก) น้ำมันดีเซลอ้างอิง (ข) น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง หน่วยเป็น กรัม / กิโลวัตต์-ชั่วโมง

5.1.6 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (bsfc) ที่ความเร็วรอบคงที่

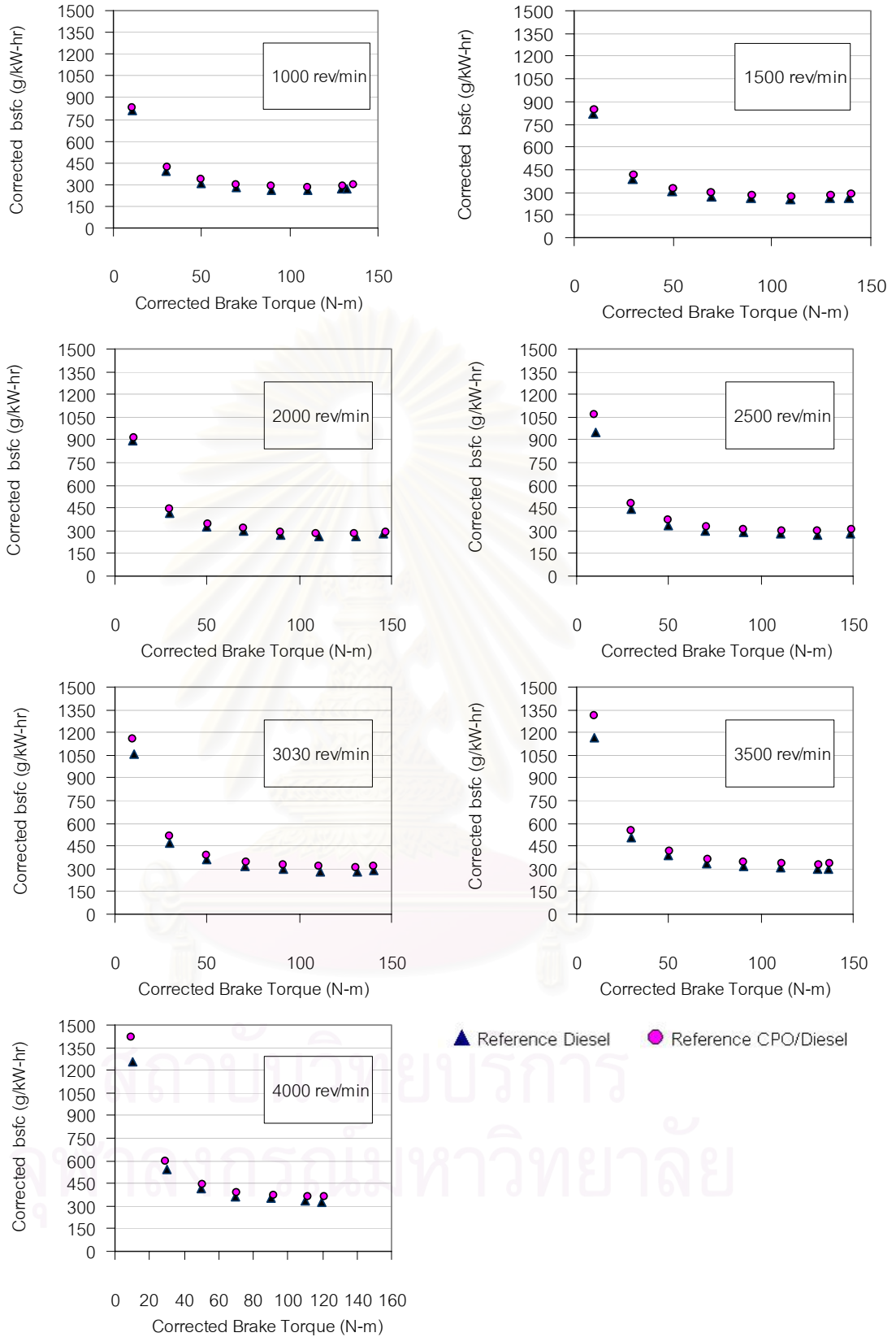
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะและค่าแรงบิดเบรกแก้ไขที่ความเร็วรอบคงที่เปรียบเทียบระหว่างค่าจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิงแสดงดังรูปที่ 5-8

รูปที่ 5-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะกับแรงบิดเบรกแก้ไขที่ความเร็วคงที่ 1,000 , 1,500 , 2,000 , 2,500 , 3,030 , 3,500 และ 4,000 รอบต่อนาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าสูงกว่าค่าจากการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงทุกความเร็วรอบทดสอบ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะต่ำสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 273 กรัม/กิโวลต์-ชั่วโมง ที่ความเร็ว 1,500 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรกแก้ไข 110 นิวตัน-เมตร ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะต่ำสุดเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 253 กรัม/กิโวลต์-ชั่วโมง ที่ความเร็วและแรงบิดเบรกแก้ไขเดียวกัน คิดเป็นความแตกต่างเท่ากับ 7.9%

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะจากการใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน ในย่านความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำจนถึงรอบปานกลาง (1,000 รอบต่อนาที ถึง 2,000 รอบต่อนาที) โดยความแตกต่างระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิด จะเห็นได้ชัดเจนที่แรงบิดต่ำ (10 นิวตัน-เมตร) ช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ปานกลางจนถึงรอบสูง (2,500 รอบต่อนาที ถึง 4,000 รอบต่อนาที)

สำหรับค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่จุดทดสอบอื่นๆ พบว่าค่าจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงสูงกว่าค่าจากการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงอยู่ในช่วง 3-12% (โดยได้เปรียบเทียบค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่จุดทดสอบเดียวกัน เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลในตารางที่ 5-0 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงจุดทำงานที่เหมาะสมสำหรับการนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมาใช้แทนน้ำมันดีเซล ตัวอย่างเช่น การใช้งานที่ความเร็วรอบต่ำและภาระต่ำ เนื่องจากให้ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง)

สรุปผลการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วนของเครื่องยนต์ได้ดังนี้คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิง โดยมีสาเหตุหลักมาจากค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง (44.982 kJ/g) ต่ำกว่าค่าความร้อนของน้ำมันดีเซลอ้างอิง (45.968 kJ/g) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ 2.15%



รูปที่ 5-8 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่ความเร็วคงที่ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง

ตารางที่ 5-0 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่เพิ่มขึ้นของอัตราการผลิตเชื้อเพลิงเบรก
จำเพาะที่จุดทดสอบเดียวกันจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเทียบการใช้
น้ำมันดีเซลอ้างอิง

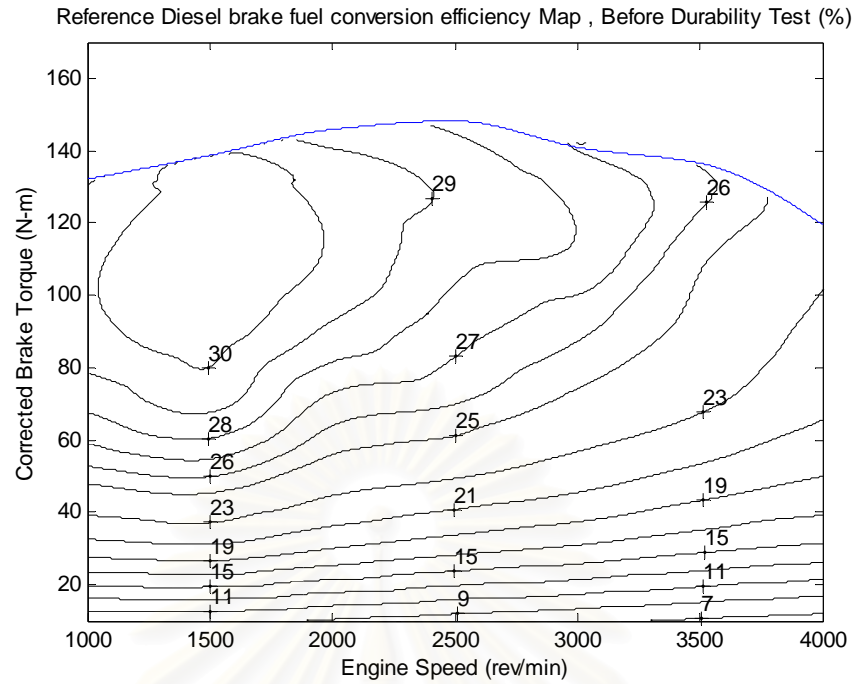
Corrected brake torque (N-m)	Engine speed (rev/min)						
	1,000	1,500	2,000	2,500	3,030	3,500	4,000
10	4.2	5.2	3.4	10.9	9.5	10.7	11.8
30	9.1	9.5	6.1	8.2	9.2	8.6	9.5
50	8.5	7.8	6.9	8.9	8.7	8.9	8.8
70	7.6	9.3	6.3	8.5	7.7	8.5	7.1
90	7.6	7.9	6.9	8.0	8.1	8.6	6.0
110	7.3	7.6	6.8	7.9	11.0	8.2	7.9

5.1.7 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่สภาวะภาระบางส่วน

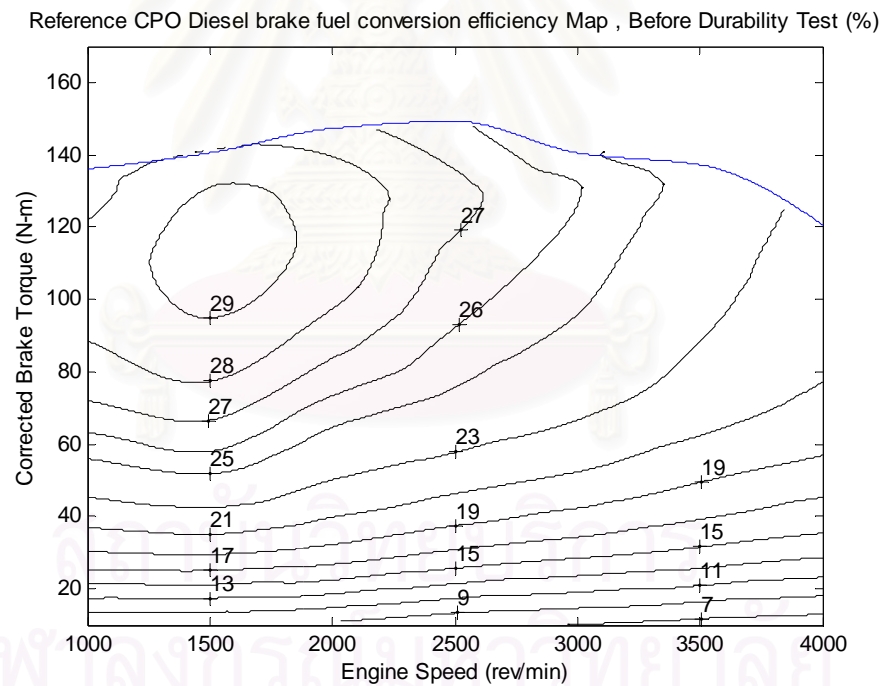
ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่สภาวะภาระบางส่วนของเครื่องยนต์ ระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง แสดงในรูปของแผนภูมิ (Map) ดังรูปที่ 5-9 (ก) และ (ข) ตามลำดับ สามารถสรุปได้ดังนี้

ก่อนการทดสอบความทนทาน เมื่อมองภาพรวมของแผนภูมิ พบว่า แนวเส้นของค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขคงที่เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลอ้างอิงตลอดทุกช่วงภาระและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ทดสอบ

ดังจะเห็นได้จากรูป 5-9(ก) ซึ่งแสดงค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิง พบว่ามีแนวเส้นของค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขเท่ากับ 30% เกิดขึ้นในขณะที่ไม่สามารถพบได้ในรูปที่ 5-9(ข) ซึ่งแสดงค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิง บริเวณค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขมีค่าประมาณ 30 % เมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงเกิดขึ้นในช่วงแรงบิดประมาณ 85 ถึง 140 นิวตัน-เมตร และความเร็วรอบประมาณ 1,100 ถึง 2,000 รอบต่อนาที ขณะที่บริเวณเดียวกันเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงพบว่ามีแนวเส้นของค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขประมาณ 28 - 29 % เท่านั้น นั่นคือ ถ้าพิจารณาผลที่ตำแหน่งค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและความเร็วรอบเดียวกันการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงจะให้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขสูงกว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง



(ก) น้ำมันดีเซลอ้างอิง



(ข) น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง

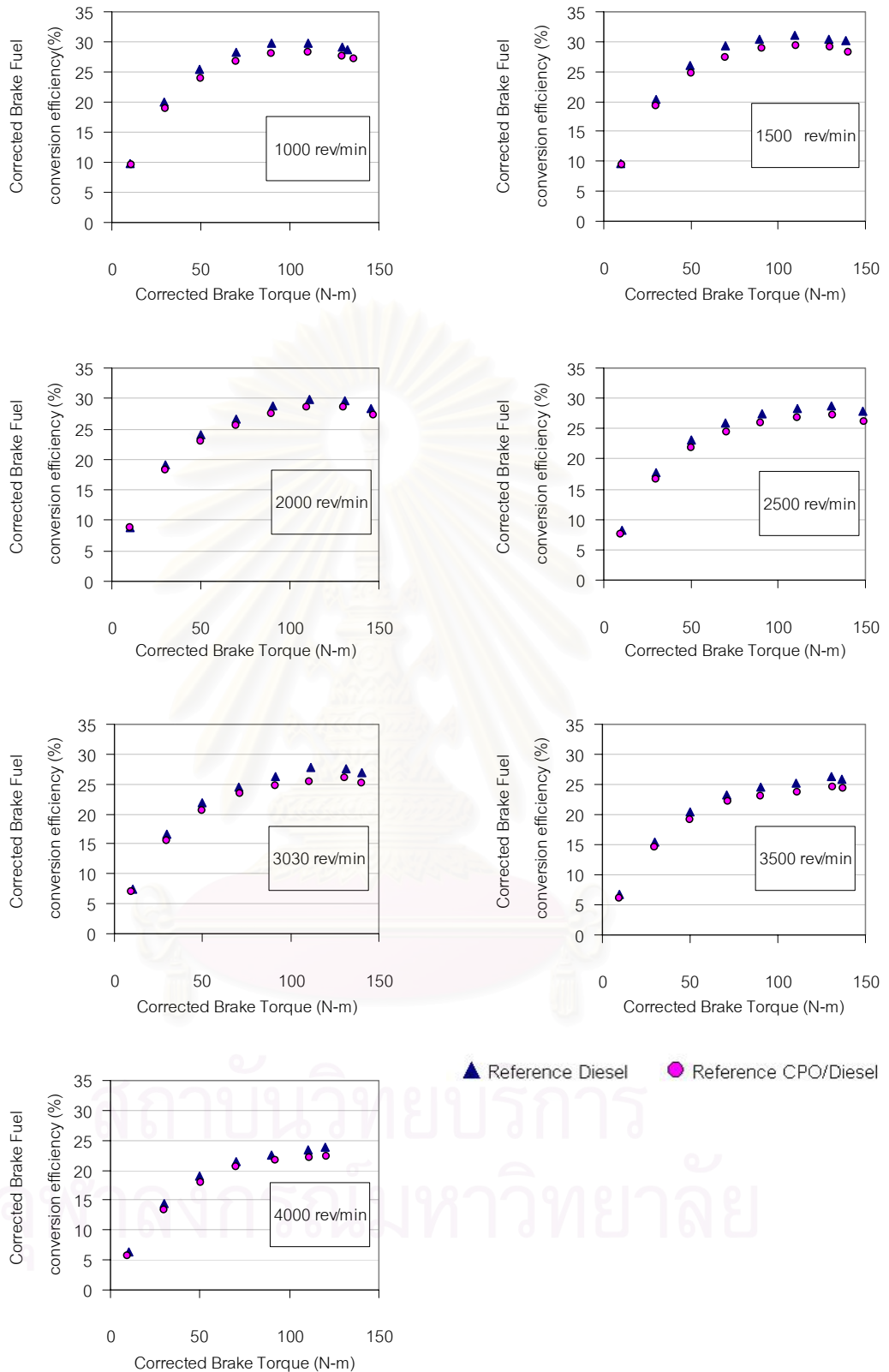
รูปที่ 5-9 แสดงแผนภูมิสมรรถนะแสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขของเครื่องยนต์ ก่อนการทดสอบความทนทาน จากการใช้ (ก) น้ำมันดีเซลอ้างอิง (ข) น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง หน่วยเป็น %

5.1.8 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่ความเร็วรอบคงที่

ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขและแรงบิดเบรกแก้ไขที่ความเร็วรอบคงที่เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง แสดงได้ดังรูปที่ 5-10

รูปที่ 5-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขกับแรงบิดเบรกแก้ไข ที่ความเร็วคงที่ 1,000 , 1,500 , 2,000 , 2,500 , 3,030 , 3,500 และ 4,000 รอบต่อนาที พบว่า ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขจากการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงสูงกว่าค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงตลอดทุกช่วงภาระและความเร็วรอบที่ทดสอบ ความแตกต่างเห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อภาระเพิ่มมากขึ้นที่แต่ละความเร็วรอบทดสอบ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 31 % เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1,500 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรกแก้ไข 110 นิวตัน-เมตร ส่วนค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขสูงสุดเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 29% เกิดขึ้นที่ความเร็ว และแรงบิดเบรกแก้ไขเดียวกัน

สรุปได้ว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิงมีค่าแตกต่างกัน โดยค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงสูงกว่าค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเล็กน้อย ตลอดทุกช่วงภาระและความเร็วรอบที่ทดสอบ



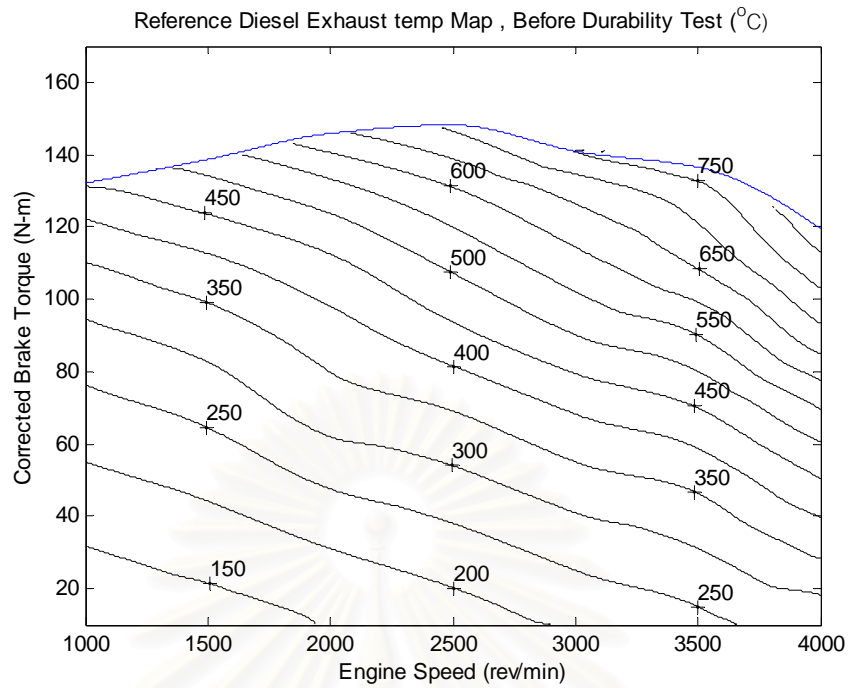
รูปที่ 5-10 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่ ความเร็วคงที่ ระหว่างการใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลข้างอิงและน้ำมันดีเซลข้างอิง

5.1.9 คุณภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน

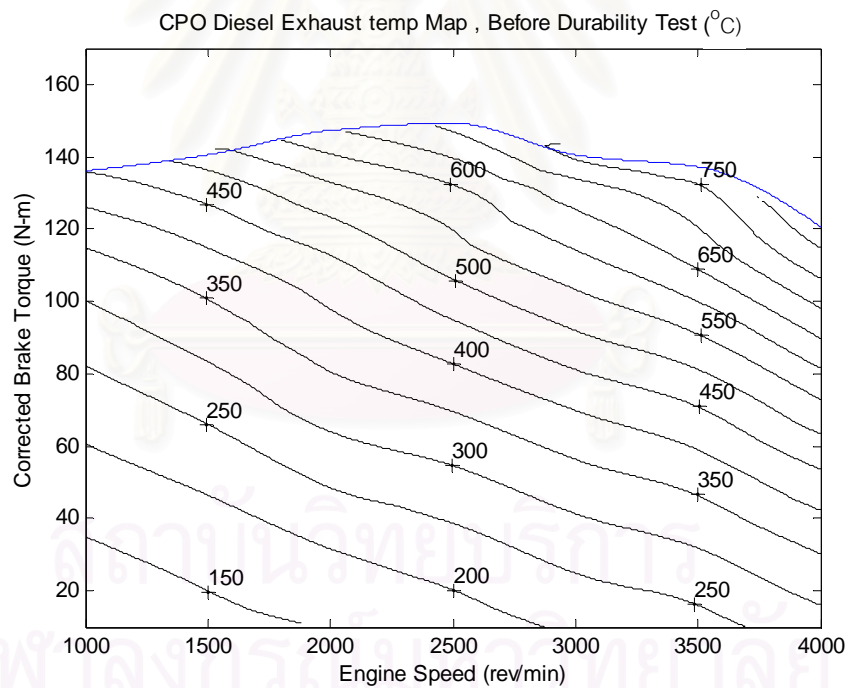
ผลการวัดค่าคุณภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน แสดงในรูปของแผนภูมิคุณภูมิไอเสีย ระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงและน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง ดังรูปที่ 5-11(ก) และ (ข) ตามลำดับ และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภูมิไอเสียกับแรงบิดเบรกแก้ไขที่ความเร็วคงที่ได้ดังรูปที่ 5-12 ผลการทดสอบพบว่า คุณภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน ระหว่างการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงและน้ำมันดีเซลอ้างอิง มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน โดยคุณภูมิไอเสียมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงบิดสูงขึ้น และรอบการทำงานสูงขึ้น

สรุปได้ว่า ที่สภาวะภาระสูงสุดคุณภูมิไอเสียจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลอ้างอิงค่อนข้างชัดเจน แต่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วน



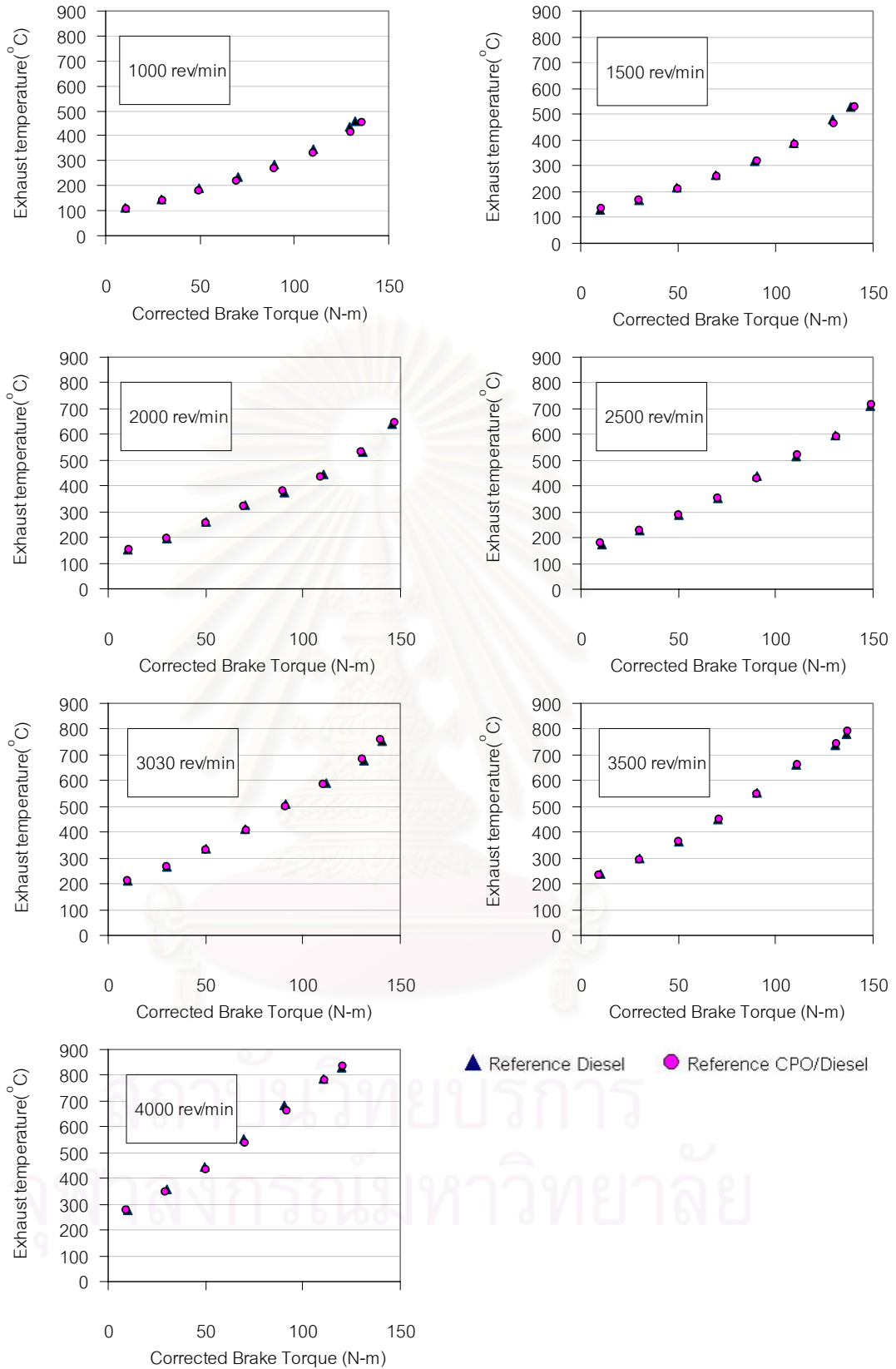


(ก) น้ำมันดีเซลอ้างอิง



(ข) น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง

รูปที่ 5-11 แผนภูมิสมรรถนะแสดงค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วนของเครื่องยนต์
ก่อนการทดสอบความทนทาน จากการใช้ (ก) น้ำมันดีเซลอ้างอิง (ข) น้ำมันปาล์มดิบผสม
ดีเซลอ้างอิง หน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 5-12 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วคงที่ ระหว่างการใช้ น้ำมันปาล์มดิบ ผสมดีเซลข้างอิงและน้ำมันดีเซลข้างอิง

5.2 ผลการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ

5.2.1 การทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบเป็นระยะเวลา 225 ชั่วโมง

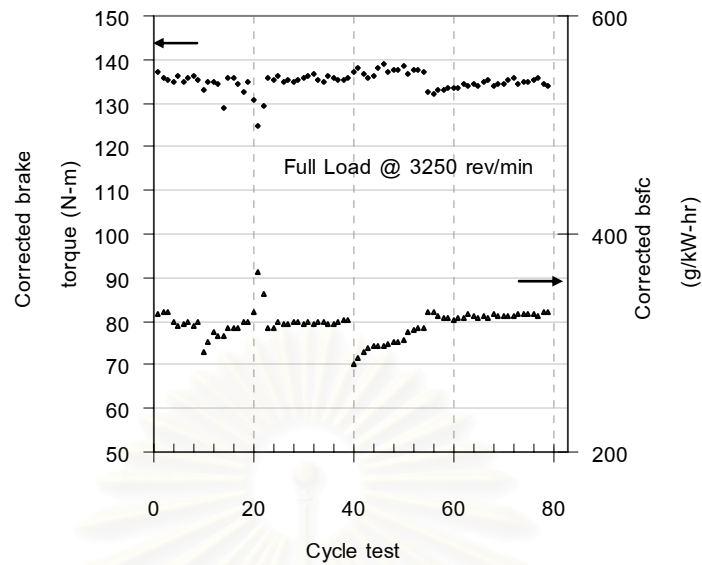
ผลการทดสอบความทนทานโดยการจำลองภาระของเครื่องยนต์ด้วยการทดสอบตามวัฏจักรภาระจำลองบนแท่นทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดเมื่อนำมาใช้งานอย่างต่อเนื่อง ในการทดสอบดังกล่าวได้ตรวจวัดค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (เพื่อนำมาใช้ในการอ้างอิงและควบคุมสภาพการทำงาน of เครื่องยนต์ให้เป็นไปตามวัฏจักรภาระจำลองที่กำหนด) ผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อุณหภูมิไอเสีย และอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ ตลอดการทดสอบความทนทาน ดังนี้

5.2.1.1 ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่สภาวะการทำงานลำดับที่ 1, 2 และ 3

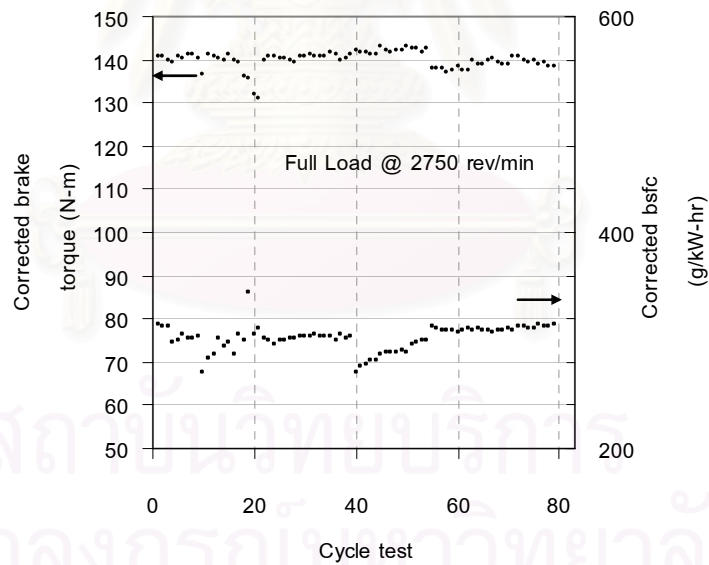
การทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการจำลองภาระของเครื่องยนต์ให้ทำงานภายใต้วัฏจักรภาระจำลองที่กำหนดต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 225 ชั่วโมงบนแท่นทดสอบ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดเป็นเชื้อเพลิงสามารถสรุปผลได้ดังนี้ ผลการวัดค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะตลอดช่วงเวลากการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 สภาวะการทำงานที่ 2 และสภาวะการทำงานที่ 3 แสดงได้ดังรูปที่ 5-13 , 5-14 และ 5-15 ตามลำดับ พบว่า ผลของค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่ได้จากการทดสอบในแต่ละช่วงการทำงานมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเป็นช่วงโดยสัมพันธ์กับช่วงการบำรุงรักษา ที่สภาวะการทำงานที่ 1 ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขมีลักษณะแกว่งตัวเล็กน้อยในแต่ละช่วงของการใช้งานตามระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดแต่หากพิจารณาตลอดการทดสอบความทนทานจะพบว่าค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย สำหรับช่วงการทดสอบในวัฏจักรที่ 10 – 19 แรงบิดเบรกแก้ไขมีค่าต่ำลงอย่างผิดปกติในขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากคุณภาพของน้ำมันดีเซลตามท้องตลาดที่แตกต่างกันตามแหล่งที่มาและวาระที่ต่างกัน ส่วนการทดสอบในวัฏจักรที่ 40 – 59 พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะตั้งต้นมีค่าลดลงอย่างผิดปกติแล้วกลับเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าคงที่ ซึ่งน่าจะเป็นผลที่สัมพันธ์กับช่วงเวลากการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ เนื่องจากก่อนที่จะเริ่มวัฏจักรที่ 40 ได้มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นพร้อมทั้งเปลี่ยนไส้กรองน้ำมันหล่อลื่นก่อนการทดสอบ สำหรับผลการวัด

ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่สภาวะการทำงานที่ 2 นั้นมีแนวโน้มที่คล้ายกับผลที่ได้จากการทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 1 ด้วยเหตุผลลักษณะเดียวกัน

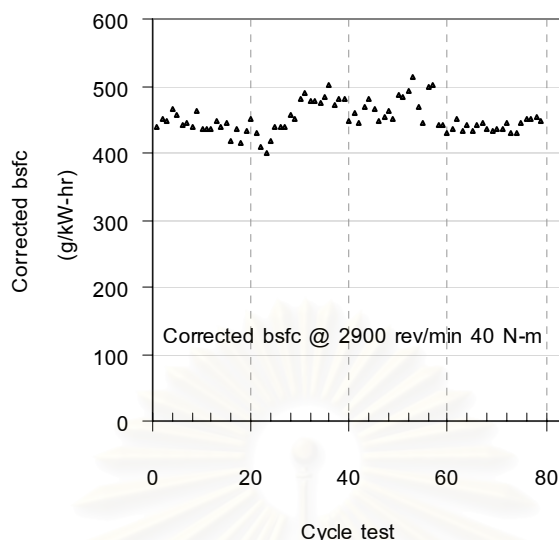
ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดก่อนการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 มีค่า 139 นิวตัน-เมตร จะมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงตามชั่วโมงทำงานที่เพิ่มขึ้นซึ่งพบว่าจะมีค่าเป็น 134 นิวตัน-เมตร ภายหลังการทดสอบความทนทาน คิดเป็นความแตกต่างเท่ากับ 3.9 % ขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากค่าก่อนการทดสอบ 324 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็น 331 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ภายหลังการทดสอบ 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 หลังผ่านการทดสอบความทนทานคิดเป็นความแตกต่างที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 5 %



รูปที่ 5-13 แสดงค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 1 (ภาระสูงสุดที่ 3,250 รอบต่อนาที)



รูปที่ 5-14 แสดงค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 2 (ภาระสูงสุดที่ 2,750 รอบต่อนาที)



รูปที่ 5-15 แสดงค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมัน

ปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ
ที่สภาวะการทำงานที่ 3 (ภาระคงตัว 40 นิวตัน-เมตร ที่ 2,900 รอบต่อนาที)

5.2.1.2 อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะการทำงานลำดับที่ 1 , 2 และ 3

ผลการวัดอุณหภูมิไอเสียจากเครื่องยนต์ตลอดการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 1 , 2 และ 3 แสดงได้ดังรูปที่ 5-16, 5-17 และ 5-18 ตามลำดับพบว่า อุณหภูมิไอเสียเมื่อสิ้นสุดการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ(วัฏจักรที่ 79) ที่สภาวะการทำงานที่ 1 และ 2 มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าอุณหภูมิของไอเสียเริ่มต้น(วัฏจักรที่ 1) ก่อนการทดสอบความทนทาน โดยที่สภาวะการทำงานที่ 1 อุณหภูมิไอเสียมีค่าลดลงจาก 788 °C เหลือ 774 °C คิดเป็นความแตกต่างเท่ากับ 1.8% ที่สภาวะการทำงานที่ 2 ค่าอุณหภูมิไอเสียลดลงจาก 732 °C เหลือ 720 °C คิดเป็นความแตกต่างเท่ากับ 1.6 % สำหรับที่สภาวะการทำงานลำดับที่ 3 ค่าอุณหภูมิไอเสียภายหลังการทดสอบความทนทานมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเทียบกับค่าอุณหภูมิไอเสียเริ่มต้นก่อนการทดสอบจาก 306 °C เป็น 311 °C คิดเป็นความแตกต่างเท่ากับ 1.6 %

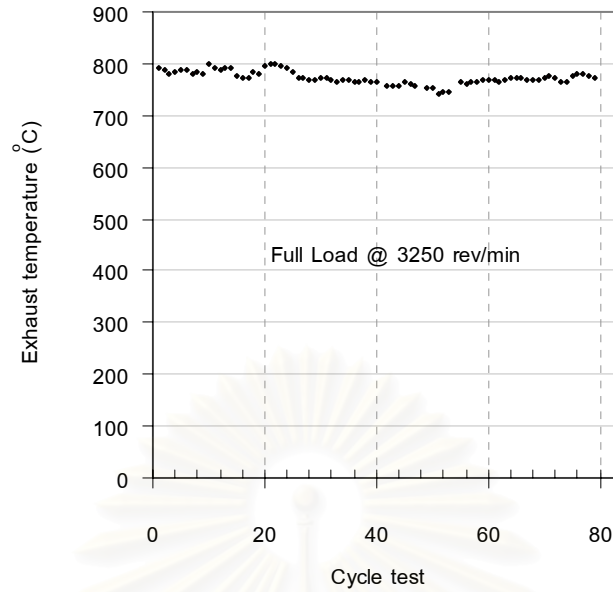
สำหรับแนวโน้มการลดลงอย่างผิดปกติของค่าอุณหภูมิไอเสียที่เกิดขึ้นในช่วงกลางของการทดสอบสภาวะการทำงานที่ 1 และ 2 ช่วงวัฏจักรที่ 24 ถึง 54 นั้นมีผลมาจากความผิดปกติของเครื่องยนต์ไม่ได้มีสาเหตุมาจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิงแต่อย่างใด เนื่องจากแนวโน้มการลดลงอย่างผิดปกติของค่าอุณหภูมิไอเสียที่เกิดขึ้นเป็นช่วงเวลาเดียวกับการเริ่มตรวจพบว่ามีน้ำปนออกมากับไอเสียในปริมาณที่มากผิดปกติ ผลของน้ำที่ปนออกมากับไอเสียนี้จะทำ

ให้อุณหภูมิของไอเสียลดลงเนื่องจากน้ำที่รั่วได้ไปดึงพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งออกจากไอเสีย เพื่อนำไปใช้ในการระเหยเป็นไอ หลังจากที่ผู้วิจัยได้ตรวจพบรอยรั่วของน้ำจากฝาสูบที่ช่องทางเดินไอเสียและได้ทำการเปลี่ยนฝาสูบเมื่อสิ้นสุดการทดสอบในวัฏจักรที่ 54 พร้อมทั้งเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ก่อนที่จะทำการทดสอบในวัฏจักรที่ 55 ต่อไป แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิไอเสียจึงกลับสู่ค่าปกติ

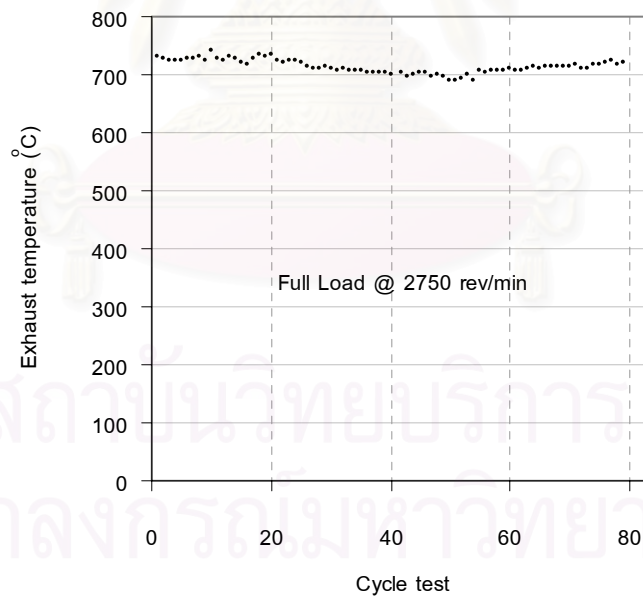
ส่วนที่สภาวะการทำงานที่ 3 ในช่วงวัฏจักรการทำงานที่ 24 ถึง 54 ค่าอุณหภูมิไอเสียมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับสภาวะการทำงานที่ 1 และ 2 เป็นผลจากความคลาดเคลื่อนของการปรับตำแหน่งคันเร่งซึ่งผู้วิจัยได้พยายามปรับให้อยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันทุกครั้งแต่เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของปุ่มปรับเองรวมทั้งผลจากสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ลดลงตามอายุการใช้งานที่มากขึ้นทำให้แรงบิดที่ได้ลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้(40 นิวตัน-เมตร) จึงมีผลให้อุณหภูมิของไอเสียในช่วงนี้มีค่าที่แตกต่างไปจากแนวโน้มที่ควรจะเป็นเมื่อเทียบกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสภาวะการทำงานที่ 1 และ 2 (ที่สภาวะการทำงานที่ 1 และ 2 การปรับคันเร่งเป็นตำแหน่งเดียวกันตลอดเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่คันเร่งอยู่ที่ระยะดึงมากที่สุด)

หลังจากที่ผู้วิจัยตรวจพบความผิดปกติของเครื่องยนต์และทำการแก้ไขเรียบร้อยแล้ว จึงได้ปรับตำแหน่งของคันเร่งที่สภาวะการทำงานที่ 3 ใหม่ โดยกำหนดให้เป็นตำแหน่งที่เครื่องยนต์สร้างแรงบิดเบรกได้คงตัวเท่ากับ 40 นิวตัน-เมตร ตลอดจนถึงสิ้นสุดการทดสอบ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไอเสียของทั้งสามสภาวะการทำงานหลังจากการเครื่องยนต์ทำงานได้ตามปกติในวัฏจักรที่ 55 จนกระทั่งเมื่อสิ้นสุดการทดสอบมีดังนี้ ที่สภาวะการทำงานที่ 1 อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 766.3°C เป็น 774.3°C ที่สภาวะการทำงานที่ 2 ค่าอุณหภูมิไอเสียเพิ่มขึ้นจาก 707.7°C เป็น 720°C และที่สภาวะการทำงานลำดับที่ 3 อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 297°C เป็น 311°C

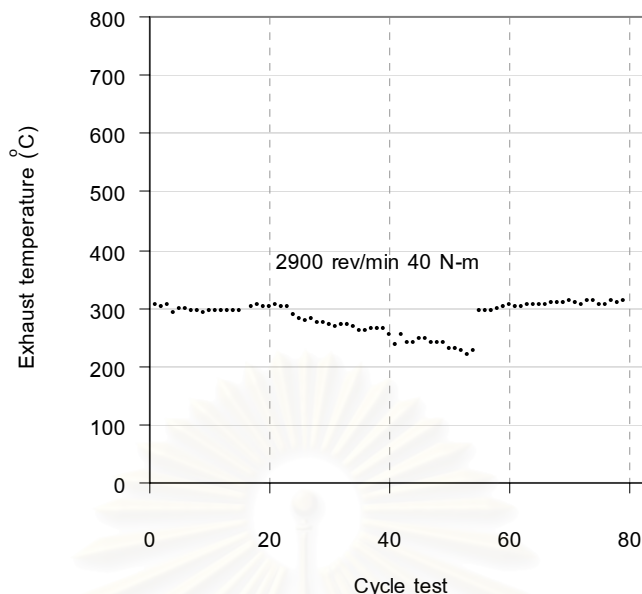
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-16 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 1 (ภาระสูงสุดที่ 3,250 รอบต่อนาที)



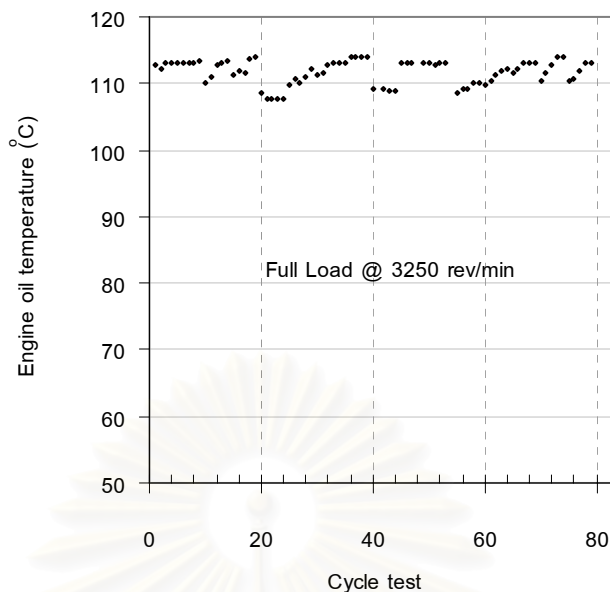
รูปที่ 5-17 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 2 (ภาระสูงสุดที่ 2,750 รอบต่อนาที)



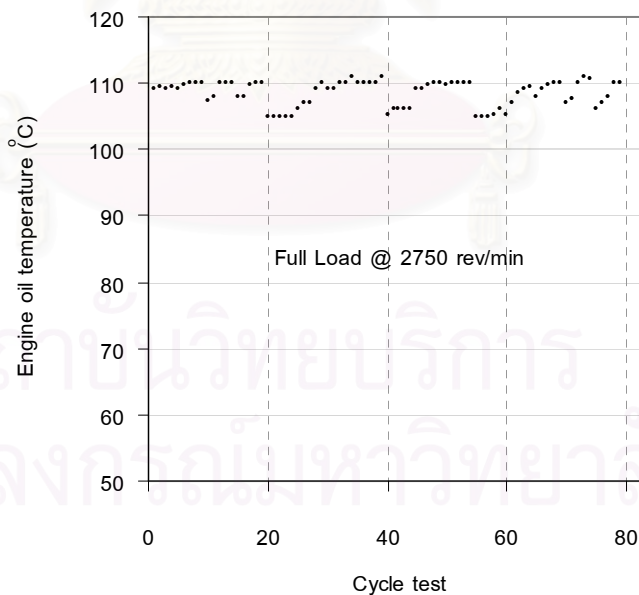
รูปที่ 5-18 แสดงค่าอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 3 (ภาระคงตัว 40 นิวตัน-เมตร ที่ 2,900 รอบต่อนาที)

5.2.1.3 อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะการทำงานลำดับที่ 1 , 2 และ 3

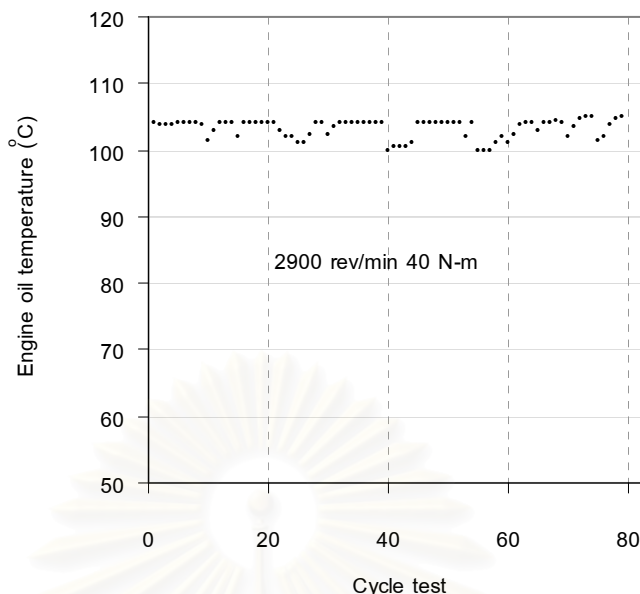
ผลการวัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานที่สภาวะการทำงานที่ 1 , 2 และ 3 แสดงได้ดังรูปที่ 5-19, 5-20 และ 5-21 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า อุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นทั้งสามสภาวะการทำงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงของการบำรุงรักษา(เปลี่ยนถ่ายน้ำมันทุกๆ 20 วัฏจักรการทำงาน) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นที่สภาวะการทำงานเดียวกันมักจะสัมพันธ์กับช่วงที่มีการบำรุงรักษาไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นและช่วงที่มีการเติมน้ำมันหล่อลื่นใหม่เพิ่มเติม ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นส่งผลให้อุณหภูมิการทำงาน ของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนไปประกอบกับผลของอุณหภูมิของอากาศภายนอกของแต่ละวันที่ทำการทดสอบที่มีความแตกต่างกันย่อมมีส่วนที่ทำให้อุณหภูมิการทำงานของเครื่องยนต์มีความแตกต่างกันได้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 5-19 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตาม
ห้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 1
(ภาระสูงสุดที่ 3,250 รอบต่อนาที)



รูปที่ 5-20 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตาม
ห้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 2
(ภาระสูงสุดที่ 2,750 รอบต่อนาที)



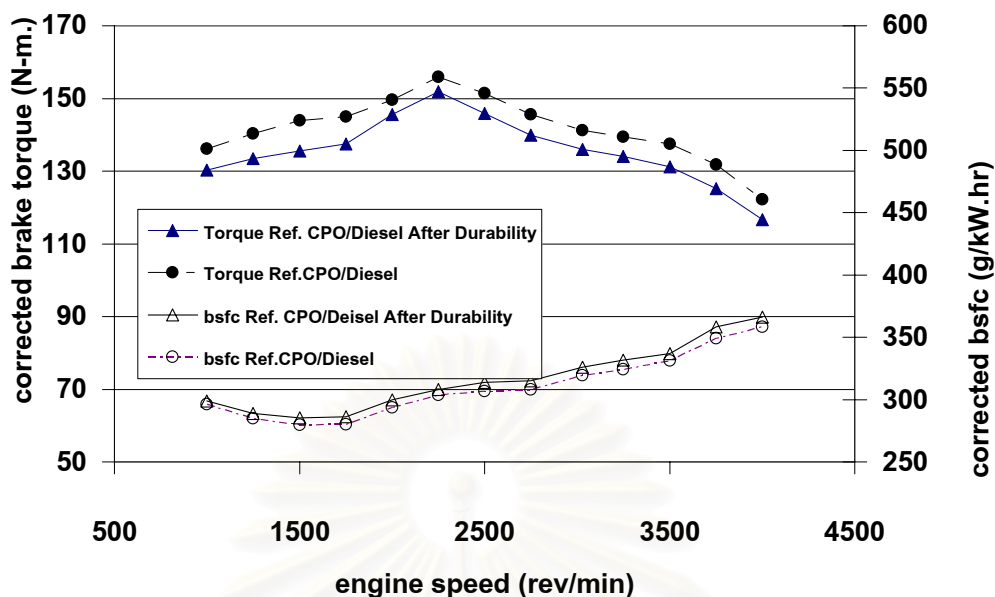
รูปที่ 5-21 แสดงค่าอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตาม
 ท้องตลาดตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบที่สภาวะการทำงานที่ 3
 (ภาระคงตัว 40 นิวตัน-เมตร ที่ 2,900 รอบต่อนาที)

5.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์หลังจากการทดสอบ ความทนทานบนแท่นทดสอบ

หลังจากการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบได้ทำการทดสอบสมรรถนะของ
 เครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเปรียบเทียบระหว่างผล
 สมรรถนะก่อนกับหลังการทดสอบความทนทาน ซึ่งในขั้นตอนการทดสอบจะประกอบไปด้วยการ
 ทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุดและการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วนเช่นเดียวกับในหัวข้อที่ 5.1.2
 ถึง 5.1.9

5.3.1 ผลของแรงบิดเบรกแก้ไข(Corrected brake torque) และอัตราการสิ้นเปลือง เชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (bsfc) ที่สภาวะภาระสูงสุด

ผลการทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบหลังการทดสอบความทนทานที่สภาวะภาระ
 สูงสุด ในส่วนของค่าแรงบิดเบรกแก้ไขสูงสุดที่ได้และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ
 ตลอดความเร็วรอบทดสอบเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง เปรียบเทียบระหว่างสภาวะ
 ก่อนทดสอบกับหลังทดสอบความทนทาน แสดงได้ดังรูปที่ 5-22

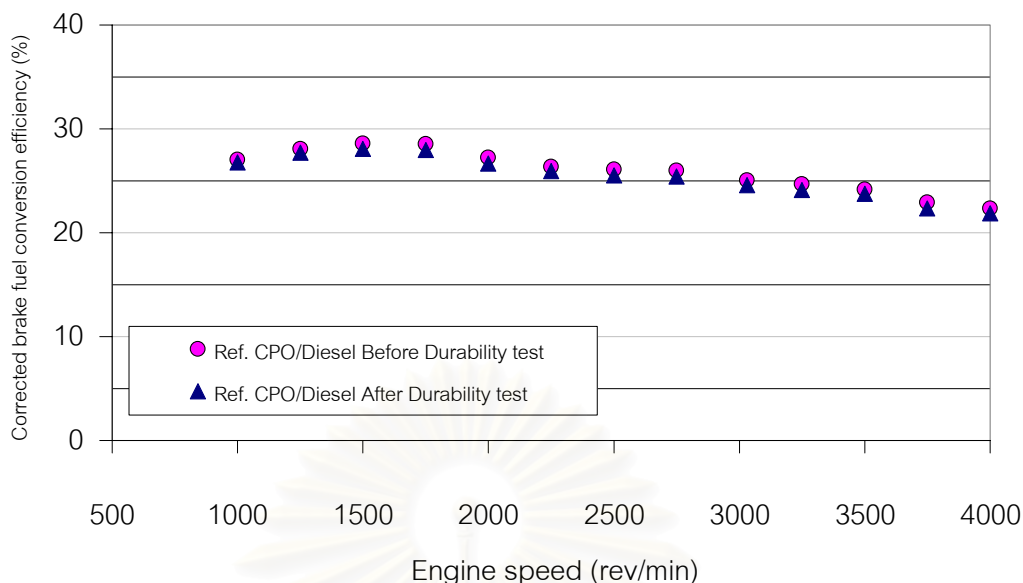


รูปที่ 5-22 แสดงค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่สภาวะคงตัวภาวะสูงสุด แต่ละความเร็วรอบของการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงก่อนและหลังทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

จากรูปที่ 5-22 แสดงผลจากการเปรียบเทียบสมรรถนะที่สภาวะภาวะสูงสุด (Full Load) ก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบความทนทานเป็นเวลา 225 ชั่วโมงพบว่า แรงบิดเบรกแก้ไขหลังผ่านการทดสอบมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดในทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ มีค่าลดลงระหว่าง 4.1 - 8.5 นิวตัน-เมตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ระหว่าง 2.6 %-5.9 % โดยแรงบิดเบรกแก้ไขมีค่าลดต่ำลงมากที่สุดที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขลดลง 8.5 นิวตัน-เมตร. คิดเป็น 8.5% ของค่าแรงบิดเบรกแก้ไขก่อนการทดสอบความทนทาน ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะมีค่าสูงกว่าค่าก่อนการทดสอบความทนทานที่ทุกความเร็วรอบราว 0.9 - 2.6 % โดยอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกเบรกจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น

5.3.2 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไข (Corrected brake fuel conversion efficiency) ที่สภาวะภาวะสูงสุด

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่สภาวะภาวะสูงสุดหลังการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเป็นเชื้อเพลิง แสดงได้ดังรูปที่ 5-23



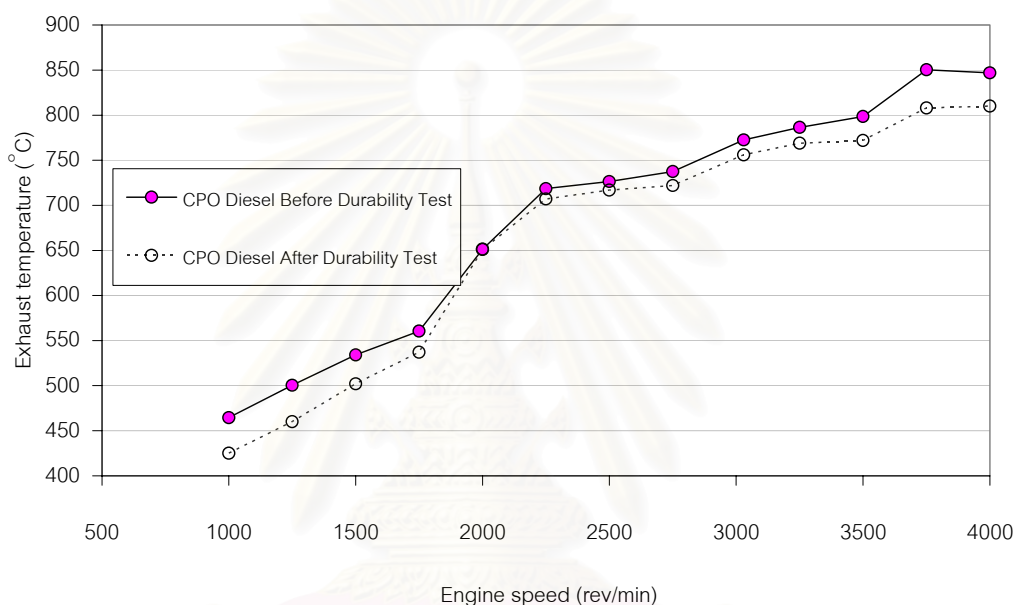
รูปที่ 5-23 แสดงผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่สภาวะก่อนการทดสอบความทนทานกับหลังทดสอบความทนทาน

จากรูปที่ 5-23 แสดงค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่สภาวะภาระสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างค่าก่อนการทดสอบกับหลังการทดสอบ พบว่าหลังการทดสอบความทนทานประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่ได้ต่ำกว่าค่าประสิทธิภาพก่อนการทดสอบเล็กน้อยอยู่ในช่วง 0.2 – 0.6 % โดยมีค่าลดลงมากที่สุดเท่ากับ 0.6 % ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,750 รอบต่อนาที

5.3.3 อุณหภูมิไอเสียและอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยมวลที่สภาวะภาระสูงสุด

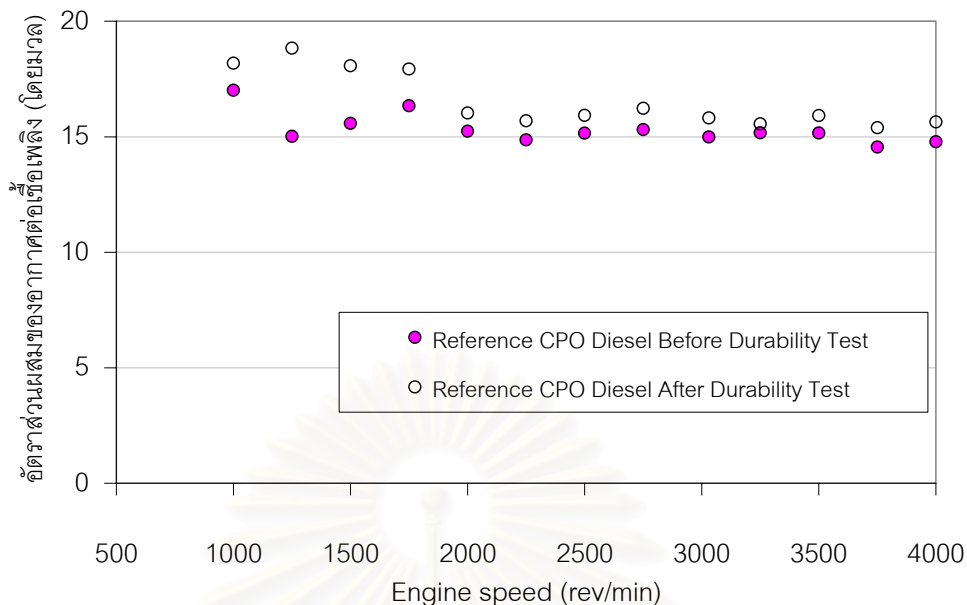
ในรูปที่ 5-24 แสดงอุณหภูมิไอเสียจากเครื่องยนต์เปรียบเทียบระหว่างค่าก่อนการทดสอบกับค่าหลังการทดสอบความทนทานที่สภาวะภาระสูงสุด พบว่า อุณหภูมิไอเสียหลังการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกับค่าอุณหภูมิไอเสียก่อนการทดสอบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 24°C ซึ่งคิดเป็นความแตกต่างที่ลดลงเท่ากับ 3.8 % ผลของอุณหภูมิไอเสียที่มีค่าต่ำลงภายหลังการทดสอบความทนทานน่าจะมีสาเหตุมาจากปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้น้อยลงสาเหตุอาจเนื่องมาจากการอุดตันเกิดขึ้นที่หัวฉีด นอกจากนี้ผลจากการสึกหรอที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนภายในปั๊มและการเกิดคราบไขน้ำมันในกลไกหัวฉีด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันในการฉีดเชื้อเพลิง ส่งผลให้การจ่ายปริมาณน้ำมันไม่ถูกต้อง และอาจ

เป็นผลมาจากลักษณะของสเปรย์ที่ออกจากหัวฉีดที่มีการกระจายที่แย่งทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพที่ต่ำลงด้วย ทำให้เครื่องยนต์สร้างแรงบิดเบรคได้ต่ำลง ส่วนผลการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนผสมโดยมวลของอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงระหว่างก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงได้ดังรูปที่ 5-25 พบว่า ภายหลังจากการทดสอบความทนทานเมื่อน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงจะมีอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่มากกว่าค่าก่อนการทดสอบความทนทานอยู่ในช่วง 2.5 – 25 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภายหลังจากการทดสอบความทนทาน ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้มีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับปริมาณก่อนการทดสอบความทนทาน



รูปที่ 5-24 แสดงผลเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่สภาวะก่อนทดสอบความทนทานและหลังทดสอบความทนทาน

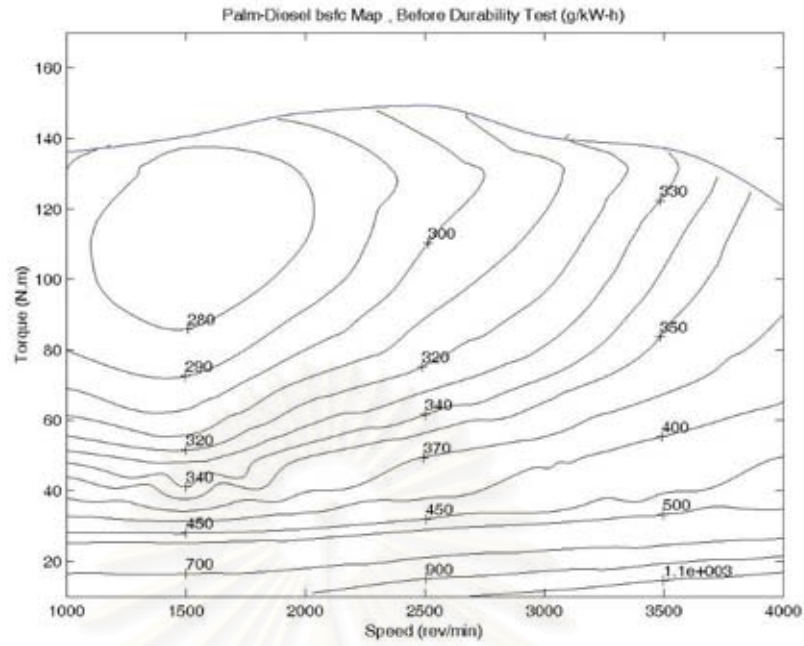
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



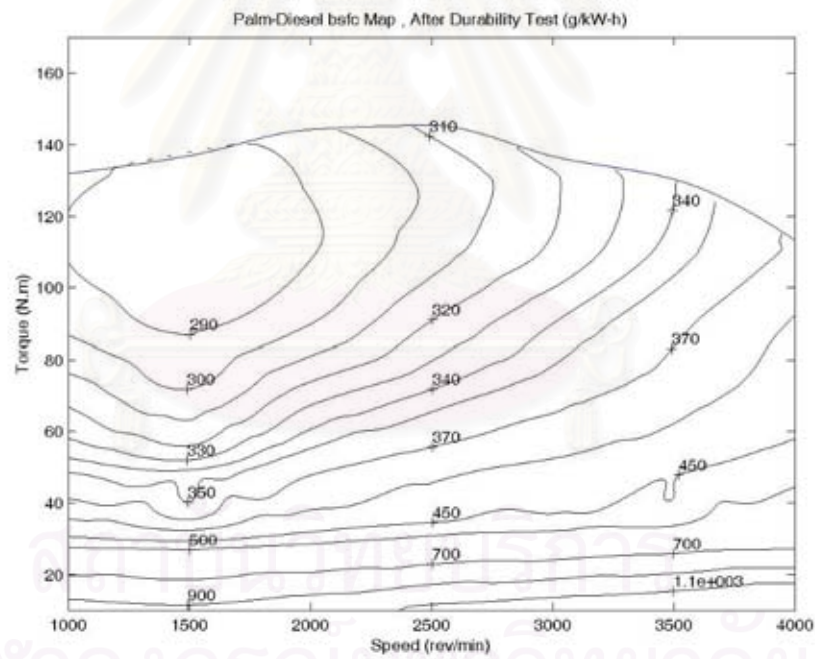
รูปที่ 5-25 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง ที่สภาวะภาระสูงสุดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่ สภาวะก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

5.3.4 แผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) หลังการทดสอบความทนทานบน แท่นทดสอบ

ผลการทดสอบที่ภาระบางส่วน (Part-Load) เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เบรกจำเพาะระหว่างก่อนและหลังการทดสอบความทนทานได้แสดงอยู่ในรูปของแผนภูมิ สมรรถนะของเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 5-26 (ก) และ (ข) เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเป็น เชื้อเพลิงตามลำดับ เมื่อมองภาพรวมของแผนภูมิสมรรถนะ พบว่า แนวของเส้นอัตราสิ้นเปลือง เชื้อเพลิงเบรกจำเพาะคงที่ หลังการทดสอบความทนทานมีค่าสูงขึ้นตลอดทุกช่วงภาระและ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ โดยที่ก่อนการทดสอบความทนทาน อัตราการ สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะมีค่าต่ำสุดประมาณ 280 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เกิดขึ้นที่ช่วงแรงบิด เบรกแก้ไขประมาณ 90 ถึง 135 นิวตัน-เมตร ในขณะที่หลังการทดสอบความทนทาน อัตราการ สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะต่ำสุดมีค่าประมาณ 290 กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นความ แตกต่างที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.6 % เกิดขึ้นที่ช่วงแรงบิดเบรกแก้ไขประมาณ 95 ถึง 135 นิวตัน-เมตร ณ ความเร็วรอบประมาณ 1,000 ถึง 2,000 รอบต่อนาที



(ก) ก่อนทดสอบความทนทาน



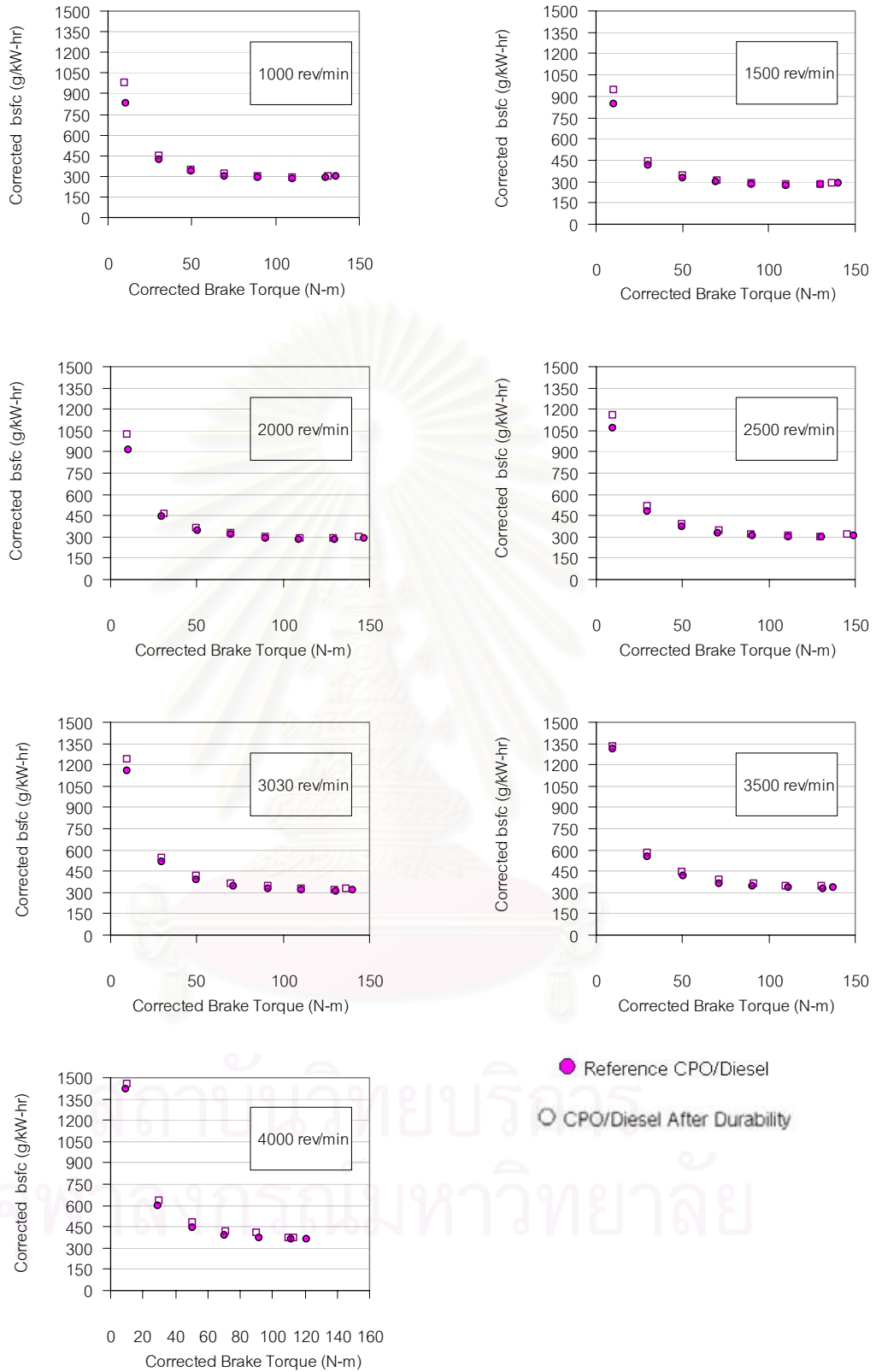
(ข) หลังทดสอบความทนทาน

รูปที่ 5-26 แสดงแผนภูมิสมรรถนะแสดงค่า bsfc map ของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลข้างอิงเปรียบเทียบค่า (ก) ก่อนทดสอบความทนทานกับ (ข) หลังการทดสอบความทนทาน หน่วยเป็น กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

5.3.5 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (bsfc) ที่ความเร็วรอบคงที่

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะและค่าแรงบิดเบรกแก้ไขที่ความเร็วรอบคงที่เปรียบเทียบระหว่างค่าจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่สภาวะก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงดังรูปที่ 5-27

รูปที่ 5-27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะกับแรงบิดเบรกแก้ไข ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,000 , 1,500 , 2,000 , 2,500 , 3,030 , 3,500 และ 4,000 รอบต่อนาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงภายหลังการทดสอบความทนทานมีค่าสูงกว่าค่าก่อนการทดสอบความทนทานทุกความเร็วรอบทดสอบเล็กน้อย(อยู่ในช่วง 0.9 – 2.6%) ความแตกต่างเห็นได้ชัดเจนในย่านภาระต่ำ(10 – 30 นิวตัน-เมตร) เมื่อความเร็วรอบและภาระจากเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นพบว่าความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะมีค่าลดลง ยกเว้นที่ความเร็วรอบ 3,500 และ 4,000 รอบต่อนาที พบว่าความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามภาระของการทดสอบที่เพิ่มมากขึ้น

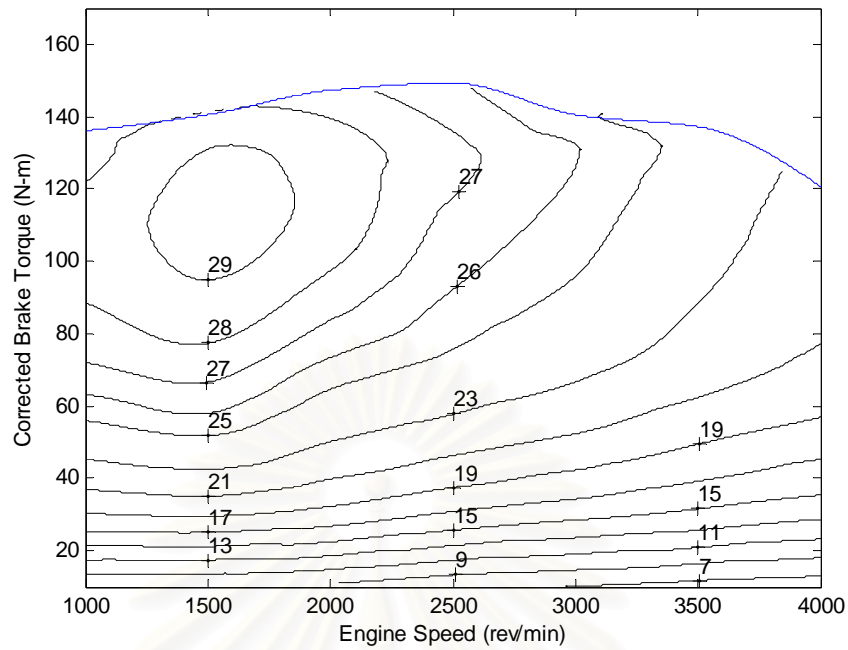


รูปที่ 5-27 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่ความเร็วคงที่ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่สภาวะก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

5.3.6 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่สภาวะภาระบางส่วน

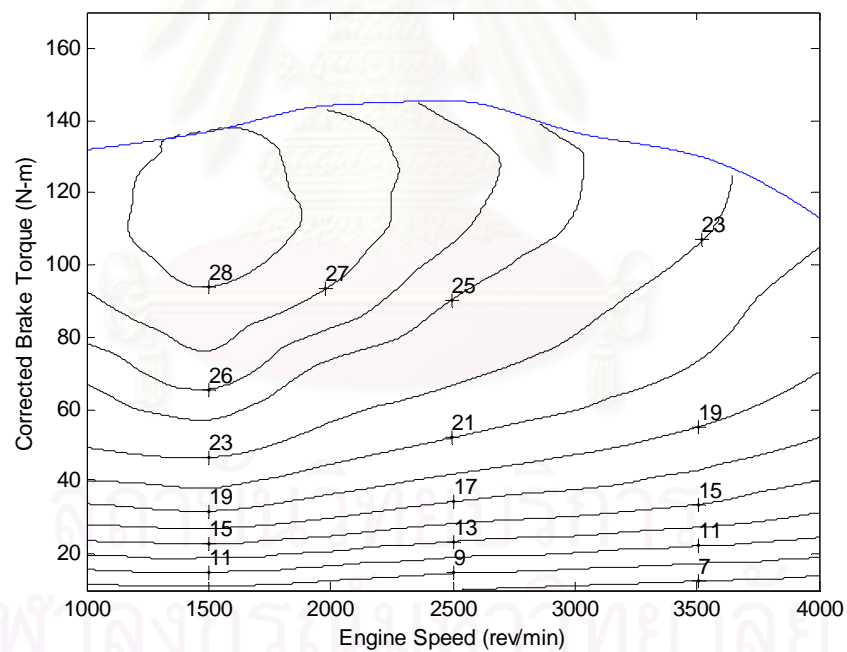
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่สภาวะภาระบางส่วน (Part Load) ของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบระหว่างค่าประสิทธิภาพก่อนและหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง แสดงอยู่ในรูปของแผนภูมิ (Map) ดังรูปที่ 5-28(ก) และ (ข) ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขภายหลังจากการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบลดลงเล็กน้อยตลอดทุกช่วงภาระและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ทดสอบ ดังจะเห็นได้จากรูป 5-28(ก) ซึ่งแสดงค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงก่อนการทดสอบ พบว่ามีแนวโน้มของค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขเท่ากับ 29% เกิดขึ้น ในขณะที่ไม่สามารถพบได้ในรูปที่ 5-28(ข) ซึ่งแสดงค่าประสิทธิภาพที่ได้ภายหลังจากการทดสอบความทนทานโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเช่นกัน นั่นคือ ถ้าพิจารณาผลที่ตำแหน่งค่าแรงบิดเบรกแก้ไขและความเร็วรอบเดียวกัน ภายหลังจากการทดสอบจะให้ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขต่ำลงตลอดทุกช่วงภาระและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ทดสอบ

Reference CPO Diesel brake fuel conversion efficiency Map , Before Durability Test (%)



(ก) ก่อนทดสอบความทนทาน

Reference CPO Diesel brake fuel conversion efficiency Map , After Durability Test (%)



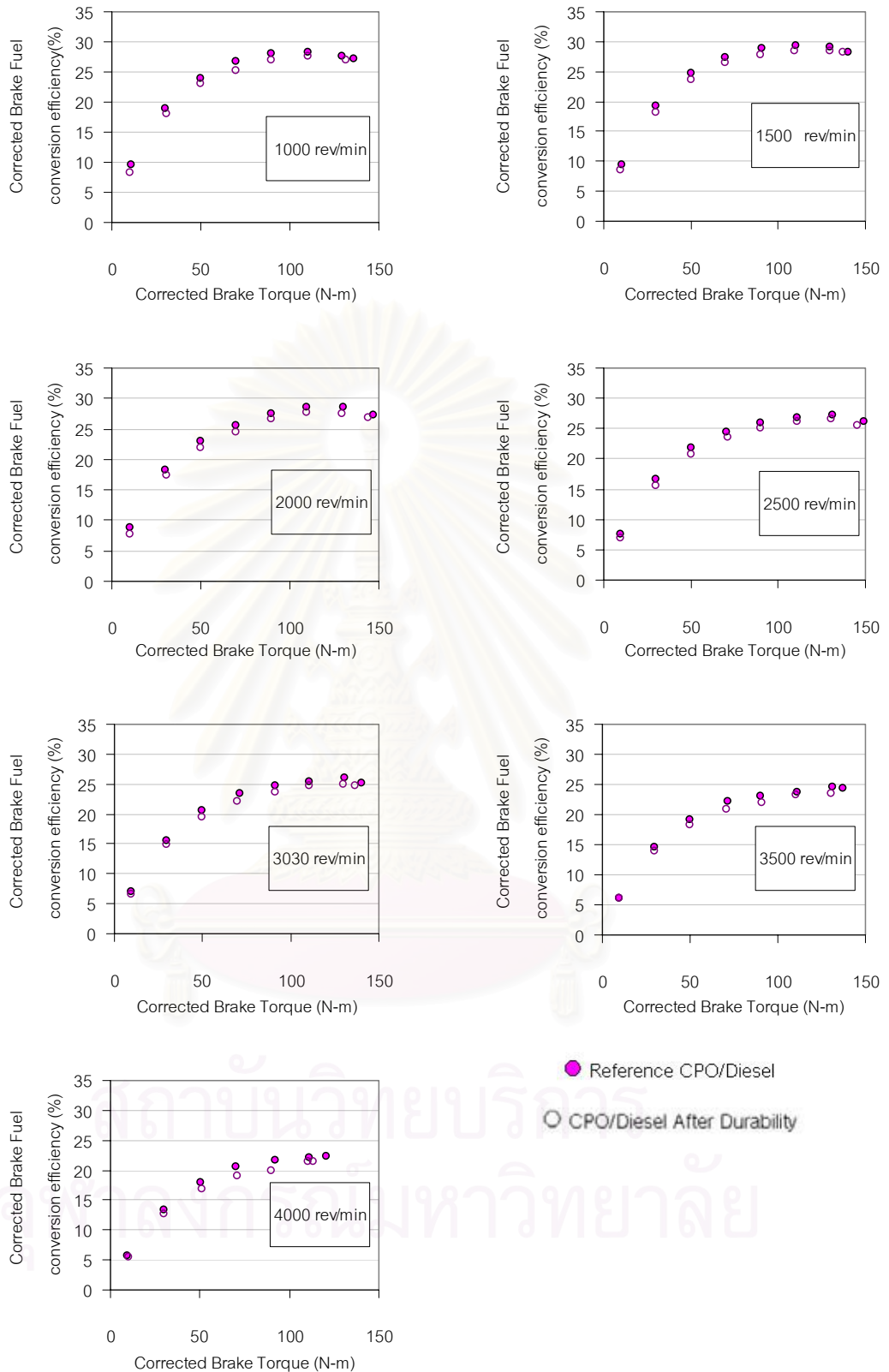
(ข) หลังทดสอบความทนทาน

รูปที่ 5-28 แสดงแผนภูมิสมรรถนะแสดงประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเปรียบเทียบระหว่าง (ก) ก่อนทดสอบกับ (ข) หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ
หน่วยเป็น กรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

5.3.7 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่ความเร็วรอบคงที่

ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขและแรงบิดเบรกแก้ไขที่ความเร็วรอบคงที่เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่สภาวะก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน แสดงได้ดังรูปที่ 5-29

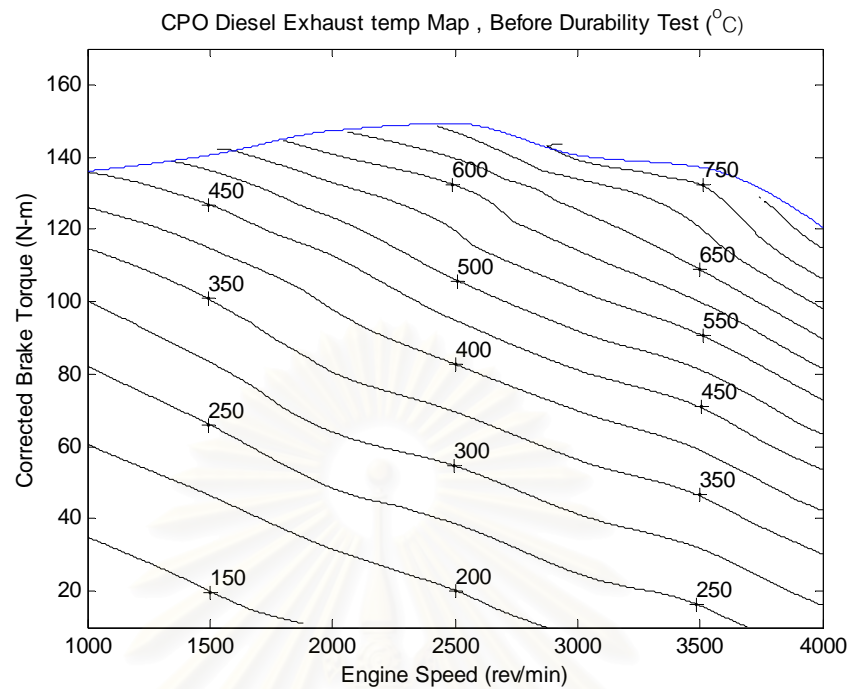
รูปที่ 5-29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขกับแรงบิดเบรกแก้ไข ที่ความเร็วคงที่ 1,000 , 1,500 , 2,000 , 2,500 , 3,030 , 3,500 และ 4,000 รอบต่อนาที พบว่า ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงภายหลังการทดสอบความทนทานมีค่าต่ำกว่าค่าก่อนการทดสอบทุกช่วงภาระและความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ทดสอบ ในย่านความเร็วรอบต่ำถึงความเร็วรอบปานกลาง (1,000, 1,500, 2,000 2,500 และ 3,030 รอบต่อนาที) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขลดลงอย่างเห็นได้ค่อนข้างชัดเจน(อยู่ในช่วง 0.1 – 1.5%) ตลอดช่วงภาระที่ทดสอบ ส่วนในย่านความเร็วรอบที่สูงขึ้น (3,500 และ 4,000 รอบต่อนาที) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด (อยู่ในช่วง 1% - 1.8%) ในช่วงภาระปานกลางเท่านั้น ค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขสูงสุดภายหลังการทดสอบความทนทานเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงมีค่าเท่ากับ 28.5 % เกิดขึ้นที่ความเร็ว 1,500 รอบต่อนาที และแรงบิดเบรกแก้ไข 110 นิวตัน-เมตร ลดลงจากค่าประสิทธิภาพก่อนการทดสอบความทนทาน 0.5 % ที่ความเร็วรอบและแรงบิดเบรกแก้ไขเดียวกัน



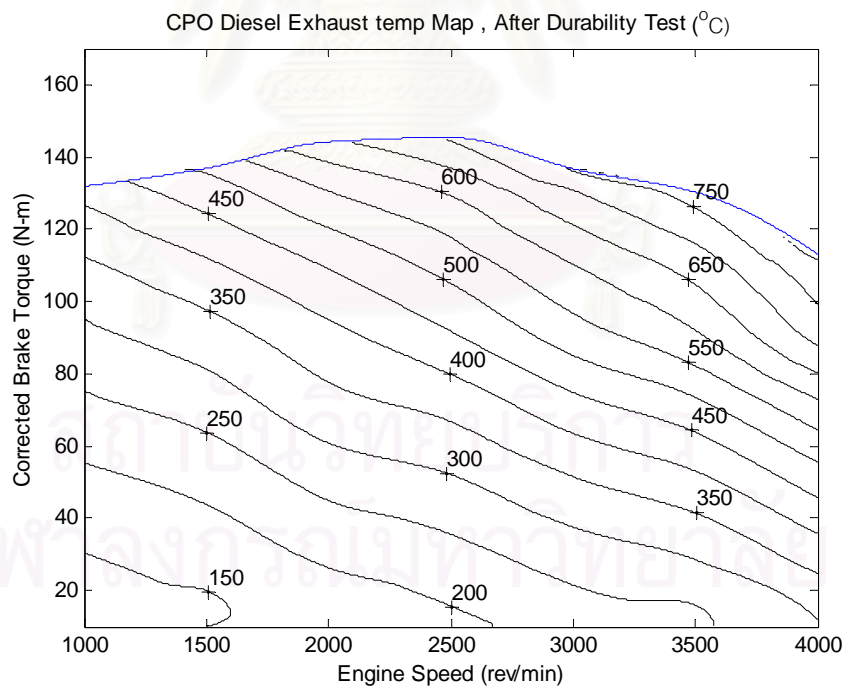
รูปที่ 5-29 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกแก้ไขที่ความเร็วคงที่ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงที่สภาวะก่อนและหลังทดสอบความทนทาน

5.3.8 อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน

ผลการวัดค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วน (Part Load) แสดงในรูปของแผนภูมิ อุณหภูมิไอเสีย โดยอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิง เปรียบเทียบผลระหว่างก่อนและหลังการทดสอบความทนทานแสดงในรูปที่ 5-30(ก) และ (ข) ตามลำดับ และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิไอเสียกับแรงบิดเบรกแก้ไขที่ความเร็วคงที่ได้ ดังรูปที่ 5-31 สรุปได้ว่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วนหลังการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์มีค่าแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่าอุณหภูมิไอเสียที่วัดได้ก่อนการทดสอบความทนทานอยู่ในช่วง $2.5 - 13.5^{\circ}\text{C}$ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างได้เท่ากับ $0.5 - 9.9\%$) เนื่องมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงตกค้างที่ยังไม่เผาไหม้หลังช่วงจังหวะ ขยายมีปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องที่ปลายจังหวะขยายและจังหวะคาย อุณหภูมิไอเสียภายหลังการทดสอบความทนทานจึงมีค่าสูงขึ้น

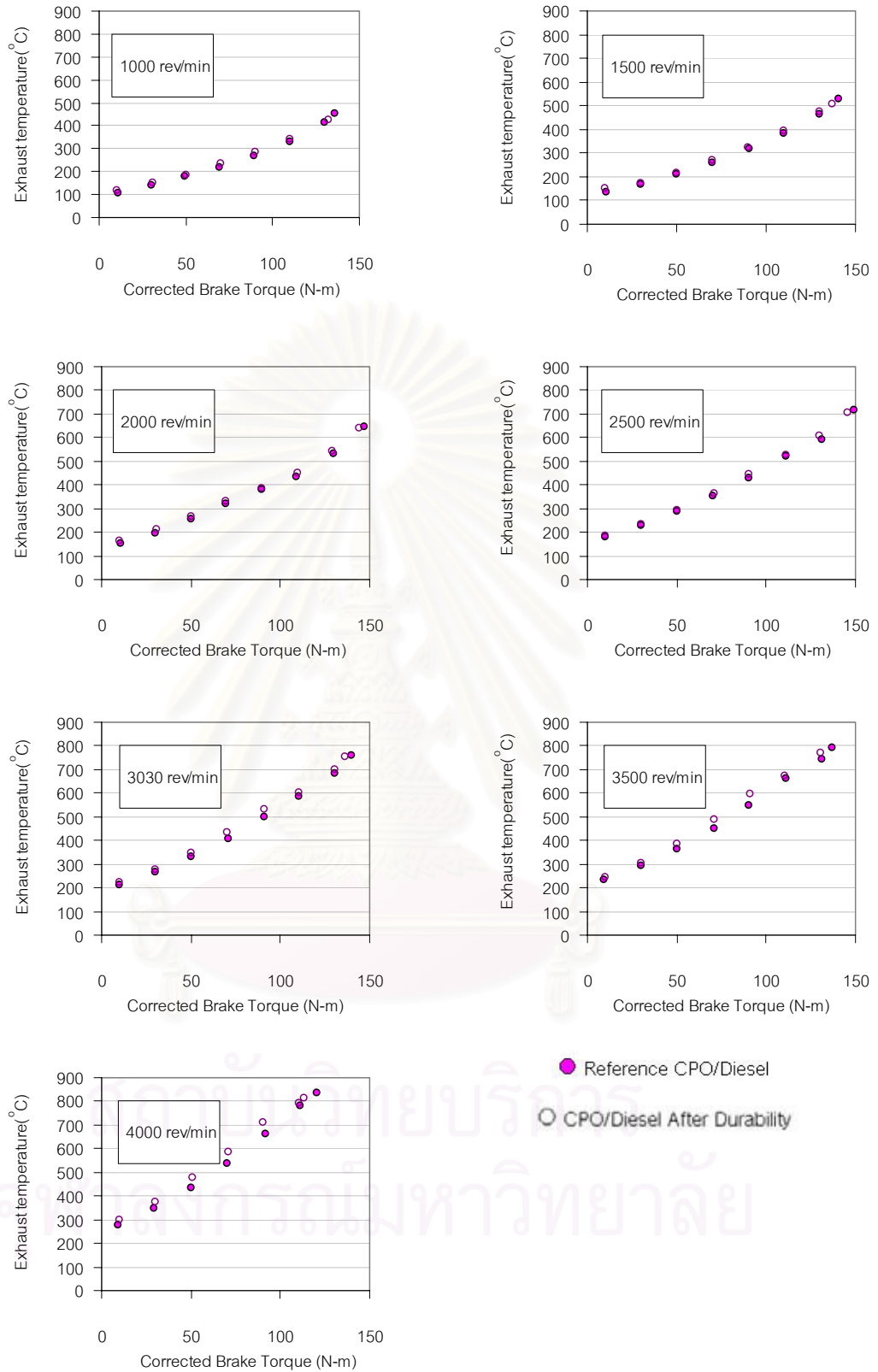


(ก) ก่อนการทดสอบความทนทาน



(ข) หลังการทดสอบความทนทาน

รูปที่ 5-30 แผนภูมิสมรรถนะแสดงค่าอุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วนของเครื่องยนต์
เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลอ้างอิงเปรียบเทียบระหว่างค่า (ก) ก่อนการทดสอบ
ความทนทานกับ (ข) หลังการทดสอบความทนทาน หน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 5-31 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วคงที่ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสม ดีเซลอ้างอิงที่สภาวะก่อนและหลังทดสอบความทนทาน

5.4 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นระหว่างทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนของสารต่างๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบ แบ่งได้เป็นสามส่วนด้วยกันคือ ส่วนแรกจะเป็นการแสดงค่าคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบ โดยคุณสมบัติที่ได้เฝ้าติดตามตรวจสอบคือ ค่าความหนืดของน้ำมันที่ 100 °C ปริมาณเขม่า น้ำมันเชื้อเพลิง และน้ำ ค่าออกซิเดชัน ไนเตรชัน และซัลเฟชัน ค่า ZDDP ค่า TBN ของน้ำมันหล่อลื่น สำหรับในส่วนที่สองจะเป็นการวิเคราะห์ปริมาณธาตุโลหะที่เกิดจากการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ และในส่วนที่สามจะเป็นผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณธาตุกลุ่มที่เป็นสารเติมแต่งอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น 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

5.4.1 คุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นในส่วนแรกในรูปที่ 5-32 แสดงคุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบและรูปที่ 5-33 แสดงคุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นเมื่อเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน โดยค่าเริ่มต้นในแต่ละช่วง คือที่วัฏจักรที่ 0, 20, 40, และ 60 แสดงด้วยค่าที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใหม่

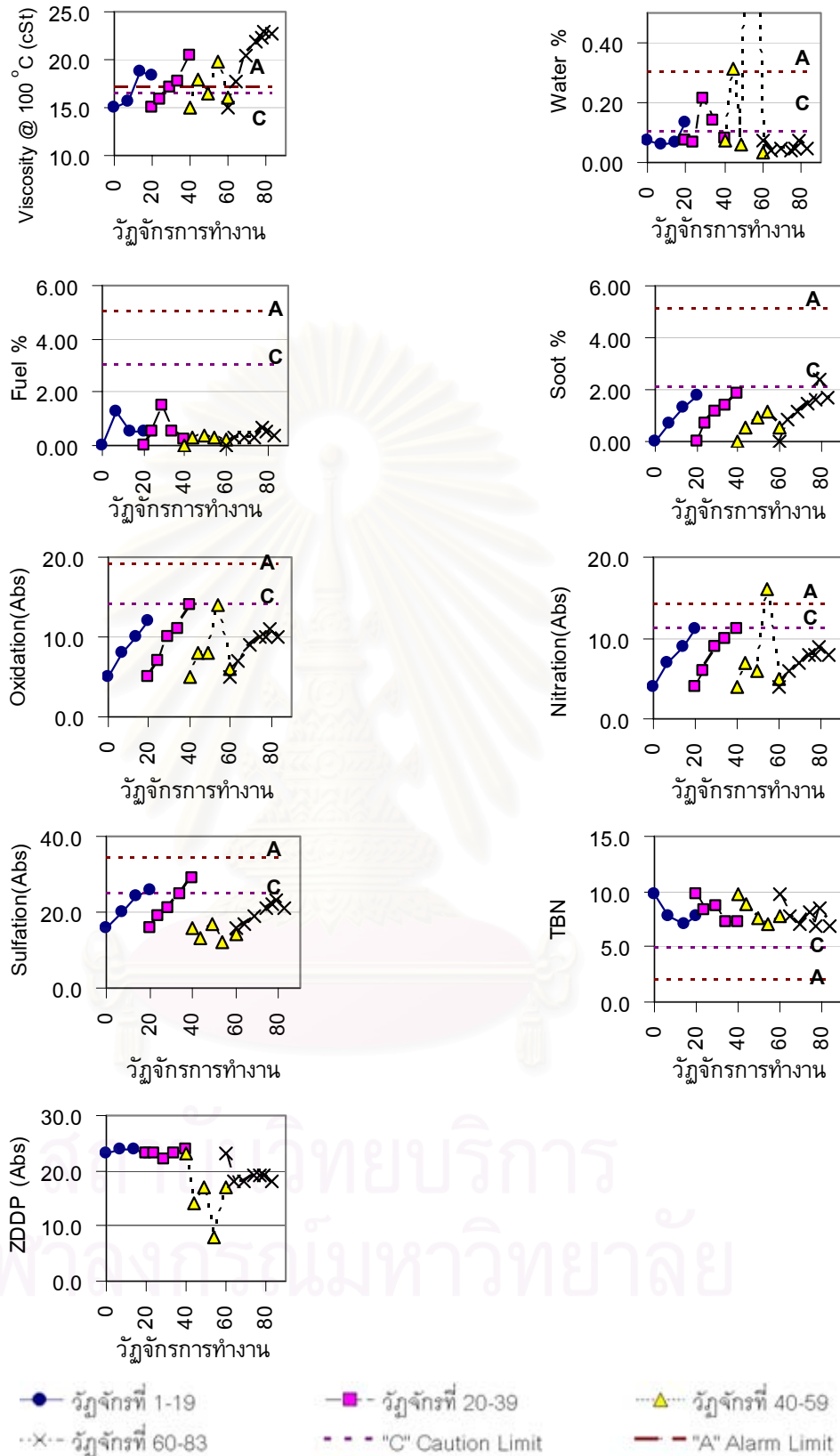
ผลการทดสอบพบว่า ค่าความหนืดที่ 100 °C มีค่าสูงเกินระดับเตือนภัย "A"¹ ก่อนครบอายุการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดในแต่ละช่วงของการใช้งานและมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดที่มากขึ้นเมื่ออายุการใช้งานของเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้น สำหรับปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง และเขม่าไม่พบว่ามีค่าเกินระดับเตือนภัยขั้นเริ่มต้น "C" ปริมาณเขม่าที่ตรวจพบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่มากขึ้น ยกเว้นปริมาณน้ำที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งเริ่มมีค่าเกินเกณฑ์การเตือนภัยเริ่มต้น "C" ที่ปลายของ

¹ค่าขอบเขตการเตือนสิ่งผิดปกติซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระดับ[8] คือ ระดับ "C" – Caution ซึ่งเป็นระดับเตือนขั้นเริ่มต้นถึงความผิดปกติต่อน้ำมันหล่อลื่นที่ควรเริ่มติดตามและเอาใจใส่ และระดับ "A"- Abnormal (หรือ Critical) ซึ่งเป็นระดับการเตือนขั้นวิกฤตซึ่งแสดงถึงสภาพน้ำมันหล่อลื่นหรือการสึกหรอของเครื่องจักรอยู่ในขอบเขตที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรได้ โดยการอ้างอิงจากหลักสถิติที่สะสมจากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ลักษณะเดียวกันเป็นจำนวนมาก

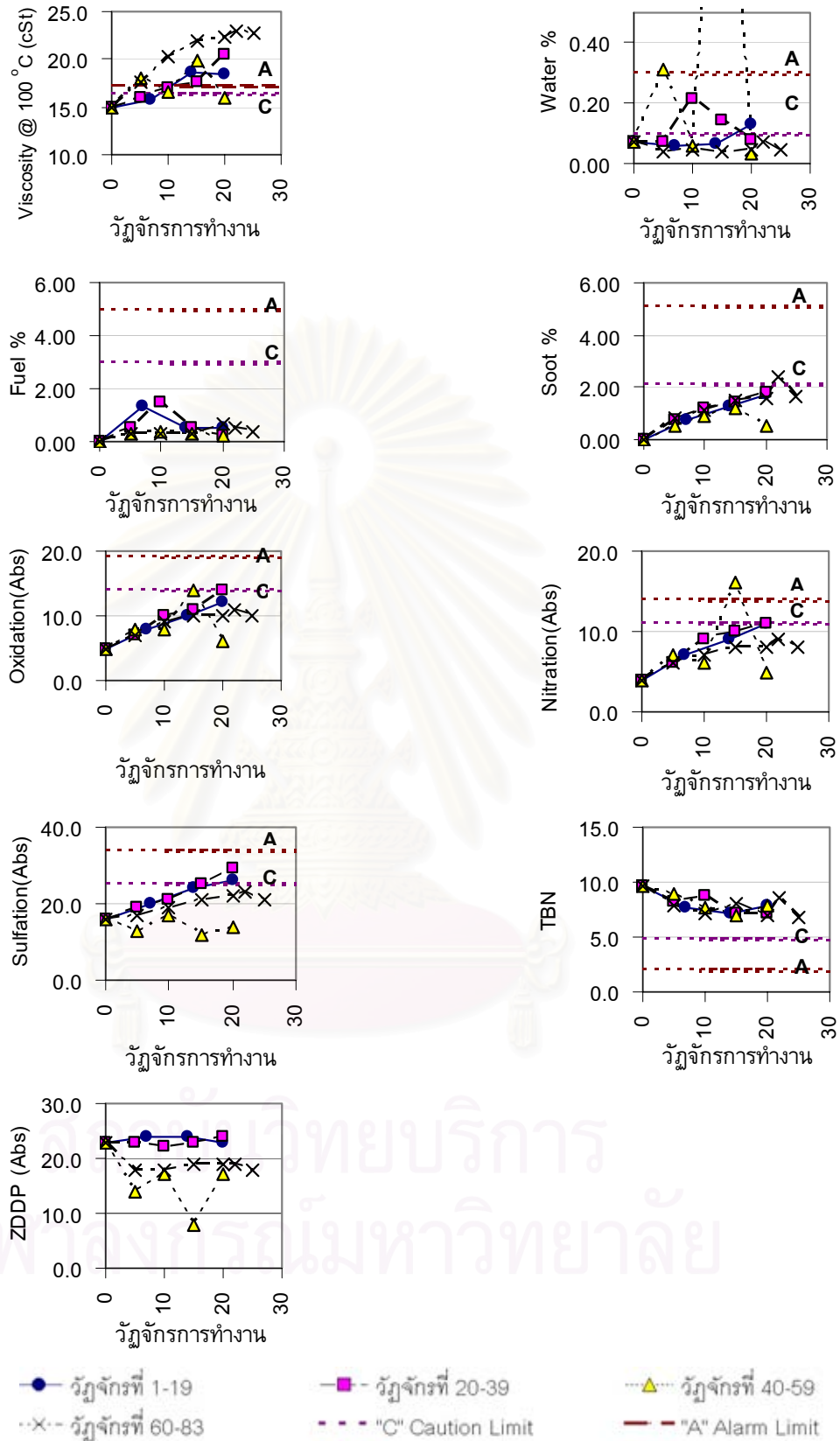
การทำงานช่วงที่ 1 และหลังจากนั้นเริ่มมีการตรวจพบปริมาณน้ำสูงเกินเกณฑ์การเตือนภัยระดับ C บ่อยครั้งขึ้น ในช่วงการทำงานที่ 3 พบว่าปริมาณน้ำมีค่าสูงเกินเกณฑ์การเตือนภัยระดับ A ในวัฏจักรที่ 44 และวัฏจักรที่ 54 (โดยหลังจากการทดสอบในวัฏจักรที่ 44 ซึ่งตรวจพบว่าปริมาณน้ำที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นมีค่าสูงเกินเกณฑ์การเตือนภัยระดับ A นั้นสามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟแสดงปริมาณการดูดซับรังสีของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วกับค่าเวฟนัมเบอร์ (Wave number , cm^{-1}) ต่างๆ เทียบกับค่าปริมาณการดูดซับของน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 5-34 จะพบว่าการกราฟของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมียอดกราฟที่มีความสูงซึ่งแตกต่างจากค่าที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใหม่อย่างเห็นได้ชัดที่ค่าเวฟนัมเบอร์ประมาณ $3,300 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ตรงกับความยาวคลื่นของน้ำแสดงให้เห็นถึงการปนเปื้อนของน้ำที่มากผิดปกติ) ผู้วิจัยจึงตรวจสอบสาเหตุของการเจือปนของน้ำที่เข้าสู่ น้ำมันหล่อลื่น ผลการตรวจสอบพบว่า มีรอยรั่วของฝาสูบบริเวณทางเดินของน้ำหล่อเย็นด้านท่อไอเสีย จึงได้ทำการเปลี่ยนฝาสูบพร้อมทั้งเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ก่อนที่จะดำเนินการทดสอบต่อไป

ในส่วนของค่าออกซิเดชัน ไนเตรชันและซัลเฟชัน พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่มากขึ้นเช่นเดียวกันซึ่งทำให้เกิดความเป็นกรดในน้ำมันหล่อลื่นมากขึ้นโดยดูจากค่า TBN ที่มีค่าต่ำลงแต่ยังไม่ถึงระดับเตือนภัยขั้นเริ่มต้น ส่วนค่า ZDDP (Zinc Dialkyldithiophosphate) เป็นสารที่ใช้ลดและยับยั้งการกัดกร่อน พบว่ามีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ในแต่ละช่วงอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น ยกเว้นในช่วงที่ 3 ซึ่งมีความผิดปกติของเครื่องยนต์ ค่า ZDDP ในช่วงนี้จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในช่วงอื่นอย่างเห็นได้ชัด จากการพิจารณาสภาพโดยรวมของคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นที่เปลี่ยนไปมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์มากกว่าปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

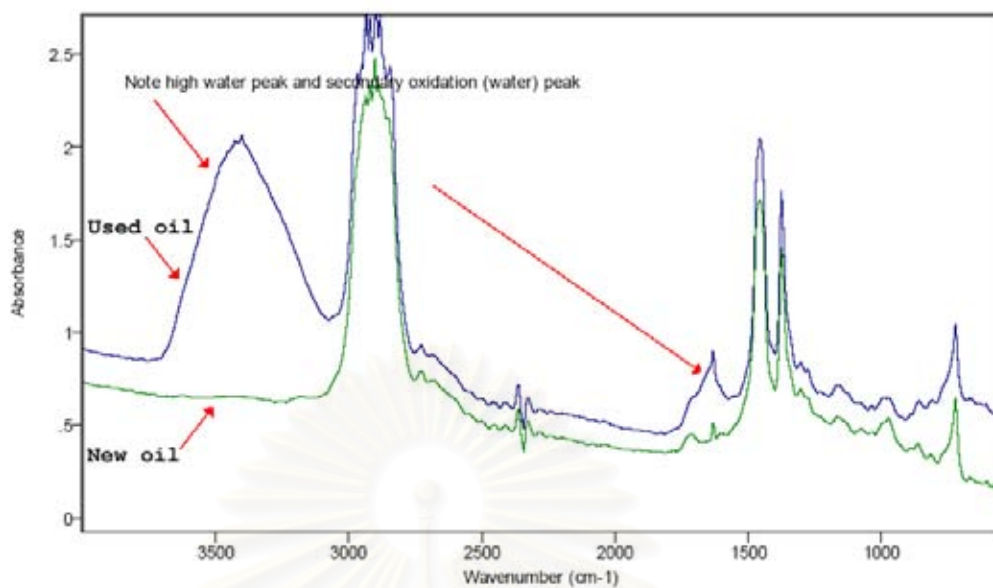


รูปที่ 5-32 แสดงคุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบ ความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ



รูปที่ 5-33 แสดงคุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบ ความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบโดยเปรียบเทียบตามอายุการใช้งาน ของน้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน

Bio-Rad Win-IR



File # 2 : 19475#1 @0

Number of Scans: 40

View Mode: Overlay

7/23/2003 12:33 PM Res=8cm-1

รูปที่ 5-34 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นด้วยวิธีการ FTIR เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากน้ำมันหล่อลื่นใหม่(New oil) กับน้ำมันหล่อลื่นเมื่อผ่านการใช้งานเมื่อสิ้นสุดการทดสอบวัฏจักรที่ 44

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.2 ปริมาณธาตุโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น

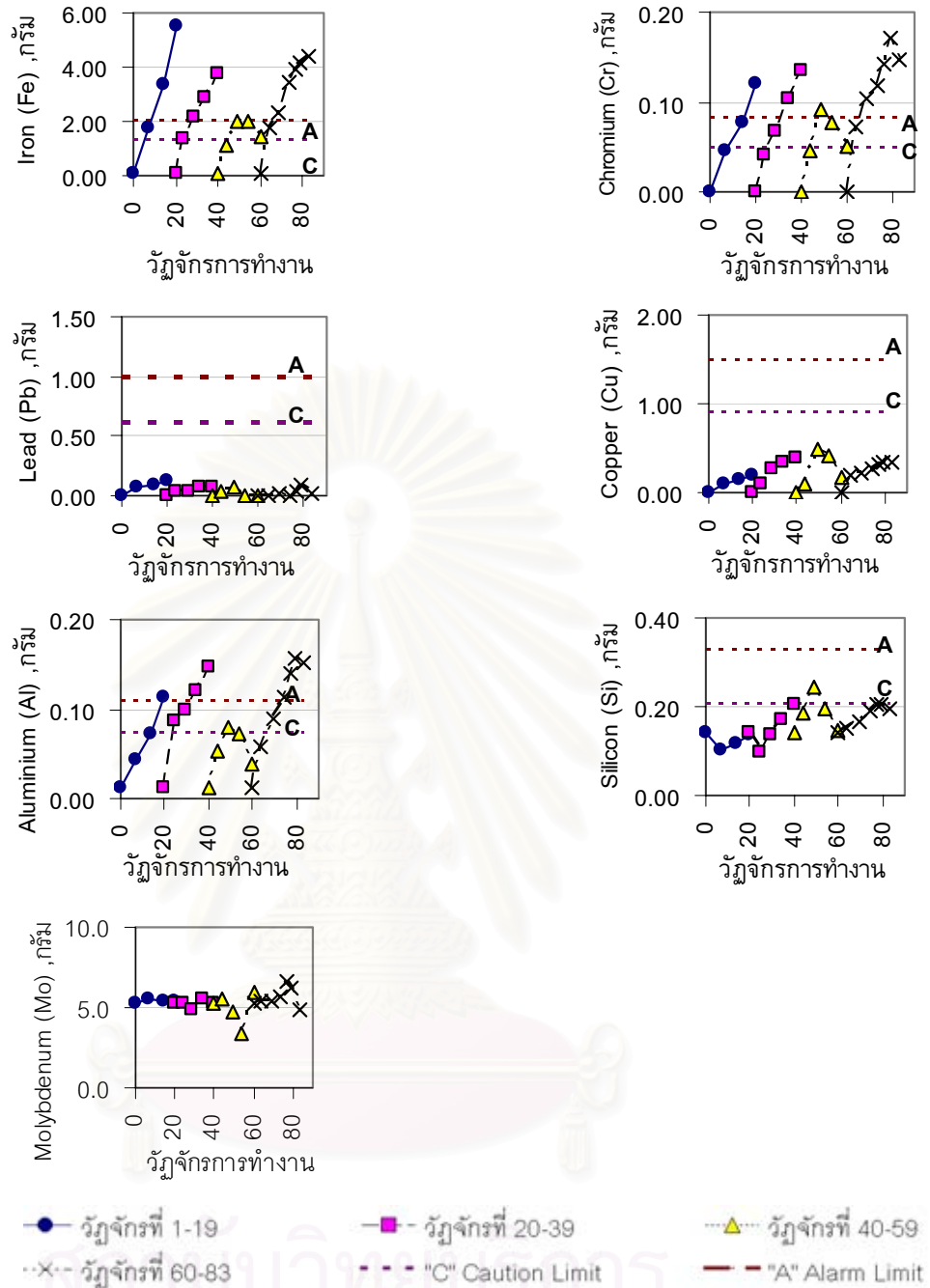
ผลการวิเคราะห์ในส่วนที่สองซึ่งจะกล่าวถึงปริมาณธาตุโลหะที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น โดยปริมาณธาตุโลหะที่เกิดขึ้นนั้นมาจากส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ ซึ่งโดยทั่วไปจะมาจากชิ้นส่วนและแหล่งต่างๆ ดังนี้

- เหล็ก (Fe)** - มาจากกระบอกสูบ เสื้อสูบเหล็กหล่อ , แหวนลูกสูบ , ไกด์วาล์ว, ลูกสูบ (เป็นส่วนผสมระหว่างเหล็กกับอลูมิเนียม) เพลาช้อเหวียง เพลาลูกเบี้ยว
- โครเมียม (Cr)** - มาจากผิวเคลือบแหวนลูกสูบ ชิ้นส่วนเพลาช้อหรือกระบอกสูบ
- ตะกั่ว (Pb) และ ทองแดง (Cu)** - มาจากแบร็งก้านสูบ บูชก้านสูบ
- อลูมิเนียม (Al)** - มาจากลูกสูบ หรือมาจากทราายหรือผงฝุ่นก็ได้
- ซิลิกอน (Si)** - มาจากฝุ่นละอองและเศษผงจากอากาศภายนอก
- โมลิบดีนัม (Mo)** มาจากแหวนลูกสูบและเป็นส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่น

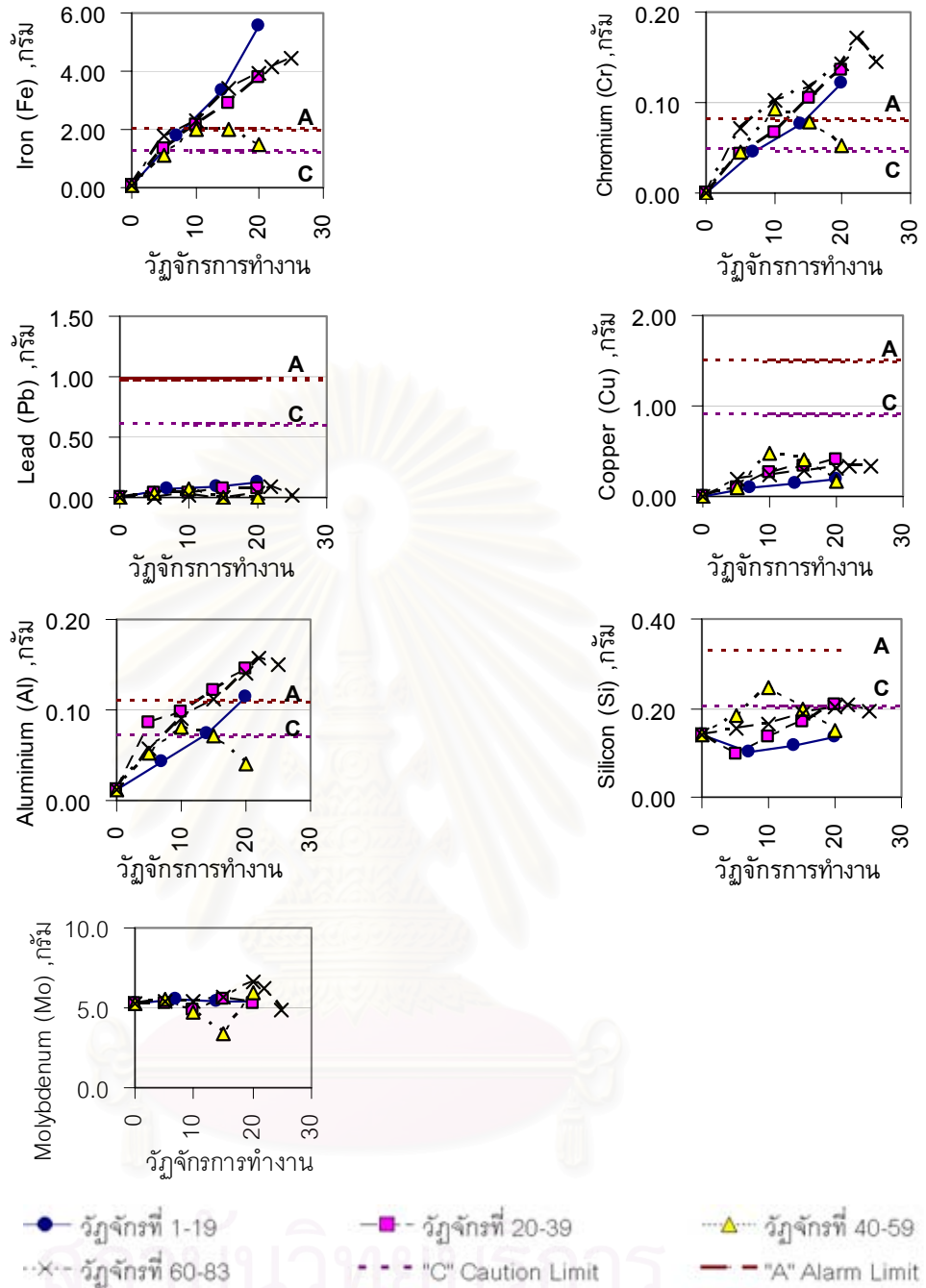
ในงานวิจัยนี้ปริมาณธาตุโลหะปนเปื้อนแสดงในรูปของปริมาณโลหะสะสมมีหน่วยเป็นกรัม ตลอดช่วงวัฏจักรการทำงานของการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบแสดงในรูปที่ 5-35 และรูปที่ 5-36 แสดงปริมาณธาตุโลหะปนเปื้อนเมื่อเปรียบเทียบกับอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน โดยค่าเริ่มต้นในแต่ละช่วง คือ ที่วัฏจักรที่ 0, 20, 40, และ 60 แสดงด้วยค่าที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใหม่

จากผลการทดสอบสามารถพิจารณาแยกเป็นธาตุโลหะปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดได้ดังนี้ ปริมาณเหล็ก(Fe), โครเมียม(Cr), อลูมิเนียม(Al) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของลูกสูบและแหวนลูกสูบมีค่าสูงเกินระดับเกณฑ์การเตือนภัยขั้นวิกฤต "A" ก่อนครบอายุการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นและมีอัตราการเพิ่มขึ้นของการปนเปื้อนของธาตุโลหะเหล่านี้มากขึ้นตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์เมื่อพิจารณาที่อายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน สำหรับปริมาณโมลิบดีนัม(Mo) มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น ยกเว้นในช่วงที่ 3 ซึ่งพบว่าเครื่องยนต์ผิดปกติ ปริมาณโมลิบดีนัมในช่วงนี้มีค่าต่ำกว่าค่าในช่วงอื่นอย่างเห็นได้ชัด

ผลจากค่าความหนืดของน้ำมันที่สูงขึ้นนี้ทำให้คุณสมบัติในการหล่อลื่นของน้ำมันเสื่อมสภาพลงการสึกหรอจึงสูงขึ้น นอกจากนี้ปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเองรวมทั้งการใช้งานที่มีอุณหภูมิสูงและการสะสมของปริมาณเขม่าที่เพิ่มมากขึ้นตามอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นจะมีส่วนเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากยิ่งขึ้นส่งผลให้การสึกหรอมีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 5-35 แสดงปริมาณธาตุจากชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ

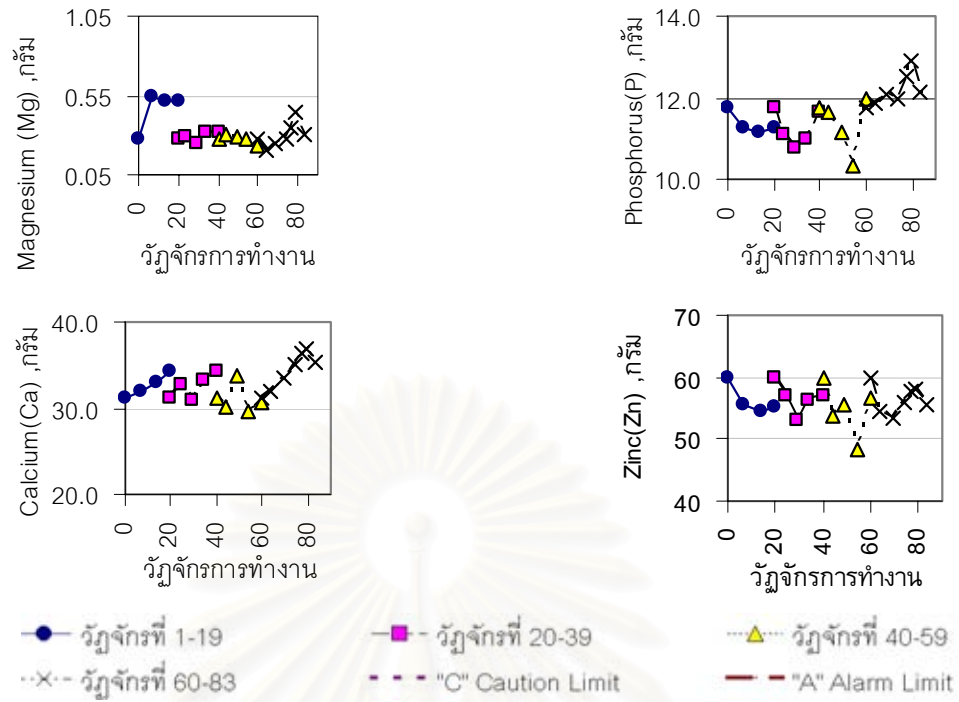


รูปที่ 5-36 แสดงปริมาณธาตุจากชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบโดยเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน

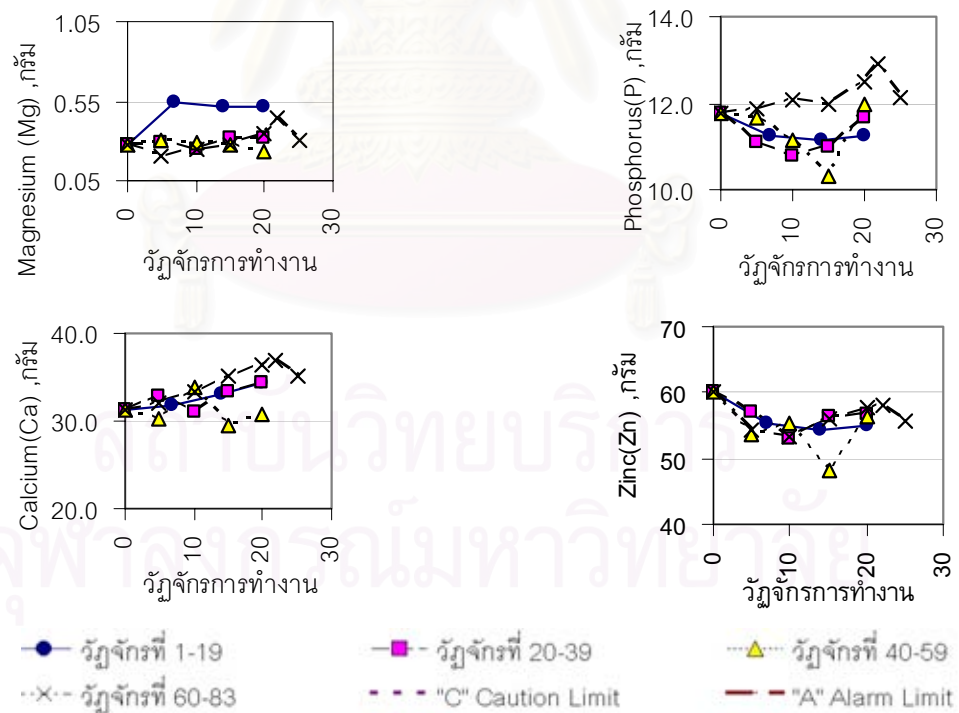
5.4.3 ปริมาณสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นส่วนที่สามซึ่งเป็นส่วนสุดท้ายคือ การวิเคราะห์ปริมาณสารเติมแต่งที่พบในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในการทดสอบซึ่งประกอบด้วย แมกนีเซียม (Mg) , ฟอสฟอรัส (P) , แคลเซียม (Ca) และสังกะสี (Zn) โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารเหล่านี้แสดงได้ดังรูปที่ 5-37 แสดงปริมาณโลหะสะสมเหล่านี้ตลอดวัฏจักรการทำงานตลอดการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบและในรูปที่ 5-38 ในรูปของปริมาณโลหะสะสมในหน่วยกรัมในแต่ละวัฏจักรการทำงานโดยพิจารณาที่อายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน โดยค่าเริ่มต้นในแต่ละช่วง คือที่วัฏจักรที่ 0, 20, 40, และ 60 แสดงด้วยค่าที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใหม่

ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณธาตุแมกนีเซียมมีค่าค่อนข้างคงที่โดยค่าจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงปลายของอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น ส่วนปริมาณธาตุแคลเซียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นค่อนข้างชัดเจนตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มมากขึ้น สำหรับปริมาณธาตุฟอสฟอรัสไม่สามารถบอกแนวโน้มได้อย่างแน่ชัด โดยผลการวิเคราะห์ในช่วงที่ 1 ถึงช่วงที่ 3 (วัฏจักรที่ 1 ถึง 59) มีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันคือ ปริมาณที่ตรวจวัดได้จะมีค่าลดลงก่อนแล้วค่าก็กลับเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งครบอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น ยกเว้นผลการทดสอบในช่วงที่ 4 ที่ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสมีค่าค่อนข้างคงที่ก่อนที่จะเพิ่มมากขึ้นในช่วงปลายของอายุการใช้งานน้ำมันหล่อลื่น ในขณะที่ปริมาณธาตุสังกะสีมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุสารเติมแต่งที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบความทนทานทำให้ไม่สามารถบอกแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในบางช่วงของการทดสอบนั้นมักจะเป็นช่วงที่สอดคล้องกับการเติมน้ำมันหล่อลื่นใหม่แทนน้ำมันที่ขาดหายไป ซึ่งอาจเป็นเหตุที่ทำให้ปริมาณธาตุต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าเปลี่ยนแปลงได้



รูปที่ 5-37 แสดงปริมาณสารเติมแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เบนแทนทดสอบ



รูปที่ 5-38 แสดงปริมาณสารเติมแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นโดยเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เบนแทนทดสอบ

5.5 ผลการตรวจพินิจชิ้นส่วน

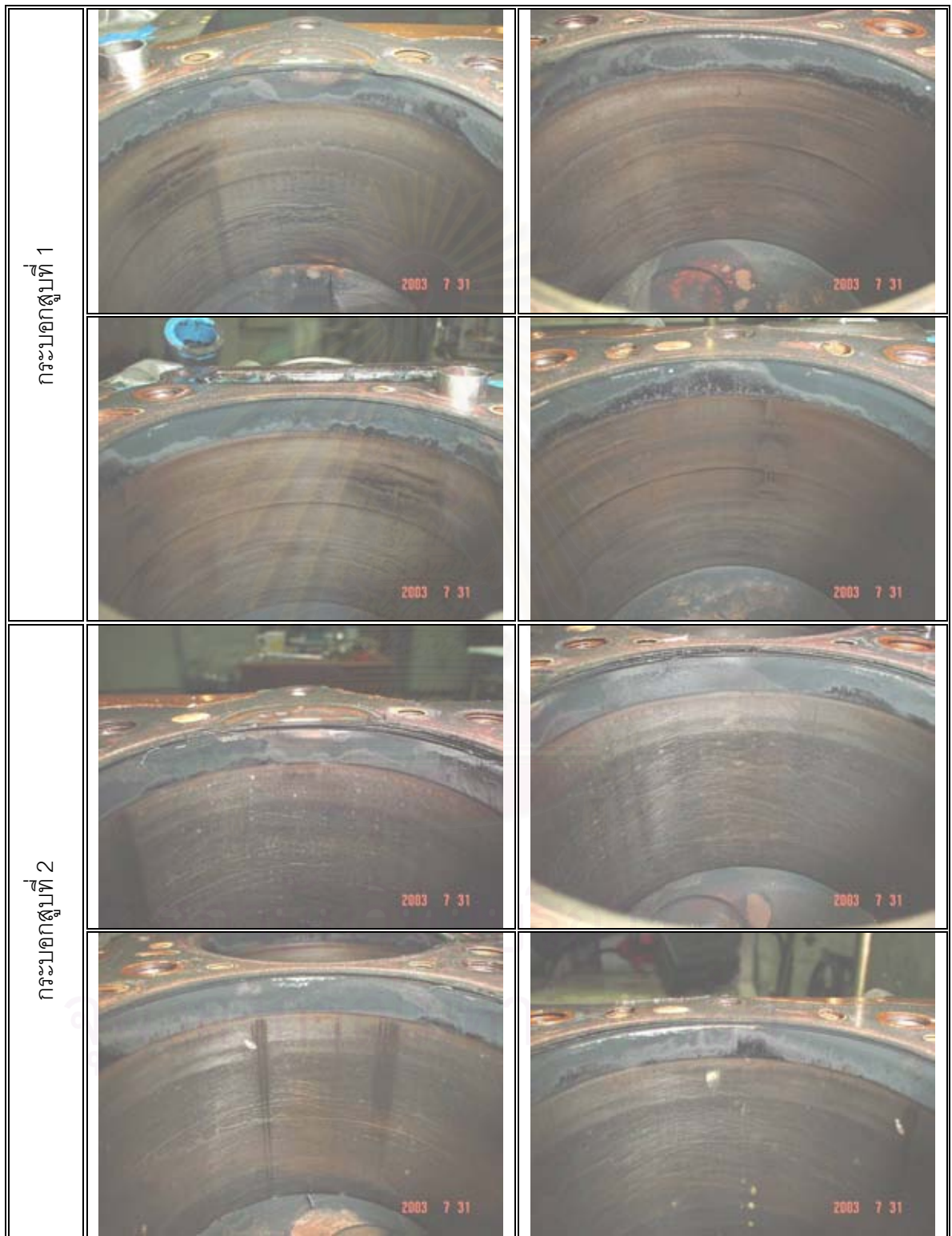
หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ ได้ทำการถอดชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์ เพื่อตรวจพินิจสภาพของชิ้นส่วนต่างๆ และได้ทำการถ่ายภาพประกอบไว้ ซึ่งชิ้นส่วนที่ทำการตรวจพินิจประกอบไปด้วย แบริ่งก้านสูบ ลูกสูบ ผันังกระบอกสูบ ฝาสูบ และหัวฉีด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.5.1 ผันังกระบอกสูบ ลูกสูบและแบริ่งก้านสูบ

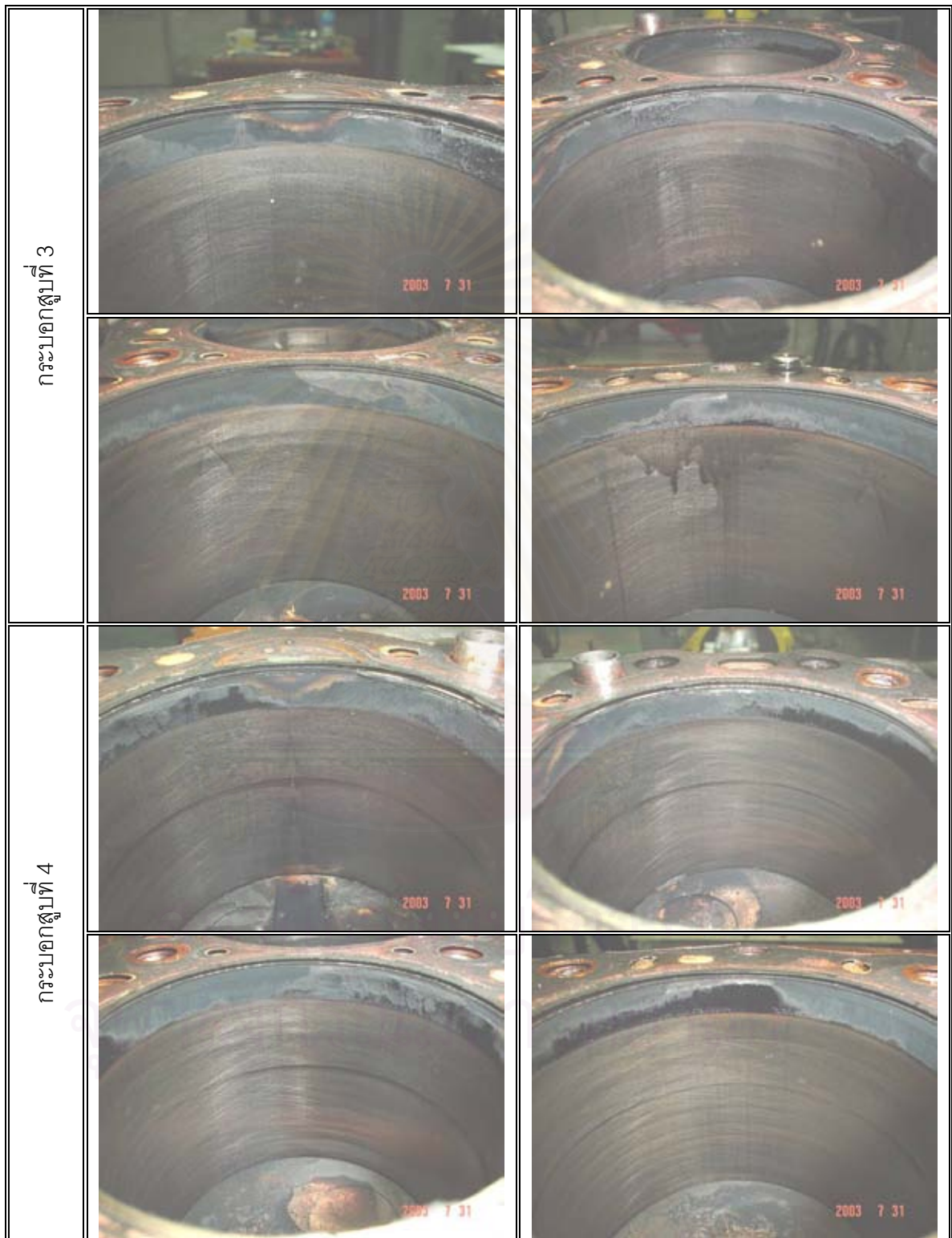
จากตารางที่ 5-1 แสดงภาพถ่ายของผันังของกระบอกสูบ พบรอยขีดข่วนที่ผันังกระบอกสูบ ในลักษณะของการใช้งานปกติ ส่วนบริเวณช่วงปลายของห้องเผาไหม้ของผันังกระบอกสูบส่วนที่ติดกับฝาสูบ มีปริมาณคราบเขม่าเป็นตะกอนแข็งที่เกาะตัวสะสมอยู่เป็นจำนวนมากอยู่โดยรอบเขม่าที่เกิดขึ้นมีลักษณะค่อนข้างหนาบริเวณด้านทางออกของห้องเผาไหม้ช่วยเหมือนกันทั้งสี่สูบ สำหรับภาพถ่ายของลูกสูบทั้งสี่สูบได้แสดงไว้ในตารางที่ 5-2 ผลการตรวจพินิจพบว่า บริเวณขอบบนของลูกสูบมีรอยขีดขูดทั้งขนาดใหญ่และเล็กโดยรอบขอบบนของลูกสูบ ส่วนหัวของลูกสูบที่สัมผัสกับการเผาไหม้โดยตรงมีปริมาณคราบเขม่าที่เกาะตัวสะสมอยู่เป็นจำนวนมากโดยเฉพาะทางด้านฝั่งเดียวกับห้องเผาไหม้ล่องหน้า บริเวณร่องแหวนพบตะกอนเขม่าเกาะตัวสะสมอยู่โดยรอบ โดยเฉพาะที่ปากแหวน นอกจากนี้ยังตรวจพบคราบยางเหนียวสะสมอยู่บริเวณร่องแหวนน้ำมันเป็นจำนวนมาก โดยตรวจพบว่ามีความลักษณะเดียวกันทั้งสี่สูบ ลักษณะของคราบเขม่าที่เกิดขึ้นนั้นมีสาเหตุมาจากผลของการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ รวมทั้งผลของคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบ ผสมดีเซลที่มี %ash และ carbon residue ที่สูง

จากตารางที่ 5-3 แสดงภาพถ่ายของแบริ่งก้านสูบจากเครื่องยนต์ โดยรูปชิ้นส่วนทางด้านซ้ายมือเป็นแบริ่งขึ้นบนติดกับก้านสูบ ชิ้นส่วนทางขวามือเป็นชิ้นส่วนที่ติดกับประกับก้านสูบ ผลการตรวจพินิจ พบว่ามีรอยขีดขูดขนาดเล็กอยู่ทั่วไป และชิ้นส่วนแบริ่งก้านสูบของสูบที่ 3 มีรอยจุดคราบลักษณะเป็นวงกลมเล็กน้อยกระจายอยู่บนผิวแบริ่ง ซึ่งน่าจะเกิดจากสภาพของการขาดสารหล่อลื่นและการใช้งานที่อุณหภูมิที่สูงเกินไป

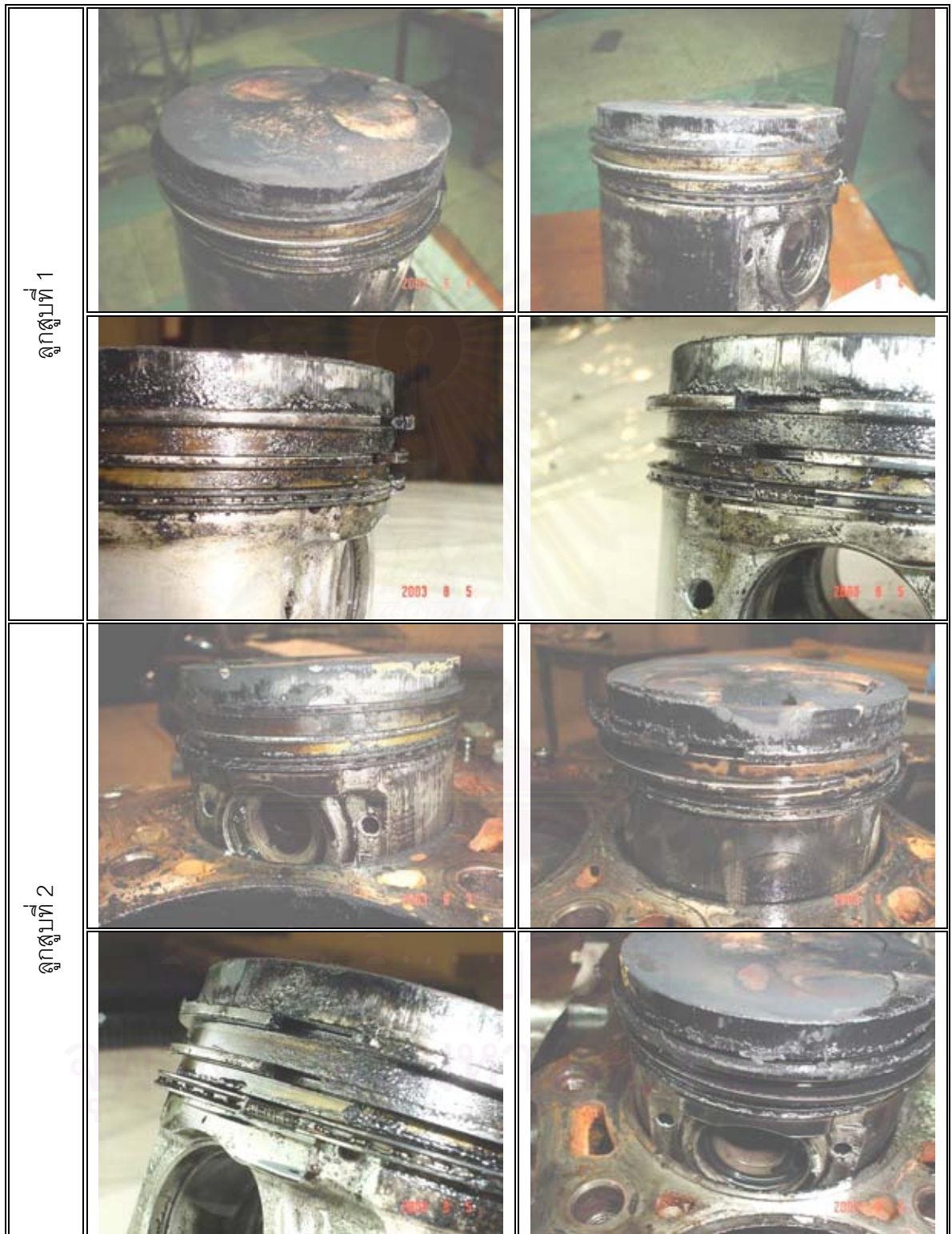
ตารางที่ 5-1 แสดงภาพถ่ายบริเวณผนังกระบอกสูบ หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ



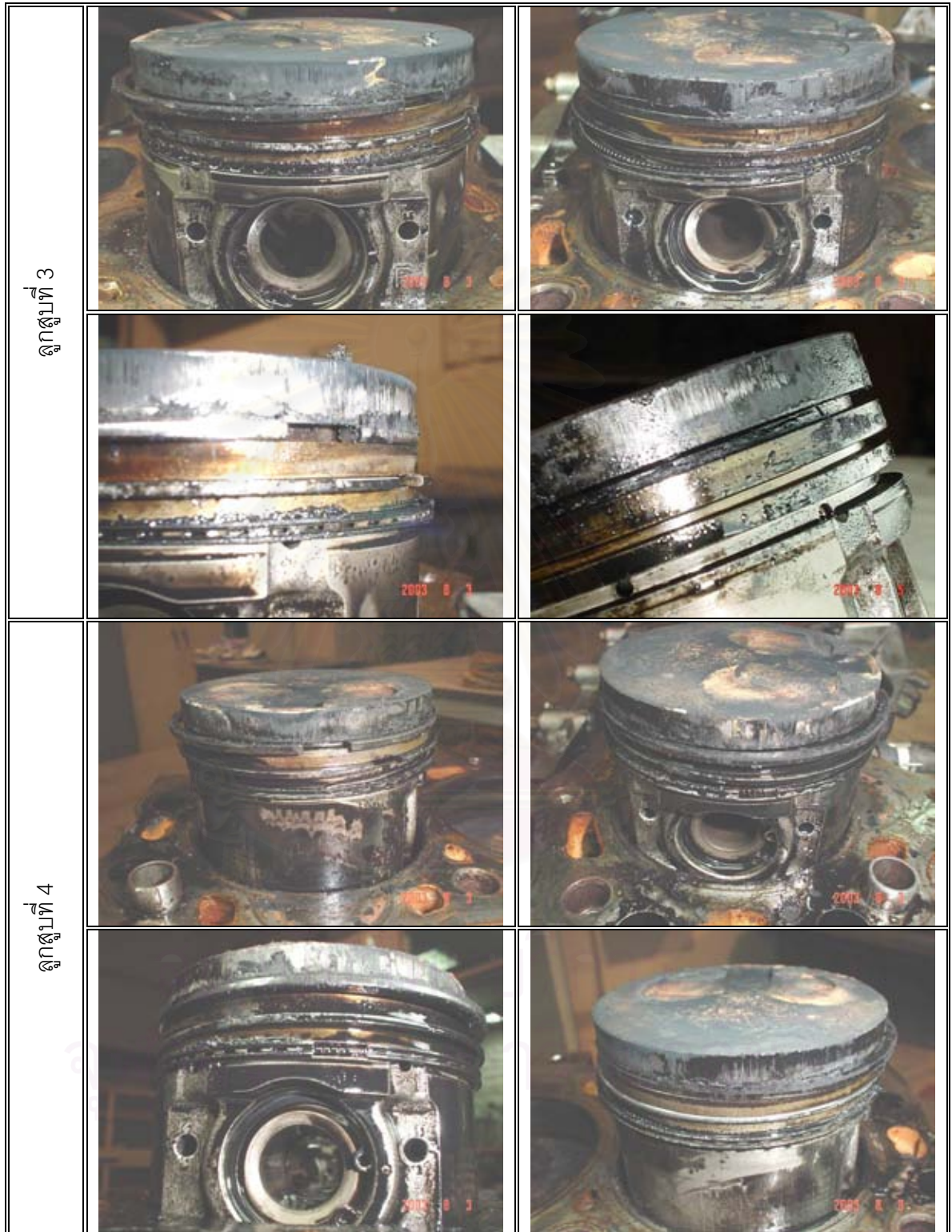
ตารางที่ 5-1(ต่อ) แสดงภาพถ่ายบริเวณผนังกระบอกสูบ หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ











ตารางที่ 5-2 แสดงภาพถ่ายลูกสูบ หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ



ตารางที่ 5-2 (ต่อ) แสดงภาพถ่ายลูกสูบ หลังผ่านการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ



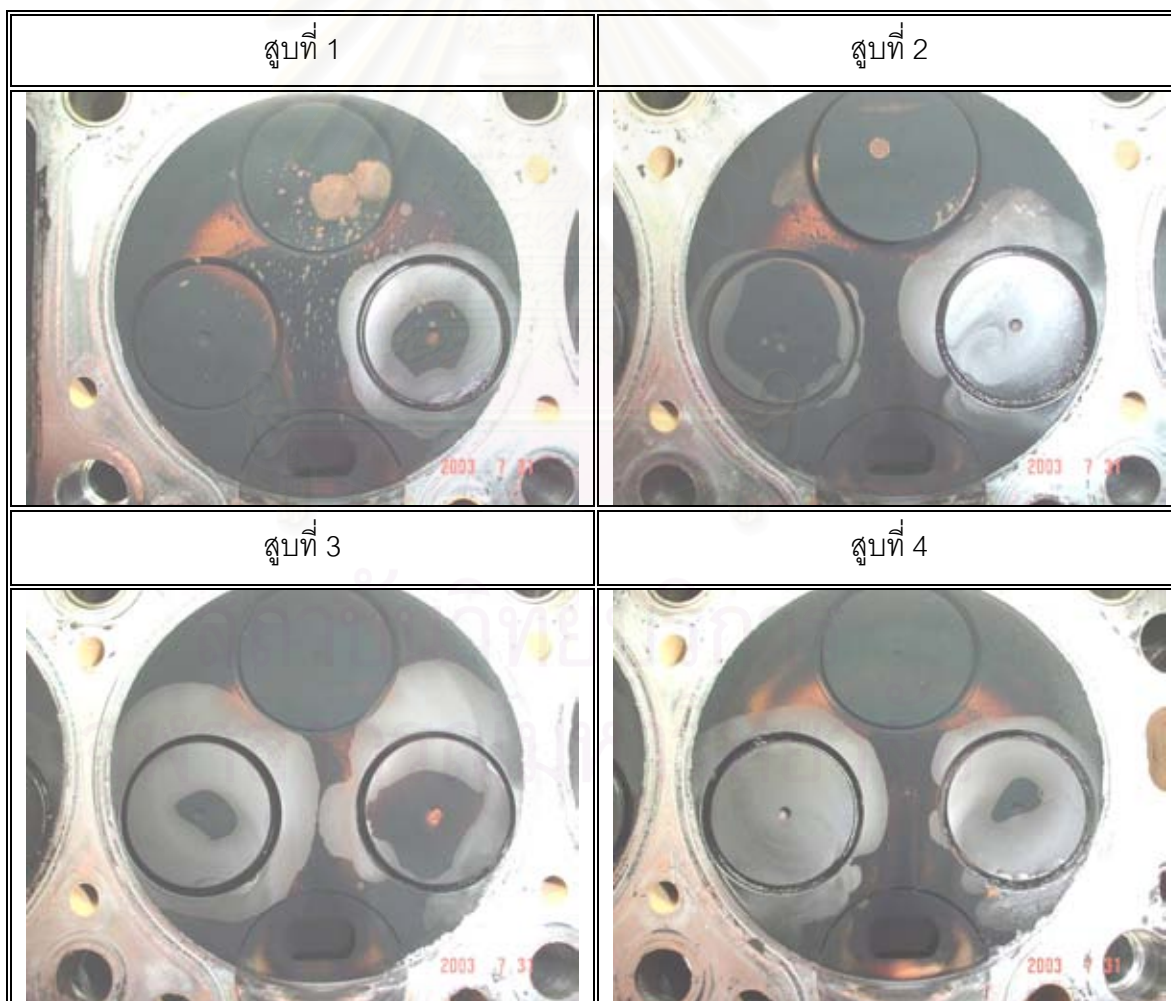
ตารางที่ 5-3 แสดงภาพถ่ายแบร็งก์้านสูบ หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

	ตัวบน	ตัวล่าง
สูบที่ 1		
สูบที่ 2		
สูบที่ 3		
สูบที่ 4		

5.5.2 ฝาสูบและหัวฉีด

จากตารางที่ 5-4 แสดงภาพถ่ายฝาสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ ผลการตรวจพินิจพบว่า มีปริมาณเขม่าตกค้างติดอยู่เต็มพื้นที่ฝาสูบและหน้าวาล์วและพบคราบตะกรันสีส้มแดงบริเวณกลางฝาสูบ และพบปริมาณเขม่าหนาอยู่ในแนวขอบของกระบอกสูบและบริเวณร่องบ่าวาล์วไอดีของทั้งสี่สูบในลักษณะเดียวกัน จากตารางที่ 5-5 ซึ่งแสดงภาพถ่ายของหัวฉีดหลังผ่านการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ ผลการตรวจพินิจพบคราบเขม่าเป็นตะกอนแข็งติดอยู่ที่หน้าหัวฉีดเป็นจำนวนมาก สำหรับหัวฉีดสูบที่ 3 พบว่าคราบเขม่าที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากจนทำให้เบ้าหัวฉีดหลุดติดออกมาพร้อมกับการถอดหัวฉีดออกมาเพื่อตรวจสอบภาพ

ตารางที่ 5-4 แสดงภาพถ่ายฝาสูบ หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ



ตารางที่ 5-5 แสดงภาพถ่ายของหัวฉีดหลังจากการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

หัวฉีดสูบที่ 1		
หัวฉีดสูบที่ 2		
หัวฉีดสูบที่ 3		
หัวฉีดสูบที่ 4		

หลังจากที่ได้ทำการตรวจพินิจชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์และหัวฉีด ผู้วิจัยได้ทดสอบค่าความดันในการเริ่มฉีดน้ำมันและลักษณะของสเปรย์ของหัวฉีดโดยใช้ปั๊มสร้างแรงดันสำหรับทดสอบหัวฉีด ดังแสดงในตารางที่ 5-6 และในรูปที่ 5-39 ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ ค่าความดันในการเริ่มฉีดน้ำมันของหัวฉีดมีค่าต่ำลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นก่อนการทดสอบความทนทาน (ค่าเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 120 bar) จากนั้นผู้วิจัยได้วัดปริมาณการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงของปั๊มหัวฉีดที่ตำแหน่งการจ่ายน้ำมันที่ภาระสูงสุด (Full load delivery) ที่ความเร็วรอบของปั๊มเท่ากับ 1,250 รอบต่อนาทีและ 500 รอบต่อนาที ผลการทดสอบพบว่า ปริมาณการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยต่อ 1 ระยะเวลา (Average injection quantity per stroke, mm³/st) มีค่าลดลงจากค่าก่อนการทดสอบดังนี้คือ ที่ความเร็วรอบ 1,250 รอบต่อนาที ค่าลดลงจาก 49 mm³/st เหลือ 25 mm³/st และที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ค่าลดลงจาก 47.5 mm³/st เหลือ 20 mm³/st สำหรับลักษณะของสเปรย์ของน้ำมันที่ออกจากหัวฉีดมีลักษณะเป็นเส้นไม่พุ่งกระจายดังแสดงในรูปที่ 5-39

ในส่วนของการตรวจพินิจชิ้นส่วนภายในระบบปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยการถ่ายภาพ² ด้วยกล้องจุลทรรศน์ขนาดกำลังขยาย 100 เท่าเพื่อดูลักษณะการสึกหรอที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน ดังแสดงในรูปที่ 5-40 พบการกัดกร่อนเกิดขึ้นที่ผิวโลหะของลูกปั๊มและแผ่นชิมรองหน้าลูกปั๊มดังแสดงในรูปที่ 5-40(ล่าง) ในลักษณะเป็นหลุมเป็นบ่อโดยการสึกหรอที่เกิดขึ้นนี้น่าจะเป็นผลจากคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลที่มีค่าเป็นกรดเล็กน้อย[32] ผลของการสึกหรอที่เกิดขึ้นมีผลต่อการจ่ายน้ำมันที่ผิดพลาดส่งผลให้ความดันของน้ำมันที่ทางจ่ายออกของลูกปั๊มมีค่าลดลงเนื่องจากการรั่วไหลของน้ำมันในกระบอกสูบของปั๊มจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ประกอบกับไขของน้ำมันปาล์มดิบที่เกาะอยู่ตามชิ้นส่วนต่างๆ ของปั๊มดังแสดงในรูปที่ 5-41(บน) ซึ่งอาจทำให้เกิดการอุดตันตามรูน้ำมันและทำให้การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนในปั๊มที่เป็นกลไก โดยเฉพาะส่วนที่มีผลต่อการควบคุมปริมาณการจ่ายน้ำมันหรือสร้างแรงดันให้กับน้ำมันเชื้อเพลิงเคลื่อนที่ได้ไม่สะดวก ทำให้ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงที่ไม่ถูกต้องมีผลให้ลักษณะของสเปรย์จากหัวฉีดด้อยลงดังแสดงในรูปที่ 5-39 และเป็นสาเหตุของการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้สมรรถนะที่ได้จากเครื่องยนต์ลดลง โดยแรงบิดที่ได้มีค่าต่ำลงและมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น

²รายละเอียดของชิ้นส่วนปั๊มฉีดเชื้อเพลิงนั้นได้ถ่ายภาพไว้อย่างละเอียดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอไว้เป็นบางส่วน สำหรับรายละเอียดทั้งหมดของรูปภาพสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้ที่ห้องปฏิบัติการเครื่องยนต์สันดาปภายใน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5.3 ไล่กรองน้ำมันเชื้อเพลิง

ในส่วนของไล่กรองน้ำมันเชื้อเพลิงจากการตรวจพินิจไม่พบว่ามี การอุดตันของไล่กรอง พบเพียงสีของไล่กรองที่เปลี่ยนเป็นสีส้มแดงและคราบน้ำมันติดอยู่ที่กระดาศกรอง ดังแสดงในรูปที่ 5-42

ตารางที่ 5-6 แสดงข้อมูลความดันในการเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

รายการ	ความดันในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (bar)	
	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ 225 ชม.
หัวฉีดจากเครื่องยนต์ สูบที่ 1	≈ 120	≈ 115
หัวฉีดจากเครื่องยนต์ สูบที่ 2	≈ 120	≈ 110
หัวฉีดจากเครื่องยนต์ สูบที่ 3	≈ 120	≈ 115
หัวฉีดจากเครื่องยนต์ สูบที่ 4	≈ 120	≈ 100



รูปที่ 5-39 แสดงสเปรย์น้ำมันที่มีลักษณะเป็นเส้นไม่ฟุ้งกระจาย



รูปที่ 5-40 แสดงภาพขยายการกัดกร่อนเกิดขึ้นที่ผิวโลหะของลูกระบายใน

ลักษณะเป็นหลุมเป็นบ่อ ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	
<p>สลักยึดท่อน้ำมันที่ทางเข้าปั๊มเชื้อเพลิง</p>	<p>ภาพขยายในกรอบเล็กของคราบไขมันจากกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยายขนาด 50 เท่า)</p>
	
<p>แหวนรองหน้าลูกปั๊ม</p>	<p>ภาพขยายในกรอบเล็กของรอยการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับแหวนรองในลักษณะการกัดกร่อน</p>

รูปที่ 5-41 แสดงคราบไขมันดำที่ติดกับชิ้นส่วนปั๊มเชื้อเพลิง(บน) และการสึกหรอในลักษณะการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับแหวนรองหน้าลูกปั๊ม(ล่าง) หลังการทดสอบความทนทาน



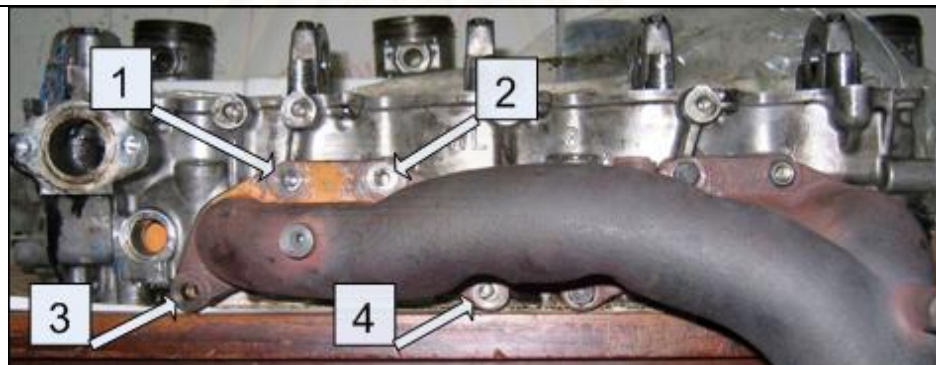
รูปที่ 5-42 แสดงภาพถ่ายได้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง ภายหลังจากการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบเป็นระยะเวลา 225 ชั่วโมง

5.5.4 ท่อร่วมไอเสีย

จากรูปที่ 5-43 แสดงภาพการเสียรูปของท่อร่วมไอเสียหลังผ่านการใช้งานภายใต้สภาวะการทำงานอย่างหนักด้วยการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ ผลการตรวจพินิจพบว่า รูที่ใช้สำหรับชั้นสกรูยึดท่อไอเสียเกิดการเยื้องศูนย์ไปจากแนวเดิม ซึ่งอาจเป็นผลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีอุณหภูมิไอเสียสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเป็นระยะเวลาานาน [จากผลการทดสอบสมรรถนะที่สภาวะภาระสูงสุดในหัวข้อที่ 5.1.4 พบว่า ที่สภาวะการทำงานที่ 1 (ภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,250 รอบต่อนาที) และที่สภาวะการทำงานที่ 2 (ภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,750 รอบต่อนาที) ของการทดสอบความทนทาน อุณหภูมิของไอเสียเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 5°C และอุณหภูมิไอเสียของการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 8.5°C ทุกความเร็วรอบที่ทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุด] ผลที่ได้จากการทดสอบทำให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมว่า ในกรณีที่มีการนำเชื้อเพลิงทดแทนมาใช้ซึ่งมีคุณสมบัติและผลกระทบจากการนำมาใช้งานที่แตกต่างกัน จึงควรคำนึงถึงการออกแบบคุณสมบัติของวัสดุให้มีความเหมาะสมด้วย



รูปที่ 5-43(บน) แสดงท่อร่วมไอเสียของเครื่องยนต์



ตำแหน่งที่ 1



ตำแหน่งที่ 2



ตำแหน่งที่ 3



ตำแหน่งที่ 4

รูปที่ 5-43(ล่าง) แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับท่อร่วมไอเสียหลังจากการทดสอบความทนทาน เครื่องยนต์บินแทนทดสอบ

5.6 ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน

หลังจากทำการตรวจพินิจชิ้นส่วนภายในเปรียบเทียบระหว่างทั้งสองเครื่องยนต์แล้วได้ทำ ความสะอาดคราบตะกอนและเขม่าออก เพื่อทำการชั่งน้ำหนักเปรียบเทียบกับน้ำหนักของชิ้นส่วน ก่อนการทดสอบที่ได้ทำการชั่งไว้ก่อนแล้ว การเปรียบเทียบมุ่งเน้นตรวจ 2 กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับ น้ำมันเชื้อเพลิง คือ กลุ่มชิ้นส่วนจากห้องเผาไหม้ และกลุ่มชิ้นส่วนปั๊มหัวฉีด

ผลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนต่างๆ ในห้องเผาไหม้แสดงดังตารางที่ 5-7 และผลการชั่งน้ำหนัก ชิ้นส่วนปั๊มหัวฉีดแสดงดังตารางที่ 5-8

ตารางที่ 5-7 แสดงผลการชั่งน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ในห้องเผาไหม้

ชิ้นส่วน		น้ำหนัก (กรัม)				
		เริ่มต้น	สิ้นสุด 225 ชม.	%เปลี่ยนแปลง		
เครื่องยนต์	ลูกสูบ	ลูกสูบที่ 1	676.54	676.76	0.033	
		ลูกสูบที่ 2	675.21	675.68	0.070	
		ลูกสูบที่ 3	675.82	676.35	0.078	
		ลูกสูบที่ 4	674.95	675.08	0.019	
	แหวนลูกสูบ	แหวนตัวบน	ลูกสูบที่ 1	17.7218	17.6189	-0.581
			ลูกสูบที่ 2	17.8075	17.7828	-0.139
			ลูกสูบที่ 3	17.6959	17.6581	-0.214
			ลูกสูบที่ 4	17.7361	17.6687	-0.380
		แหวนตัวที่สอง	ลูกสูบที่ 1	15.8171	15.7987	-0.116
			ลูกสูบที่ 2	15.8895	15.8748	-0.093
			ลูกสูบที่ 3	15.7154	15.6995	-0.101
			ลูกสูบที่ 4	15.8807	15.8645	-0.102
		แหวนน้ำมัน	ลูกสูบที่ 1	12.2681	12.2258	-0.345
			ลูกสูบที่ 2	12.1717	12.1456	-0.214
			ลูกสูบที่ 3	12.1552	12.1252	-0.247
			ลูกสูบที่ 4	12.1987	12.1640	-0.284

ตารางที่ 5-8 แสดงน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ส่วนของปั๊มหัวฉีดหลังจากการทดสอบ

ความทนทานบนแท่นทดสอบ

ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)	ชิ้นส่วน	น้ำหนัก (กรัม)	ชิ้นส่วน	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด 225 ชม.	%เปลี่ยนแปลง	
ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง	ลูกปั๊ม	56.3451	56.3443	-0.001	
	จานลูกเบี้ยว	118.1128	118.1091	-0.003	
	วาล์วส่งน้ำมัน	1.9258	1.9308	0.260	
	เสี้ยววาล์วส่งน้ำมัน	4.0684	4.0249	-1.069	
	แผ่นรองสปริงลูกปั๊ม	27.7125	27.7122	-0.001	
	แหวนรองสปริง 1	3.7570	3.7567	-0.008	
	แหวนรองสปริง 2	3.1157	3.1154	-0.010	
	ลูกกลิ้ง	ตัวใน	5.2385	5.2385	0.000
		ตัวกลาง	3.4637	3.4539	-0.283
		ตัวนอก	4.8556	4.8553	-0.006

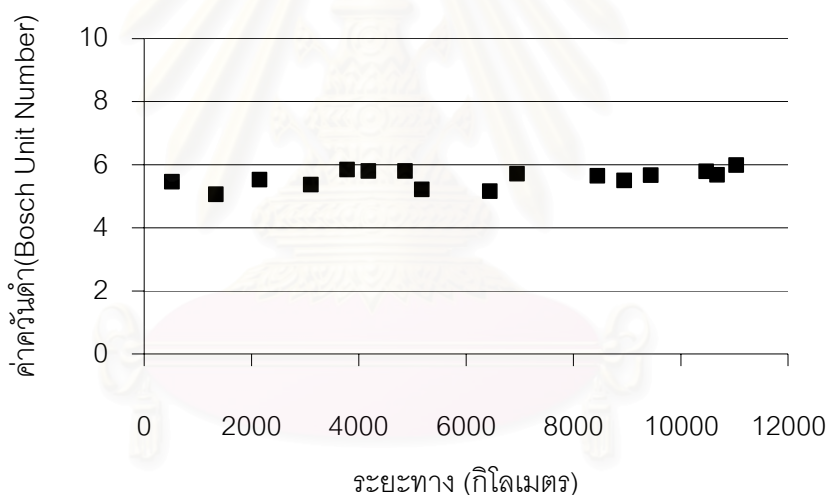
จากตารางที่ 5-7 แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักของชิ้นส่วนต่างๆ ที่ได้ทำการตรวจวัดไว้มีน้ำหนักลดลงเนื่องมาจากการสึกหรอของชิ้นส่วนหลังจากการใช้งาน ส่วนน้ำหนักของลูกสูบซึ่งผลการชั่งน้ำหนักพบว่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยสาเหตุเนื่องมาจากขั้นตอนการทำความสะดวกก่อนการชั่งน้ำหนักซึ่งอาจมีเขม่าตกค้างทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น ดังนั้นจากข้อมูลการชั่งน้ำหนักชิ้นส่วนแสดงให้เห็นว่าชิ้นส่วนต่างๆ ไม่มีการสึกหรอที่ผิดปกติ เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ส่วนผลการชั่งน้ำหนักของชิ้นส่วนปั๊มฉีดเชื้อเพลิงดังแสดงในตารางที่ 5-8 พบว่ามีค่าลดลงเล็กน้อย ยกเว้นชิ้นส่วนวาล์วส่งน้ำมันซึ่งน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งมีสาเหตุมาจากการสึกหรอของชิ้นส่วนที่อยู่ติดกันเกิดการเชื่อมติดกับวาล์วส่งน้ำมันทำให้น้ำหนักของวาล์วมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่มีนัยสำคัญ

5.7 การทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็ก เป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร

การทดสอบความทนทานในส่วนนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของ น้ำมันหล่อลื่นภายใต้ลักษณะของการใช้งานปกติในสิ่งแวดล้อมจริง โดยมีสัดส่วนการขับขีในเมือง และทางหลวงระหว่างจังหวัดในสัดส่วน 30:70 ระหว่างการทดสอบได้เก็บข้อมูลค่าควันดำตลอด การทดสอบ หลังจากการทดสอบเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตรแล้วได้วัดอัตราการ ถิ่นเปลี่ยนเชื้อเพลิงเมื่อขับรถทดสอบด้วยความเร็วคงที่อีกครั้ง ผลที่ได้จากการทดสอบมีดังต่อไปนี้

5.7.1 ผลการวัดค่าควันดำ

ในขั้นตอนการทดสอบโดยการขับขีจริงในช่วง 11,400 กิโลเมตร หลังได้ทำการวัดค่าควันดำ ระหว่างการทดสอบได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5-44

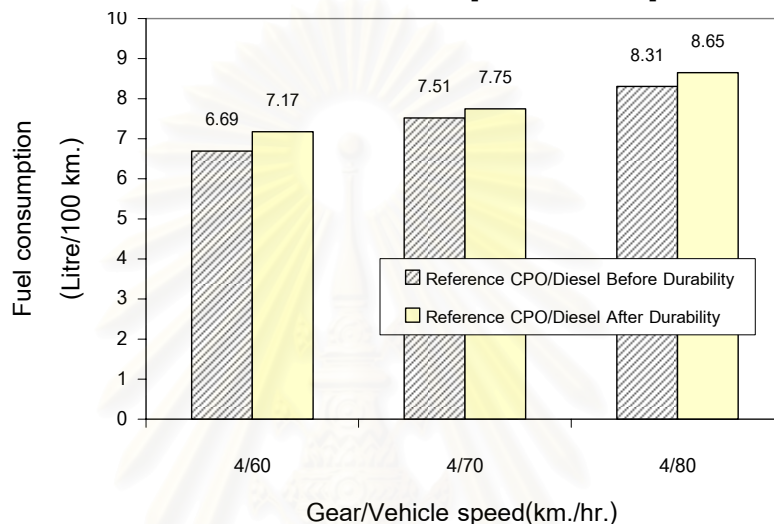


รูปที่ 5-44 แสดงค่าควันดำที่วัดได้เมื่อทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็ก ภายใต้การใช้งานปกติเป็นระยะทาง 11,400 กิโลเมตร

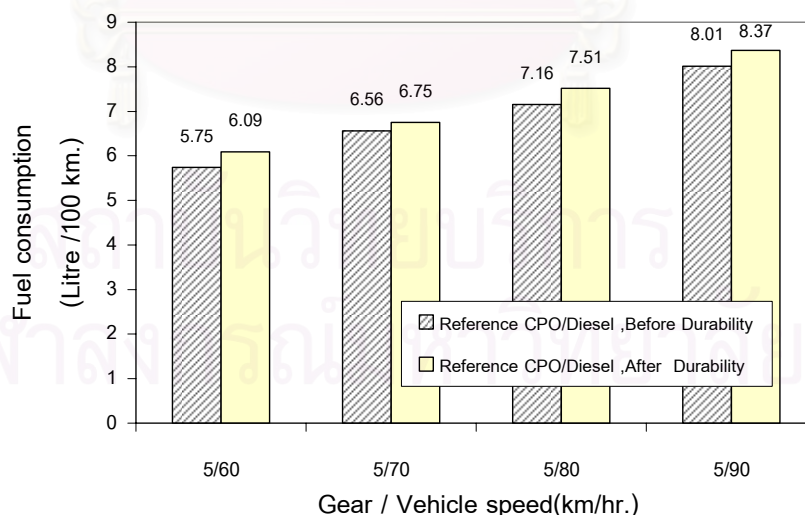
จากรูปที่ 5-44 พบว่า ค่าควันดำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะทางของการ ทดสอบที่เพิ่มขึ้น ผลการวัดค่าควันดำมีค่ากว้างตัวซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากคุณภาพของน้ำมันดีเซล ตามท้องตลาดที่แตกต่างกันตามแหล่งที่มาและวาระที่ต่างกัน รวมทั้งผลจากการบำรุงรักษา เครื่องยนต์ เช่น การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น

5.7.2 ผลการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถยนต์
ทดสอบด้วยความเร็วคงที่ ภายหลังจากทดสอบความทนทานโดยการขับจริง

ผลการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ภายหลังจากทดสอบความทนทาน โดยการขับจริง ด้วยความเร็วคงที่ แบ่งเป็นการทดสอบด้วยการขับที่ความเร็ว 60 , 70 , และ 80 กม./ชม. ด้วยอัตราทดเกียร์ 4 และที่ความเร็ว 60 , 70 , 80 และ 90 กม./ชม. ด้วยอัตราทดเกียร์ 5 เช่นเดียวกับก่อนการทดสอบความทนทาน แสดงได้ดังรูปที่ 5-45 และ รูปที่ 5-46 ตามลำดับ



รูปที่ 5-45 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล อังอิง ก่อนและหลังผ่านการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบและการทดสอบ โดยการขับจริงประมาณ 10,000 กิโลเมตร เมื่อขับด้วยความเร็วคงที่โดยใช้เกียร์ 4



รูปที่ 5-46 แสดงผลเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล อังอิง ก่อนและหลังผ่านการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบและการทดสอบโดย การขับจริงประมาณ 10,000 กิโลเมตร เมื่อขับด้วยความเร็วคงที่โดยใช้เกียร์ 5

ผลการวัดอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถยนต์ทดสอบด้วยความเร็วคงที่เปรียบเทียบข้อมูลระหว่างค่าก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน ผลการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 5-45 และ 5-46 ตามลำดับ พบว่า ภายหลังจากการทดสอบความทนทานทั้งสองส่วน อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มมากขึ้นทุกจุดที่ทดสอบ โดยมีค่าสูงขึ้นประมาณ 4-7 % ที่อัตราทดเกียร์ 4 และมีค่าสูงขึ้นประมาณ 3-4% ที่อัตราทดเกียร์ 5

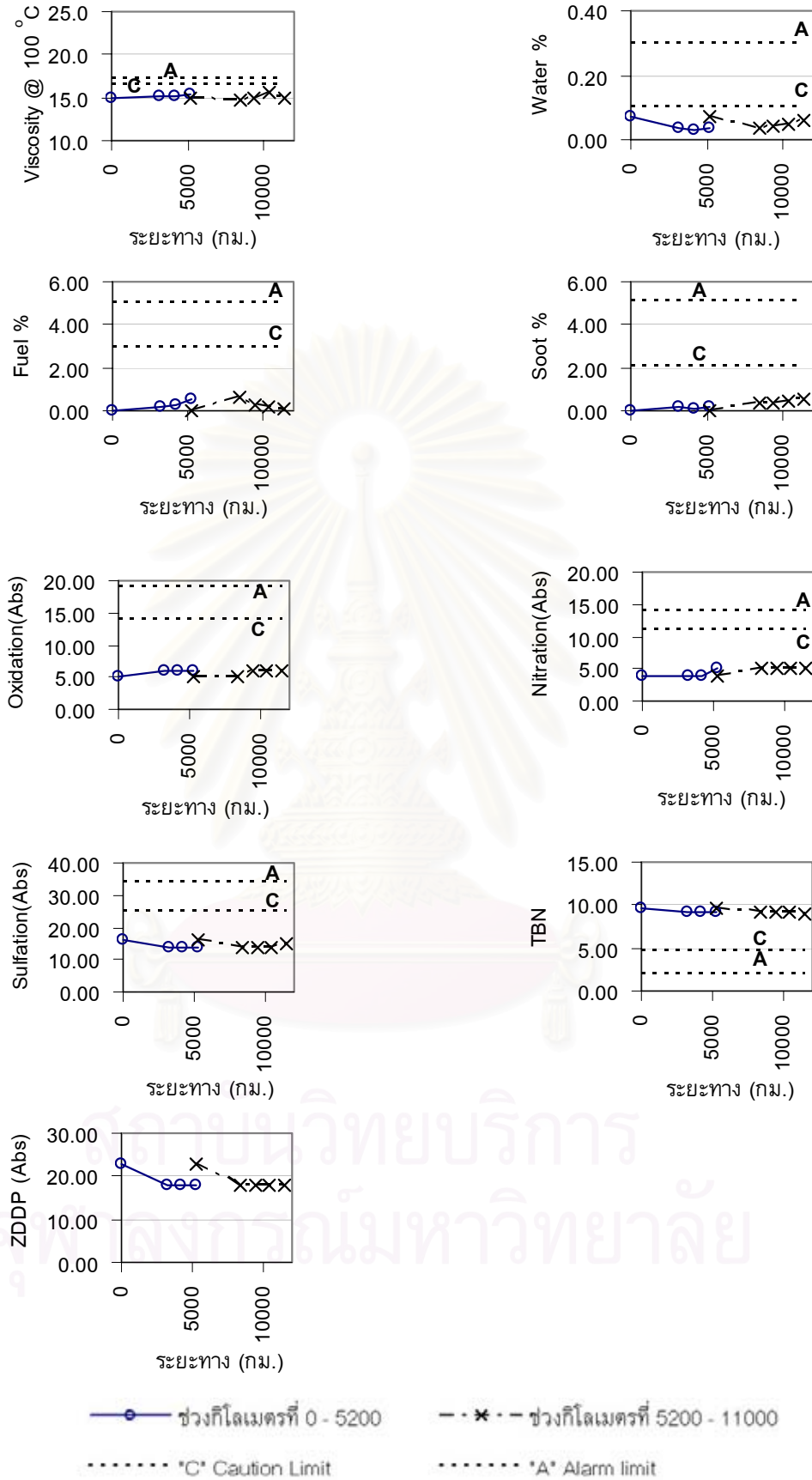
5.8 ผลการวิเคราะห์ติดตามคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างการทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กภายใต้ลักษณะการใช้งานปกติ

ในระหว่างขั้นตอนการทดสอบความทนทานด้วยการใช้งานเครื่องยนต์โดยการนำไปขับเคลื่อนรถยนต์ทดสอบภายใต้การใช้งานปกติในสิ่งแวดล้อมจริงเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตรนั้น ผู้วิจัยได้ทำการขับรถทดสอบโดยมีสัดส่วนแบ่งเป็นการขับขึ้นในเมือง (city) และบนทางหลวงระหว่างจังหวัด (highway) ในสัดส่วน 30:70 โดยประมาณ เพื่อดูผลจากสิ่งแวดล้อมที่อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบ

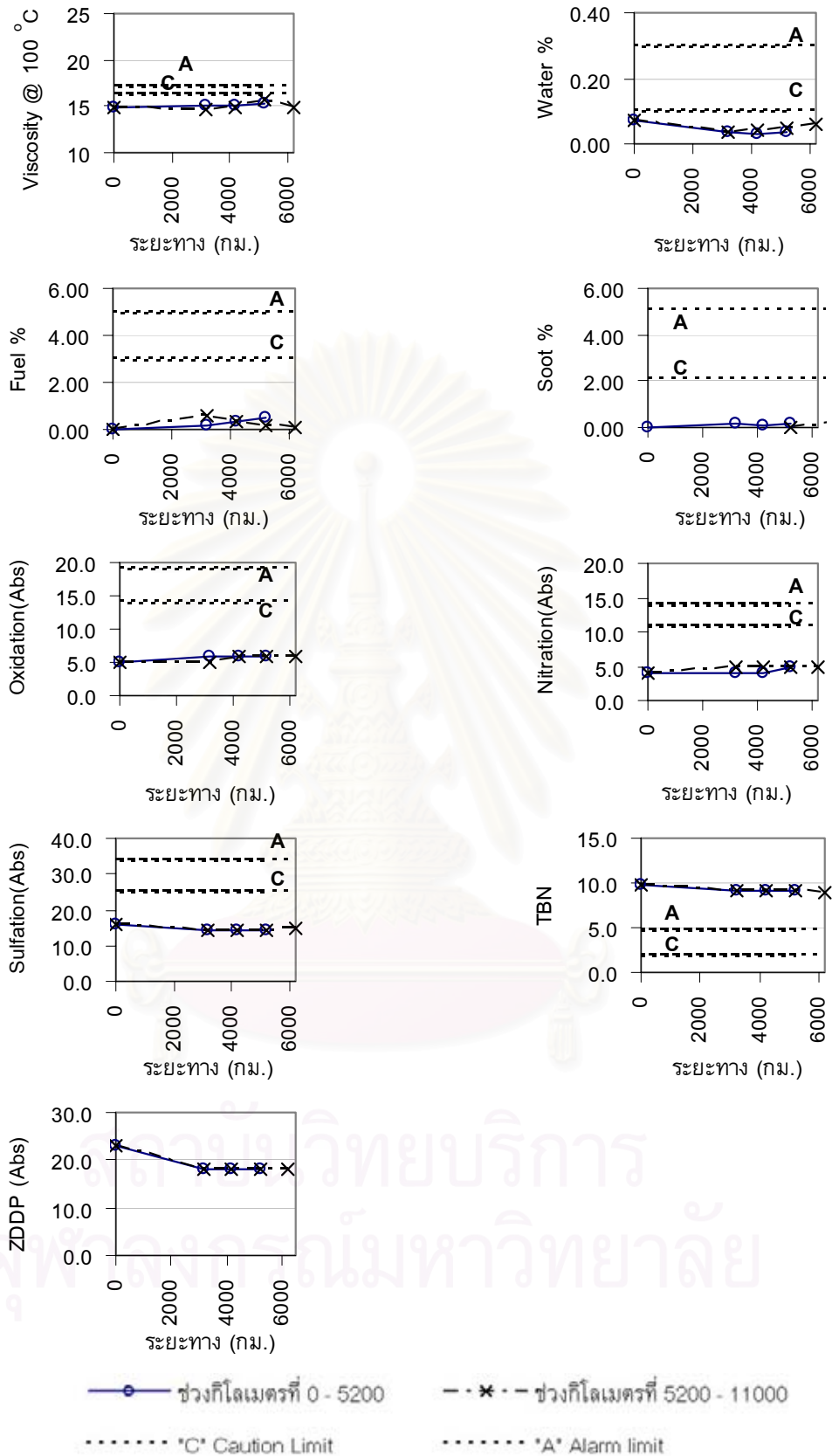
5.8.1 คุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น

ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นภายหลังจากการทดสอบในรูปที่ 5-47 แสดงคุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง และรูปที่ 5-48 แสดงค่าเมื่อเปรียบเทียบตามอายุน้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน โดยค่าเริ่มต้นในแต่ละช่วง คือที่วัฏจักรที่ 0, 20, 40, และ 60 แสดงด้วยค่าที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใหม่

ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ 100 °C มีค่าไม่เกินระดับเกณฑ์การเตือนภัยเริ่มต้น (ระดับ C) ปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำและปริมาณเขม่าที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นมีค่าไม่เกินระดับเกณฑ์การเตือนภัยเริ่มต้น ส่งผลให้ค่าออกซิเดชัน ไนเตรชัน และซัลเฟชัน มีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ในเกณฑ์ปกติโดยค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ ค่า ZDDP และ TBN มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่เช่นกัน โดยมีค่าลดลงเล็กน้อยตามอายุการใช้งานของน้ำมันที่มากขึ้น



รูปที่ 5-47 แสดงคุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบ ความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง



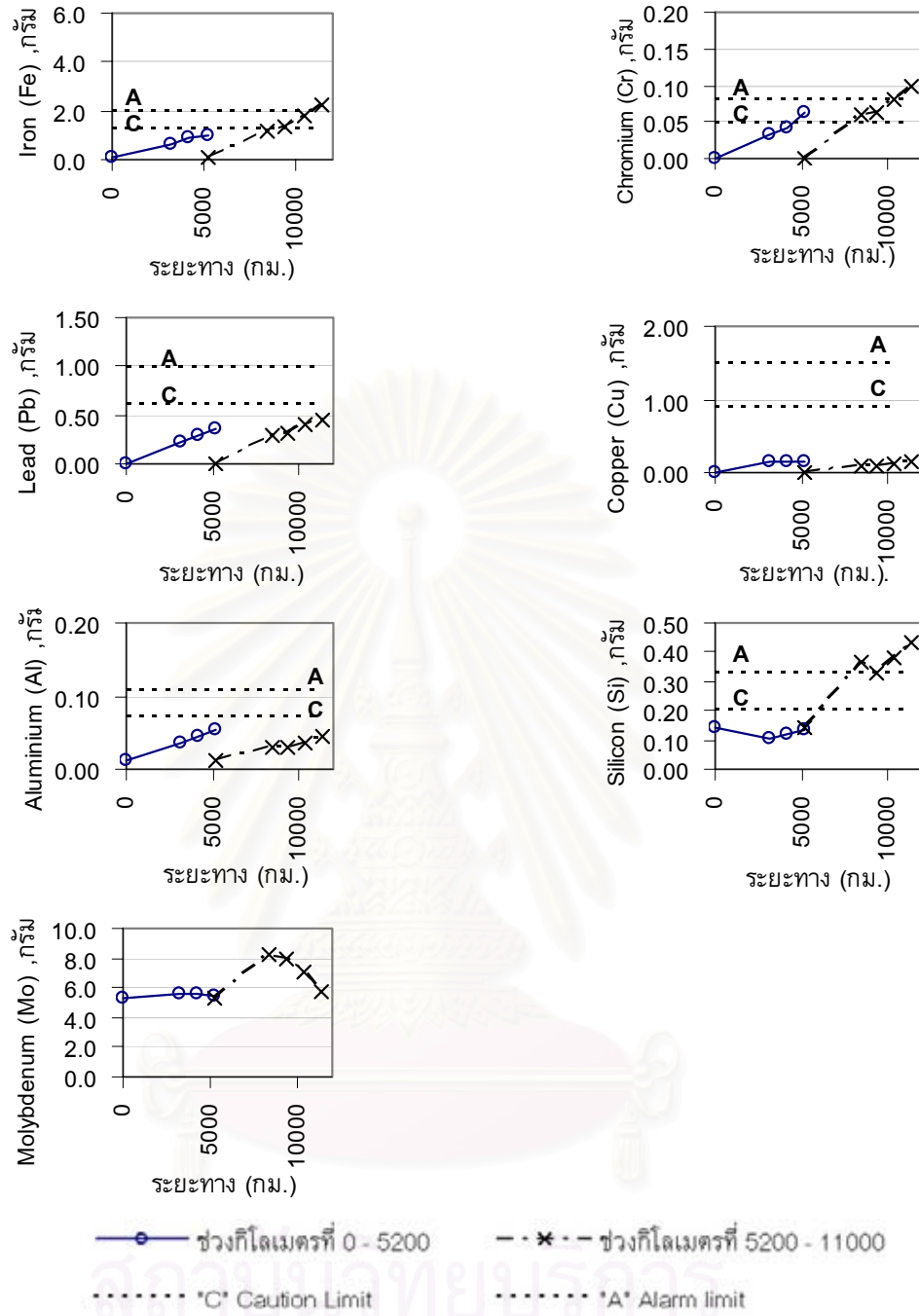
รูปที่ 5-48 แสดงคุณสมบัติและปริมาณการปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบ ความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง เมื่อเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของ น้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน

5.8.2 ปริมาณธาตุโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น

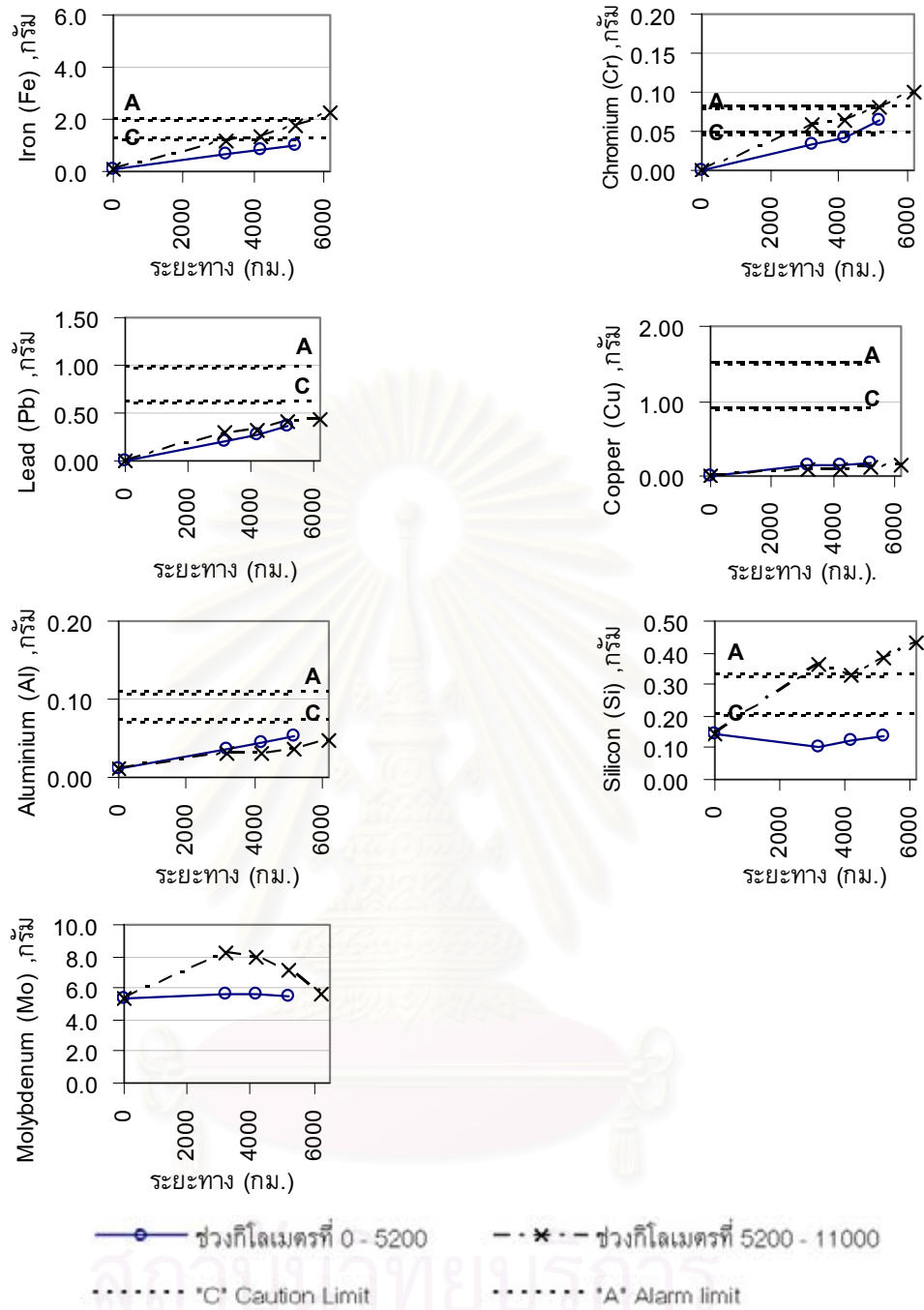
ผลการวิเคราะห์ในส่วนปริมาณธาตุที่มากจากการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ในรูปที่ 5-49 แสดงปริมาณธาตุจากชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง และรูปที่ 5-50 แสดงค่าเมื่อเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าโดยส่วนใหญ่ไม่พบค่าที่เกินเกณฑ์เตือนภัยระดับเริ่มต้น “C” ยกเว้นในช่วงหลัง (กิโลเมตรที่ 5,200 – 11,400) ที่มีการใช้งานเกินจากอายุการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันทำให้ปริมาณการสะสมของธาตุเหล็ก(Fe) ,โครเมียม(Cr) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแหวนลูกสูบมีค่าที่สูงขึ้น โดยการสึกหรอที่สูงขึ้นของลูกสูบและแหวนลูกสูบเล็กน้อยนั้นเกิดพร้อมกับการตรวจพบว่าปริมาณธาตุซิลิกอน(Si) มีค่ามากขึ้นเช่นเดียวกัน ส่วนปริมาณโมลิบดีนัม(Mo) ในช่วงแรก (5,000 กิโลเมตรเริ่มต้น) พบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนในช่วงหลังพบว่า ปริมาณโมลิบดีนัมมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าในช่วงแรกที่อายุน้ำมันหล่อลื่นเท่ากัน โดยที่การสึกหรอที่มากขึ้นทั้งในส่วนของคุณสมบัติของเหล็ก โครเมียมและโมลิบดีนัมนั้นน่าจะมาจากผลของฝุ่นละอองในสิ่งแวดล้อมจากการใช้งานจริงมากกว่าที่จะเป็นผลที่เกิดมาจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้งานน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลในช่วงของการทดสอบโดยการขับจริงซึ่งเครื่องยนต์ทำงานที่ภาระเบาว่าการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นและปริมาณธาตุโลหะสะสมในน้ำมันหล่อลื่นโดยสามารถใช้งานได้ปกติภายใต้การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นตามอายุการใช้งานที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ



รูปที่ 5-49 แสดงปริมาณธาตุจากชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง

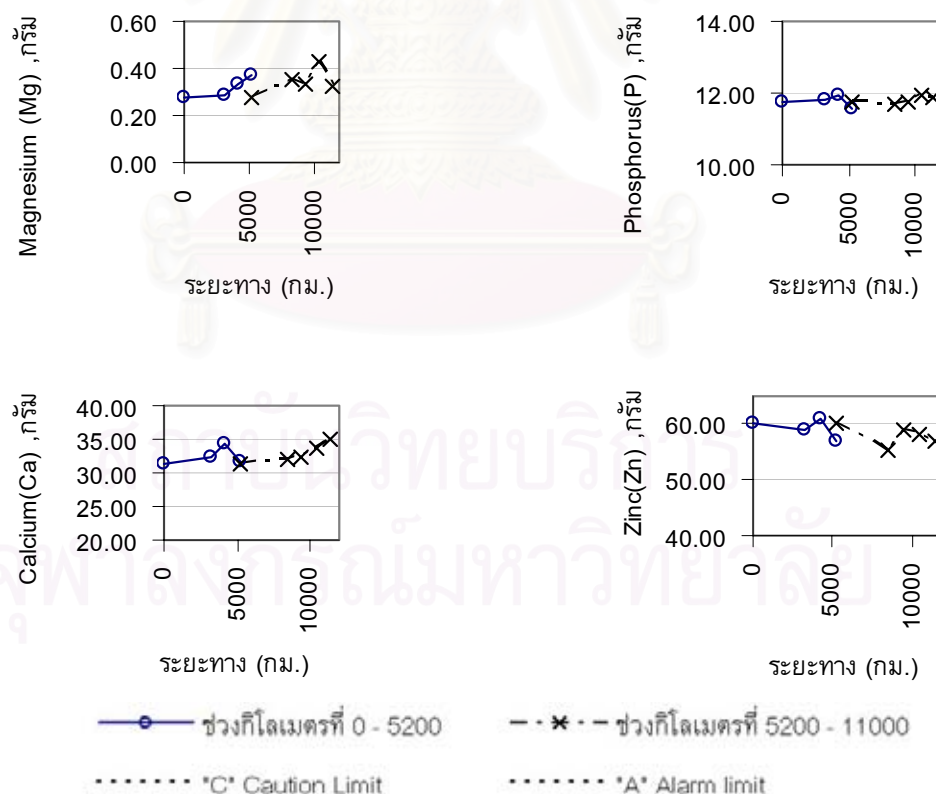


รูปที่ 5-50 แสดงปริมาณธาตุจากชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง เมื่อเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน

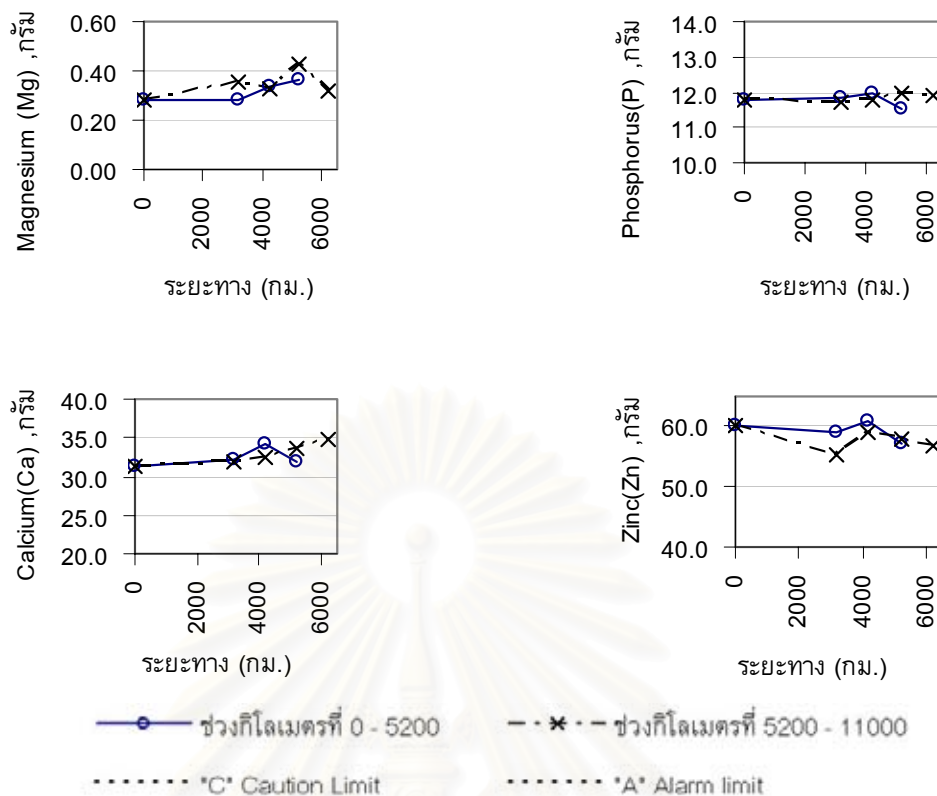
5.8.3 ปริมาณสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของสารเติมแต่งที่พบในน้ำมันหล่อลื่นที่สุ่มตัวอย่างซึ่งประกอบด้วย แมกนีเซียม (Mg) , ฟอสฟอรัส (P) , แคลเซียม (Ca) และสังกะสี (Zn) ภายหลังจากทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการนำเครื่องยนต์ไปใช้ขับเคื่องรถบรรทุกขนาดเล็กภายใต้ลักษณะของการทำงานปกติในสิ่งแวดล้อมจริงเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร แสดงได้ดังในรูปที่ 5-51 แสดงปริมาณโลหะสะสมเหล่านี้ในรูปของปริมาณโลหะสะสมในหน่วยกรัมตลอดช่วงการทดสอบและรูปที่ 5-52 แสดงปริมาณโลหะสะสม โดยพิจารณาที่อายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน

ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณสารเติมแต่งทั้งสี่ชนิดมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยหรืออาจกล่าวได้ว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ในแต่ละช่วงอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น โดยปริมาณธาตุแมกนีเซียมและแคลเซียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่มากขึ้น ส่วนธาตุฟอสฟอรัสจะมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการใช้งาน ในขณะที่ธาตุสังกะสีมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่ออายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 5-51 แสดงปริมาณสารเติมแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง



รูปที่ 5-52 แสดงปริมาณสารเติมแต่งสะสมในน้ำมันหล่อลื่นโดยเปรียบเทียบตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เท่ากัน ตลอดช่วงการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์โดยการขับจริง

5.9 ผลการตรวจพินิจชิ้นส่วนหลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็ภายใต้การใช้งานปกติในสิ่งแวดล้อมจริงเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร

หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์เมื่อผ่านการใช้งานโดยใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็ภายใต้การใช้งานปกติในสิ่งแวดล้อมเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร ผู้วิจัยได้ทำการถอดชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์เพื่อทำการตรวจสภาพเปรียบเทียบอีกครั้ง และได้ทำการถ่ายภาพประกอบเพื่อใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการใช้งานของเครื่องยนต์ด้วยภาวะที่เบากว่าในช่วงหลังเทียบกับการใช้งานบนแท่นทดสอบซึ่งเป็นการใช้งานภายใต้ภาวะที่หนักกว่า ชิ้นส่วนที่ทำการตรวจพินิจประกอบไปด้วย ผนังกระบอกสูบ ลูกสูบ แบริ่ง ก้านสูบ แบริ่งข้อเหวี่ยง ฝาสูบ วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.9.1 ผนังกระบอกสูบ ลูกสูบ แบริ่งก้านสูบและแบริ่งข้อเหวี่ยง

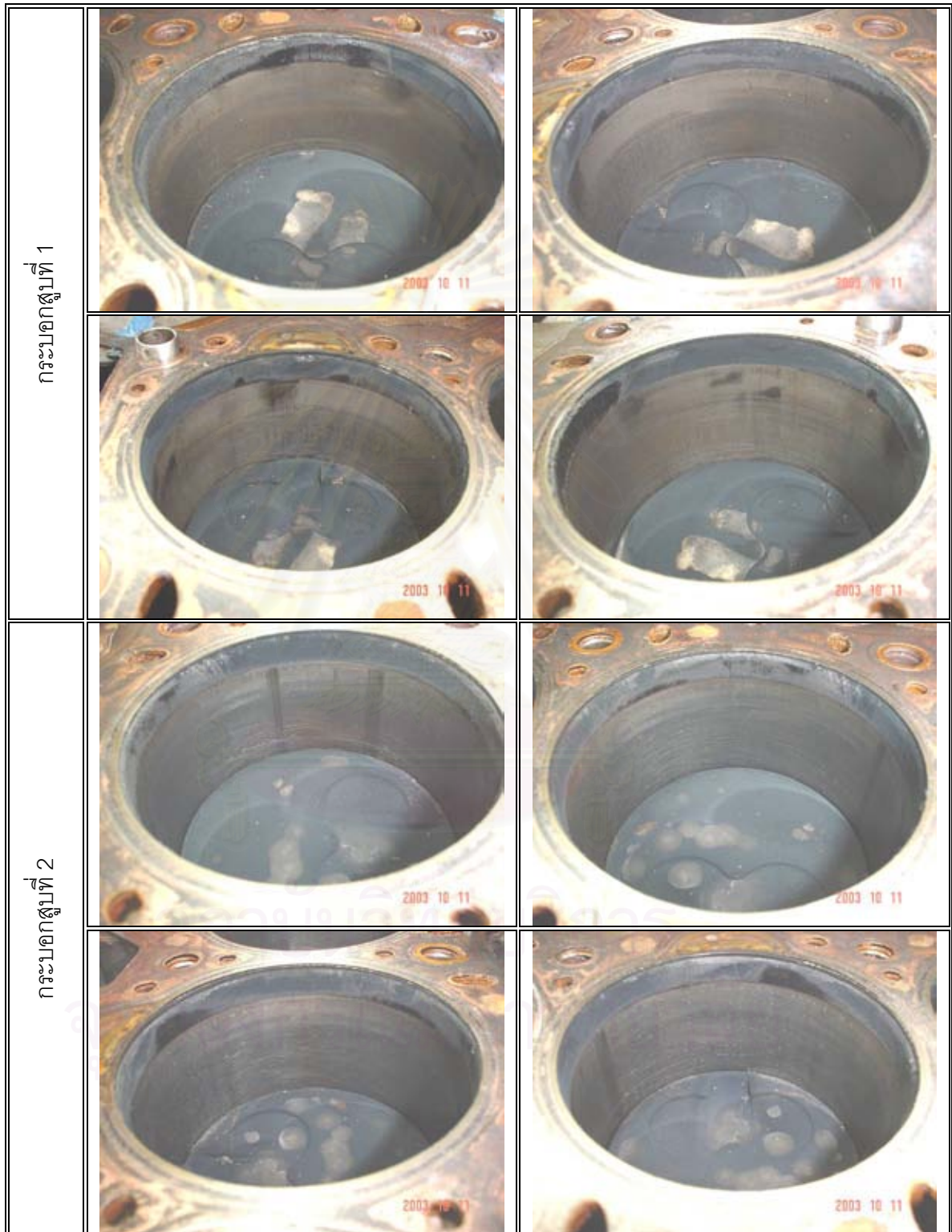
จากตารางที่ 5-9 แสดงภาพถ่ายของผนังของกระบอกสูบ ผลการตรวจพินิจพบรอยขีดข่วนที่ผนังกระบอกสูบในลักษณะของการใช้งานปกติ ส่วนบริเวณช่วงปลายของห้องเผาไหม้ของผนังกระบอกสูบส่วนที่ติดกับฝาสูบ มีปริมาณคราบเขม่าเป็นตะกอนแข็งที่เกาะตัวสะสมอยู่เป็นจำนวนมากอยู่โดยรอบ เขม่าที่เกิดขึ้นมีลักษณะค่อนข้างหนาบริเวณด้านทางออกของห้องเผาไหม้ช่วยเช่นเดียวกับภาพหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

สำหรับภาพถ่ายของลูกสูบทั้งสี่สูบได้แสดงไว้ในตารางที่ 5-10 ผลการตรวจพินิจพบว่าเขม่าและคราบยางเหนียวที่ตรวจพบในร่องแหวนมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับภาพหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบเนื่องจากสภาพภาระของการใช้งานที่เบากว่าและคุณสมบัติการทำงานของเครื่องยนต์ของการทดสอบในช่วงหลังมีค่าที่ต่ำกว่าทำให้คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นไม่เสื่อมสภาพลงมากเหมือนกับการทดสอบความทนทานบนแท่นซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นในช่วงหลังที่ชี้ให้เห็นว่าน้ำมันหล่อลื่นมีสภาพอยู่ในเกณฑ์ปกติเมื่อมีการใช้งานและเปลี่ยนถ่ายภายในระยะเวลาตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ

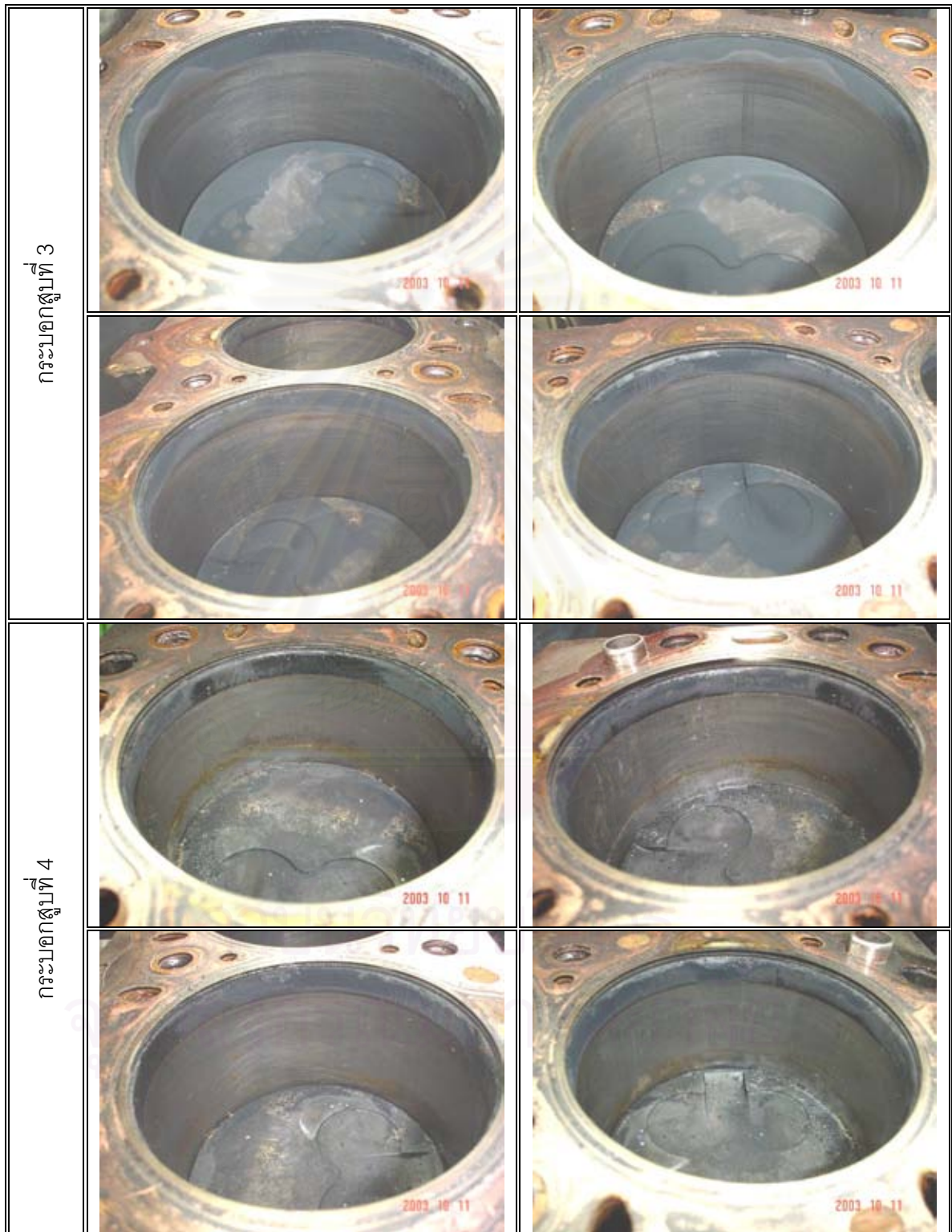
จากตารางที่ 5-11 และตารางที่ 5-12 แสดงภาพถ่ายของแบริ่งก้านสูบและแบริ่งข้อเหวี่ยงจากเครื่องยนต์ตามลำดับ โดยรูปชิ้นส่วนทางด้านซ้ายมือเป็นแบริ่งขึ้นบนติดกับก้านสูบ ชิ้นส่วนทางขวามือเป็นชิ้นส่วนที่ติดกับประกับก้านสูบ ผลการตรวจพินิจ พบว่าที่ผิวของแบริ่ง มีรอยการสึกหรอมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับภาพหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ มีรอยขีดขูดขีดขนาดเล็กอยู่ทั่วไป โดยพบว่าชิ้นส่วนแบริ่งก้านสูบของสูบที่ 3 มีรอยจุดคราบลักษณะเป็นวงกลมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยกระจายอยู่บนผิวแบริ่ง ส่วนของแบริ่งข้อเหวี่ยง ตรวจพบการสึกหรอในลักษณะปกติ ยกเว้นชิ้นส่วนแบริ่งตำแหน่ง E ซึ่งมีรอยขีดขูดขนาดใหญ่ที่มองเห็นได้ชัดเจนซึ่งอาจเกิดจากมีอนุภาคของสิ่งสกปรกปนเปื้อนแทรกอยู่ระหว่างผิวแบริ่งกับข้อเหวี่ยง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

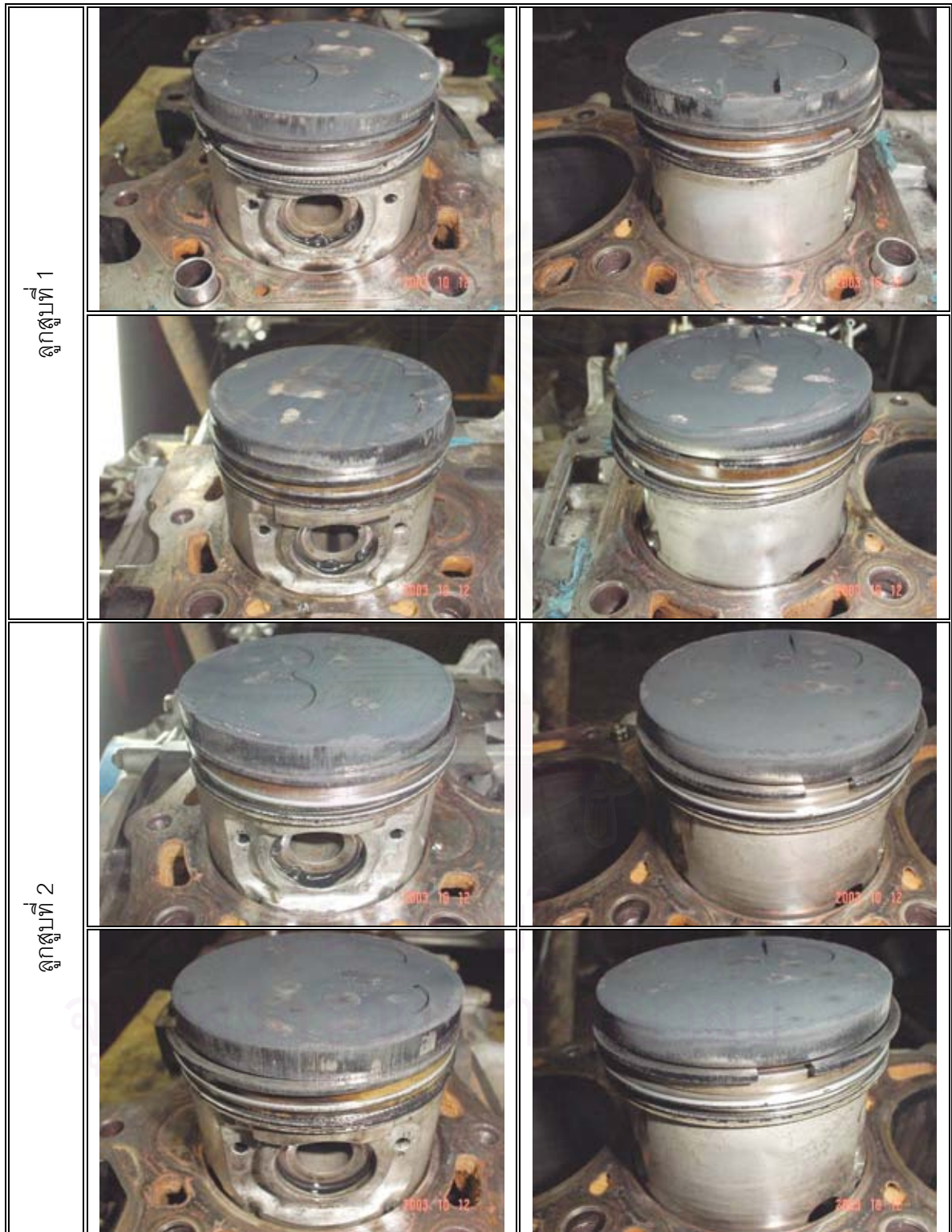
ตารางที่ 5-9 แสดงภาพถ่ายบริเวณผนังกระบอกสูบ หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้
เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.



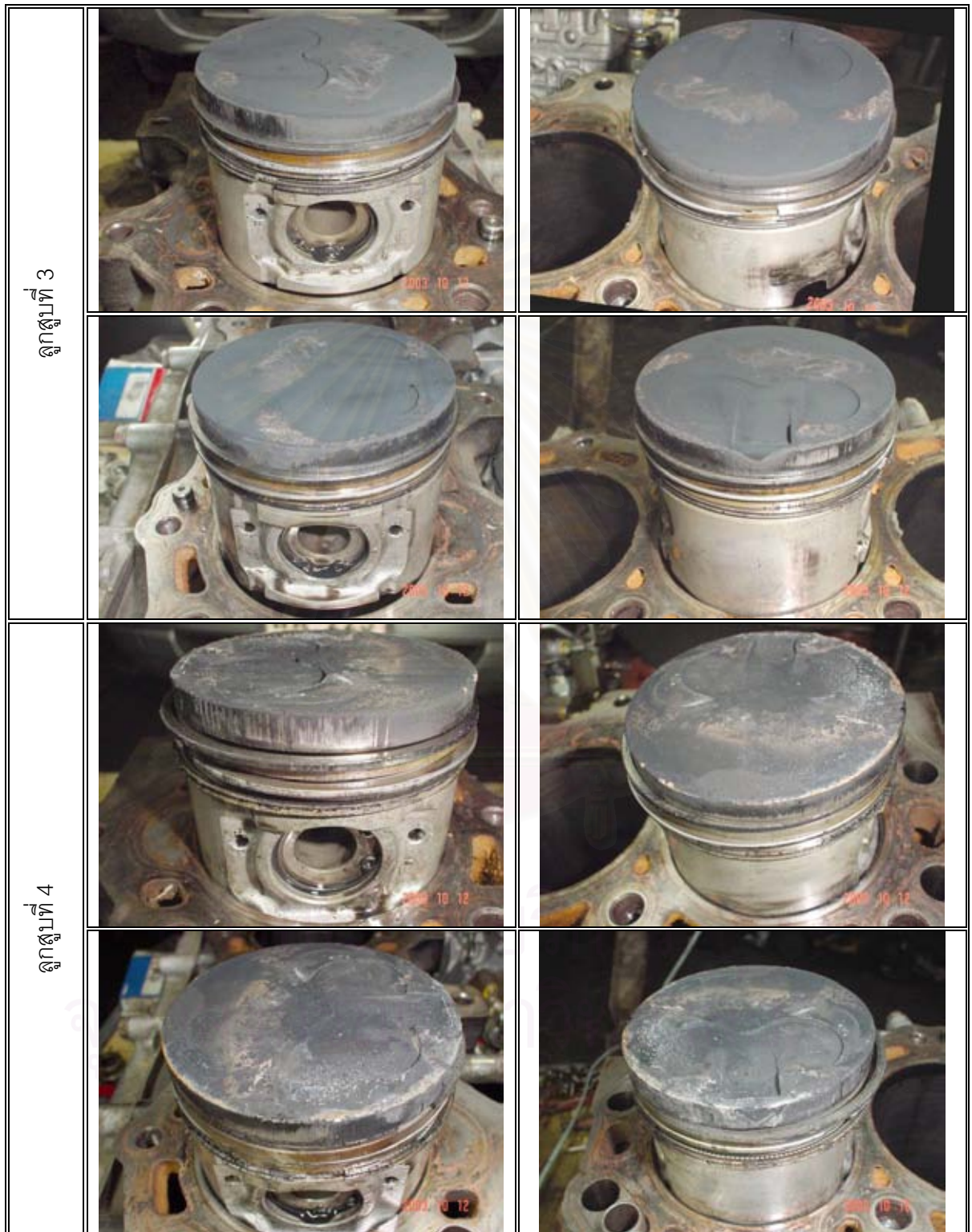
ตารางที่ 5-9 (ต่อ) แสดงภาพถ่ายบริเวณผนังกระบอกสูบ หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้
เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.




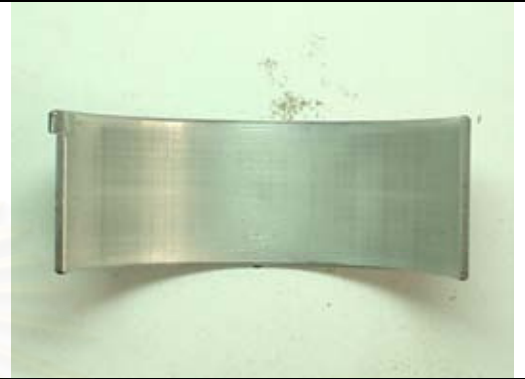






ตารางที่ 5-10 แสดงภาพถ่ายลูกสูบ หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน
รถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.









ตารางที่ 5-10 (ต่อ) แสดงภาพถ่ายลูกสูบ หลังผ่านการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์
ขับเคลื่อนรถบรรทุกทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.



ตารางที่ 5-11 แสดงภาพถ่ายแบร็งก์้านสูบ หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์
ขับเคลื่อนรถบรรทุกทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.

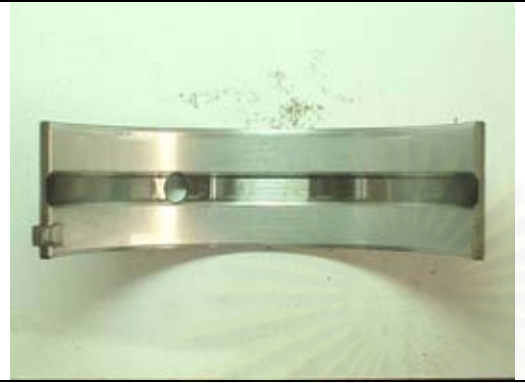



	ตัวบน	ตัวล่าง
สูบที่ 1		
สูบที่ 2		
สูบที่ 3		
สูบที่ 4		

ตารางที่ 5-12 แสดงภาพถ่ายแบร็งข้อเหวี่ยง หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์
ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.

	ตัวบน	ตัวล่าง
ตำแหน่ง E		
ตำแหน่ง J		
ตำแหน่ง R		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-12 (ต่อ) แสดงภาพถ่ายแบร็งข้อเหวี่ยงหลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์
ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.

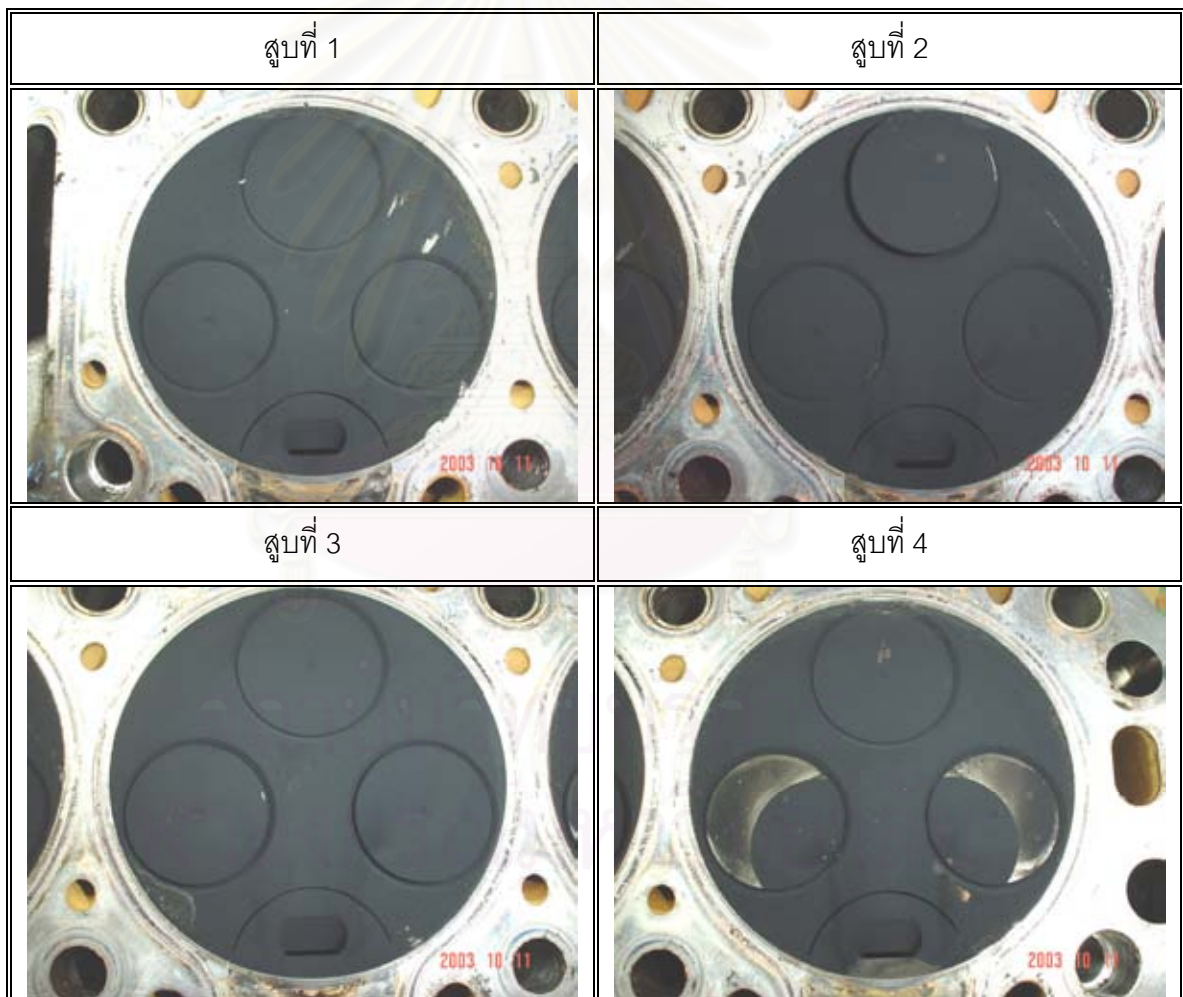
	ตัวบน	ตัวล่าง
ตำแหน่ง X		
ตำแหน่ง Z		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.9.3 ฝาสูบ

จากตารางที่ 5-13 แสดงภาพถ่ายฝาสูบหลังผ่านการทดสอบความทนทานโดยการขับจริง ผลการตรวจพินิจพบว่า มีปริมาณเขม่าตกค้างติดอยู่เต็มพื้นที่ฝาสูบและหน้าวาล์ว และพบปริมาณเขม่าหนาอยู่ในแนวขอบของกระบอกสูบและบริเวณร่องบ่าวาล์วไอดีของทั้งสี่สูบในลักษณะเดียวกันในปริมาณที่น้อยลงเมื่อเทียบกับภาพที่ได้หลังจากการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

ตารางที่ 5-13 แสดงภาพถ่ายฝาสูบ หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน รถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.



5.9.3 วาล์วไอเสีย วาล์วไอดีและหัวเผา

จากตารางที่ 5-14 ,5-15 และ 5-16 แสดงภาพถ่ายของวาล์วไอเสีย วาล์วไอดีและหัวเผา จากเครื่องยนต์ ตามลำดับ ภาพถ่ายวาล์วไอเสียแสดงไว้ในตารางที่ 5-14 ผลการตรวจพินิจพบว่า บริเวณหลังวาล์วไอเสียของเครื่องยนต์มีเขม่าปกคลุมเต็มพื้นที่ โดยมีคราบเขม่ามีสีน้ำตาลเล็กน้อย บ่าวาล์วมีร่องรอยการสึกหรอเกิดขึ้นเล็กน้อย แต่จะมีเขม่าเกิดขึ้นเป็นจุดๆ อยู่โดยรอบบ่าวาล์วไอเสีย พบการสึกหรอเกิดขึ้นที่บริเวณก้านวาล์วรวมทั้งมีตะกอนเขม่าเป็นของแข็งเกาะอยู่โดยรอบ ซึ่งคราบเขม่าที่เกิดขึ้นที่บริเวณก้านวาล์วอาจทำให้เกิดความเสียหายกับไกด์วาล์วและซีลก้านวาล์วได้ คราบเขม่าที่บ่าวาล์วหากมีการสะสมปริมาณมากขึ้นอาจทำให้เกิดการรั่วไหลของสารผสมระหว่างกระบวนการเผาไหม้ ทำให้กำลังอัดภายในกระบอกสูบมีค่าลดลงส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ต่ำลง

ภาพถ่ายวาล์วไอดีแสดงไว้ในตารางที่ 5-15 ผลการตรวจพินิจพบว่า มีคราบเขม่าเป็นตะกอนสะสมอยู่จำนวนมากที่หลังวาล์วไอดี บ่าวาล์วมีสภาพค่อนข้างสมบูรณ์ มีร่องรอยการสึกหรอเกิดขึ้นเล็กน้อย บริเวณก้านวาล์วมีคราบเขม่าเกาะติดอยู่เล็กน้อยเช่นกัน สำหรับภาพถ่ายหัวเผาได้แสดงไว้ในตารางที่ 5-16 พบว่ามีตะกอนแข็งสีดำปนน้ำตาลเกาะอยู่โดยรอบปลายของหัวเผาในลักษณะเดียวกันทั้งสี่สูบ ซึ่งคราบตะกอนเหล่านี้ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของหัวเผาแยกลง ความร้อนจากหัวเผาที่ถ่ายเทให้กับอากาศในห้องเผาไหม้ช่วยมีปริมาณน้อยลงเมื่อใช้งานในระยะยาวอาจทำให้การสตาร์ทเครื่องยนต์ขณะเครื่องเย็นทำได้ยากขึ้น









ตารางที่ 5-14 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสีย หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์
ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.











ตารางที่ 5-14 (ต่อ) แสดงภาพถ่ายวาล์วไอเสีย หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์
ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.







ตารางที่ 5-15 แสดงภาพถ่ายวาล์วไอดี หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน
รถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.

วาล์วไอดีสูบที่ 1 (ซ้าย)		
วาล์วไอดีสูบที่ 1 (ขวา)		
วาล์วไอดีสูบที่ 2 (ซ้าย)		
วาล์วไอดีสูบที่ 2 (ขวา)		

ตารางที่ 5-15 (ต่อ) แสดงภาพถ่ายวาล์วไฮดี หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์
 ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กม.

วาล์วไฮดีสูบที่ 3(ซ้าย)		
วาล์วไฮดีสูบที่ 3(ขวา)		
วาล์วไฮดีสูบที่ 4(ซ้าย)		
วาล์วไฮดีสูบที่ 4(ขวา)		

ตารางที่ 5-16 แสดงภาพถ่ายหัวเผา หลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ซีบีเคเคลื่อน
รถบรรทุกขนาดเล็กระยะทางประมาณ 10,000 กม.

หัวเผาสูบที่ 1	
หัวเผาสูบที่ 2	
หัวเผาสูบที่ 3	
หัวเผาสูบที่ 4	

บทที่ 6

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผล

จากผลการทดสอบส่วนผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำมันดีเซล สรุปได้ว่า ส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด คือ น้ำมันปาล์มดิบ 10% ซึ่งผ่านการอุ่นให้มีอุณหภูมิ 60°C ผสมกับน้ำมันดีเซล 90% เนื่องจากที่อุณหภูมิ 60°C เป็นอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปและเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้ไขในน้ำมันปาล์มดิบละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้และเป็นส่วนผสมที่พบปริมาณการเกิดไขและตะกอนน้อย

6.1.1 เปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลกับน้ำมันดีเซลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้ลวงหน้า

1. การทดสอบเพื่อวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบื้องต้น โดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กด้วยความเร็วคงที่ พบว่า การใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าสูงกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล
2. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบที่สภาวะภาระสูงสุดก่อนทดสอบความทนทาน พบว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลให้ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขไม่แตกต่างจากการใช้น้ำมันดีเซล โดยค่าแรงบิดเบรกแก้ไขที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงกว่าเล็กน้อยที่ความเร็วรอบต่ำถึงความเร็วรอบปานกลาง(1,000 ถึง 1,750 รอบต่อนาที) และมีค่าที่ใกล้เคียงกันเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงกว่าการใช้ น้ำมันดีเซลตลอดช่วงการทำงานโดยมีความแตกต่างกันอยู่ในช่วง 8 ถึง 10 % เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล สำหรับการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วนการใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลจะให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลตลอดทุกช่วงภาระและความเร็วรอบที่ทดสอบอยู่ในช่วง 3 ถึง 12 %
3. ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระสูงสุด จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าต่ำกว่าการใช้ น้ำมันดีเซลประมาณ 2% ทุกจุดทำงานที่ทดสอบ สำหรับการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วนการใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลจะให้ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าการใช้ น้ำมันดีเซลอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1.5% ตลอดทุกช่วงภาระและความเร็วรอบที่ทดสอบ
4. อุณหภูมิไอเสียจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าสูงกว่าการใช้ น้ำมันดีเซลที่สภาวะภาระสูงสุดและมีค่าใกล้เคียงกันที่สภาวะภาระบางส่วน

6.1.2 เปรียบเทียบผลจากการนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมาใช้ในเครื่องยนต์ อย่างต่อเนื่อง

1. ค่าแรงบิดเบรกแก้ไขที่สภาวะภาระสูงสุดมีค่าลดลงเล็กน้อย ขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะเวลาของการทดสอบความทนทานที่เพิ่มขึ้น หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ พบว่าค่าแรงบิดเบรกแก้ไขที่สภาวะภาระสูงสุดจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมีค่าลดลง(ระหว่าง 4.1 - 8.5 นิวตัน-เมตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 2.6 - 5.9 %) ในขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะหลังการทดสอบความทนทานมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (0.9 - 2.6 % เมื่อเทียบกับค่าก่อนการทดสอบ) ทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ทดสอบ สำหรับการทดสอบที่สภาวะภาระบางส่วน ภายหลังจากการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการทดสอบตลอดทุกช่วงภาระและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ทดสอบ

2. ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรกที่สภาวะภาระสูงสุดหลังผ่านการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 0.2 – 0.6 % สำหรับที่สภาวะภาระบางส่วนประสิทธิภาพลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ความเร็วรอบต่ำถึงปานกลาง(1,000 ถึง 3,030 รอบต่อนาที) โดยความแตกต่างจะมีค่าลดลงเมื่อภาระและความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้น

3. อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระสูงสุด หลังผ่านการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบมีค่าต่ำลง ในขณะที่อุณหภูมิไอเสียที่สภาวะภาระบางส่วนมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย

4. ค่าควันดำที่ได้จากการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ด้วยการใช้ขับเคลื่อนรถบรรทุกขนาดเล็กเป็นระยะทางประมาณ 10,000 กิโลเมตร มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามระยะทางของการทดสอบที่มากขึ้น

6.1.3 ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

(ก) ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

1. ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ 100 °C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เพิ่มขึ้น มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดที่มากขึ้นเมื่ออายุการใช้งานของเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้น และมีค่าเกินเกณฑ์การเตือนภัยขั้นวิกฤตในช่วงปลายก่อนครบอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ

2. ไม่พบปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำ ปริมาณเขม่า ค่าออกซิเดชัน ค่าซัลเฟชันและค่าไนเตรชันสูงเกินเกณฑ์การเตือนภัยขั้นวิกฤตตลอดช่วงการทดสอบความทนทาน ปริมาณของเขม่า ค่าออกซิเดชัน ไนเตรชันและซัลเฟชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่า TBN มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มมากขึ้น

3. การปนเปื้อนของธาตุโลหะที่มาจากการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์อันได้แก่ ธาตุเหล็ก(Fe) ธาตุโครเมียม(Cr) ธาตุอลูมิเนียม(Al) พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เพิ่มขึ้น มีอัตราการเพิ่มขึ้นของการปนเปื้อนของธาตุโลหะที่มากขึ้นเมื่ออายุการใช้งานของเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้น และมีค่าสูงเกินเกณฑ์การเตือนภัยขั้นวิกฤตในช่วงปลายก่อนครบอายุการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น

4. ปริมาณสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่นมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ โดยมีการแกว่งตัวเล็กน้อย ในแต่ละช่วงอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทาน

(ข) ผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบความทนทานโดยการขับจริง

1. ค่าความหนืดของน้ำมันที่ 100 °C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นที่เพิ่มมากขึ้น และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดที่มากขึ้นตามอายุการใช้งานเครื่องยนต์ที่มากขึ้น ปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำและเขม่าที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นมีค่าไม่เกินเกณฑ์การเตือนภัยเริ่มต้น ค่าออกซิเดชัน ไนเตรชัน ซัลเฟชัน และ ค่า TBN มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าไม่เกินเกณฑ์การเตือนภัยเริ่มต้นเช่นกัน ตลอดระยะเวลาทดสอบ

2. ปริมาณธาตุที่มาจากการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ มีค่าไม่เกินเกณฑ์การเตือนภัยเริ่มต้น ยกเว้นช่วงที่มีการใช้งานเกินจากอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นตามปกติ (อายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นโดยปกติเท่ากับ 5,000 กิโลเมตร) พบว่าปริมาณการสะสมของธาตุเหล็ก(Fe) และธาตุโครเมียม(Cr) มีค่าสูงเกินเกณฑ์การเตือนภัยขั้นวิกฤตเล็กน้อย

3. ปริมาณสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่นมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ ในแต่ละช่วงอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น ตลอดการทดสอบความทนทาน

6.1.4 ผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลต่อชิ้นส่วนภายใน

(ก) ผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลต่อชิ้นส่วนภายใน หลังการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ

1. พบคราบเขม่าเกาะสะสมบริเวณหัวลูกสูบโดยเฉพาะส่วนที่สัมผัสกับการเผาไหม้โดยตรงเป็นจำนวนมาก เขม่าที่เกิดขึ้นมีลักษณะค่อนข้างหนาบริเวณด้านทางออกของห้องเผาไหม้ช่วย นอกจากนี้ยังพบคราบเขม่าสะสมในทุกด้านของผนังกระบอกสูบบริเวณช่วงปลายของห้องเผาไหม้ส่วนที่ติดกับฝาสูบ ลักษณะของเขม่าเป็นตะกอนแข็งเกาะอยู่โดยรอบ

2. พบคราบเขม่าสีส้มเกาะติดที่หน้าฝาสูบ และมีเขม่าสะสมเป็นจำนวนมากในแนวขอบของกระบอกสูบ ร่องบ่าวาล์วไอดีและที่หน้าหัวฉีดของทั้งสี่สูบในลักษณะเดียวกัน นอกจากนี้ยังตรวจพบคราบเขม่า ตะกรันที่เป็นยางเหนียวในร่องแหวนเป็นจำนวนมาก

3. แบร้งก้านสูบและแบร้งข้อเหวี่ยงเกิดการสึกหรอในลักษณะของการใช้งานปกติ บริเวณหลังวาล์วไอดีเสียมีเขม่าปกคลุมเต็มพื้นที่ บ่าวาล์วไอดีเกิดการสึกหรอเล็กน้อย มีเขม่าเกิดขึ้นเป็นจุดโดยรอบบ่าวาล์วไอดีเสีย พบการสึกหรอและมีเขม่าเป็นตะกอนของแข็งเกาะโดยรอบก้านวาล์ว ส่วนวาล์วไอดีพบคราบเขม่าสะสมเป็นจำนวนมากที่ด้านหลังวาล์ว บ่าวาล์วและก้านวาล์วมีสภาพค่อนข้างสมบูรณ์ โดยมีร่องรอยการสึกหรอและคราบเขม่าเกิดขึ้นเล็กน้อย

4. พบการสึกหรอของชิ้นส่วนปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเกิดการกัดกร่อนเป็นหลุมเป็นบ่อที่ผิวโลหะบริเวณช่องปิดน้ำมันของลูกปั๊มค่อนข้างชัดเจน และพบคราบไขน้ำมันเกาะที่ผิวสกรูจ่ายน้ำมันเป็นจำนวนมาก

5. น้ำหนักของชิ้นส่วนแหวนลูกสูบลดลงเล็กน้อย ในขณะที่น้ำหนักของชิ้นส่วนปั๊มฉีดเชื้อเพลิงมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

6. ไม่พบการอุดตันของไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง ตลอดการทดสอบความทนทาน

(ข) ผลกระทบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลต่อชิ้นส่วนภายใน หลังการทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ด้วยการขับจริง

1. พบคราบเขม่าเกาะสะสมบริเวณหัวลูกสูบ(ส่วนที่สัมผัสกับการเผาไหม้โดยตรง)และบริเวณด้านทางออกของห้องเผาไหม้ช่วย รวมทั้งเขม่าและยางเหนียวในร่องแหวน มีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นหลังจากการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

2. ไม่พบการอุดตันของไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง ตลอดการทดสอบความทนทาน

6.2 ข้อเสนอแนะ

การนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลชนิดห้องเผาไหม้ล่วงหน้าในรถบรรทุกขนาดเล็ก ควรกำหนดการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นให้สั้นลงหากมีการใช้งานที่ภาระสูงเป็นเวลานานเพื่อป้องกันไม่ให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นมีค่าสูงกว่าระดับการเตือนสิ่งผิดปกติซึ่งจะทำให้การสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์เกิดขึ้นมากกว่าปกติ หรืออาจป้องกันได้โดยการใช้ น้ำมันหล่อลื่นที่มีสารเติมแต่งเพื่อลดการสึกหรอที่เหมาะสม

6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อเนื่อง

1. ควรมีการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ด้วยระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นเพื่อความชัดเจนของผลกระทบที่เกิดขึ้น
2. ควรมีการศึกษาถึงสารเติมแต่ง (Additive) ในน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมเพื่อลดอัตราการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล
3. ควรมีการศึกษาถึงสารชะล้าง (Detergent) ที่ใช้ผสมกับน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซล เพื่อช่วยลดคราบเขม่าและตะกอนในห้องเผาไหม้ ฝาสูบและที่ปลายหัวฉีด
4. ควรมีการศึกษาถึงวิธีปรับแต่งการทำงานของเครื่องยนต์เพื่อให้สามารถใช้น้ำมันผสมชนิดนี้ได้ อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเช่น การปรับจังหวะการฉีดของเชื้อเพลิง(Injection timing) เป็นต้น

รายการอ้างอิง

1. Heywood, J.B. Internal combustion engine fundamentals. Singapore: McGraw-Hill, 1988.
2. Sher, E. Handbook of air pollution from internal combustion engines – Pollutant formation and control. United States of America: Academic Press, 1998.
3. อารีย์ อรัญญวัฒน์. พืชน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครปฐม : ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2532.
4. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก.288-2535. น้ำมันปาล์มสำหรับการบริโภค. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
5. Hartley, C.W.S. The oil palm. 2 nd edition. London: Longman, 1977.
6. สุพล ราษฎร์นุ้ย. วิศวกรรมการบำรุงรักษา. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2545.
7. ปรีชา ช่องอารีย์ และคนอื่นๆ. การใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล (รายงานการวิจัย). วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.
8. Focus Laboratories Ltd. Oil Analysis the complete course for maintenance professionals, (เอกสารประกอบการสัมมนา 15-17 ตุลาคม 2546).
9. Neil Robinson. Monitoring oil degradation with infrared spectroscopy. Technical bulletin issue 18 [Online]. Available from: <http://www.wearcheck.com/literature/techdoc/WZA018.pdf> [12 March 2004]
10. Yusuf Ali, and M.A. Hanna. Alternative diesel fuels from vegetable oils. Bioresource Technology 50 (21 July 1994): 153-163.
11. Pryor, R.W., M.A. Hanna, J.L. Schinstock, and L.L. Bashford. Soybean oil fuel in a small diesel engine. Transaction of the ASAE 26: 333-337.
12. Norbert H., Volker K., and Herwig. Performance, Exhaust Emission and Durability of modern diesel engines running on rapeseed oil. SAE paper No.910848 (25 February-1 March 1991).
13. Pacific regional biomass energy program. News Archive February 2002 [Online]. Available from : <http://www.pacificbiomass.org/archives/news0202.cfm> [November 2003]

14. Yu C.W., Bari S, and Ameen A. A comparison of combustion characteristics of waste cooking oils as fuel in a D.I. Diesel Engine. Proc. I. MECH. E. part D journal of automobile engineering vol.216 No.3: 237-243.
15. Jones, S., and Charles L. Peterson. Using unmodified vegetable oils as a diesel fuel extender-a literature review. [Online]. Available from: http://www.uidaho.edu/bae/biodiesel/raw%20vegetable%20oils_literature%20review.doc [November 2003]
16. Ziejewski, M., and Hans J. Goettler. EMA Durability tests on high oleic sunflower and safflower oils in diesel engines. SAE paper No.961846 (26-28 August 1996).
17. Engelman, H. W., D. A. Guenther, and T. W. Silvis. Vegetable oil as a diesel fuel. Diesel & Gas Engine Power Division of ASME No.78-DGP-19 (1978).
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. M.A. Kalam, and 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
22. ทบวงมหาวิทยาลัย. โครงการวิจัยการใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล. รายงาน. ทม 0204(5)/25498. 3 ธันวาคม 2544.
23. สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). โครงการวิจัยการใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์มดิบกับเครื่องยนต์เกษตรกรรม. (รายงาน สำนักพระราชวัง พฤษภาคม 2545).
24. กรมวิชาการเกษตร. โครงการวิจัยการใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล. (รายงาน. กษ 0901/461. 8 มีนาคม 2545).

25. ปรีชา ช่องอารีย์ และคนอื่นๆ. การวิจัยการใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลระยะที่ 2 (รายงานการวิจัย). วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2543.
26. Nirod Akarapanjavit ,PTT Public Company Limited. A Study of Using Refined Palm Oil Blending in Diesel Fuel for Automobile in Thailand., 8th Annual Fuels & Lubes Asia Conference and Exhibition , Shanggri-La Hotel, Singapore 2002.
27. สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. การประเมินสมรรถนะ การปล่อยมลพิษและการสึกหรอของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันผสมดีเซลชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง, สิงหาคม 2546.
28. คณิต วัฒนวิเชียร , Visualization of Crude Palm Diesel Combustion in IDI Engine. JSAE Annual Congress 2004.
29. Plint, M.,and Martyr, A. Engine Testing Theory and practice. 2 nd edition. Great Britain: Butterworth-Heinemann, 1999. Cited in Kastner, L.J. The air box method of measuring air consumption. Proc. I. Mech. E.,1947, 194.
30. ISO 3046 Internal Combustion Engines – Performance
Part 1 - Engines for land, rail-traction and marine use - Standard reference conditions and declamations of power, fuel consumption and lubricating oil consumption.
31. Weng, W.,and D.E. Richardson. Cummins smart oil consumption measuring system. SAE paper No. 2000-01-0927 March 6-9 (2002): 3-4.
32. Fatty Acid Methyl Ester Fuels as a Replacement or Extender for Diesel Fuels, Diesel Fuel Injection Equipment Manufacturers Common Position Statement, FAME Fuel – Joint FIE Manufacturers Statement, June (2000): 1-5

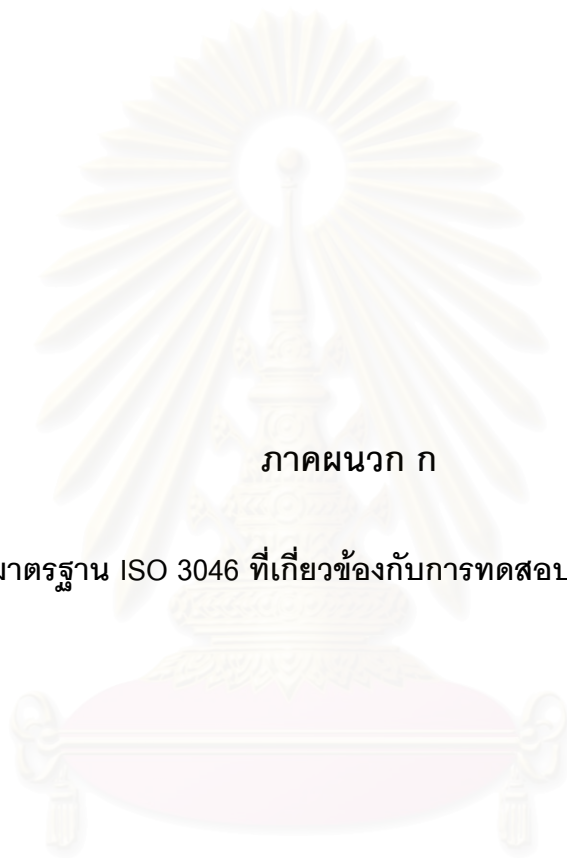
บรรณานุกรม

1. Owen, K., and Trevor Coley. Automotive Fuels Reference Book. 2 nd edition. United states of America: Society of Automotive Engineers, 1995.
2. White, F.M. Fluid Mechanics. 4 th edition. Boston: McGraw-Hill, 1999.
3. Blaich, B. Diesel Fuel Injection. 1 st edition. Germany: Robert Bosch GmbH, 1994.
4. Ding, J. Determining Fatigue Wear Using Wear Particle Analysis Tools [Online]. Available from:
http://www.practicingoilanalysis.com/article_detail.asp?articleid=526&relatedbookgroup=WearDebris [12 March 2004]
5. Quesnel, B. Direct-Reading and Analytical Ferrography [Online]. WearCheck Canada 1995. Available from:
<http://www.wearcheck.com/literature/techdoc/WCA001.htm> [12 March 2004]
6. Geach, A. Infrared Analysis as a Tool for Assessing Degradation in Used Engine Lubricants [Online]. WearCheck Africa. 1996. Available from:
<http://www.wearcheck.com/literature/techdoc/WCA002.htm> [12 March 2004]
7. Geach, A. Detecting particles in oil (Part 1). Technical bulletin issue 24 [Online] 2002. Available from: <http://www.wearcheck.com/literature/techdoc/WZA024.pdf> [12 March 2004]
8. Geach, A. Detecting particles in oil (Part 2). Technical bulletin issue 25 [Online] 2002. Available from: <http://www.wearcheck.com/literature/techdoc/WZA025.pdf> [12 March 2004]



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

มาตรฐาน ISO 3046 ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบเครื่องยนต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาตรฐาน ISO 3046 ที่เกี่ยวข้องกับ การทดสอบเครื่องยนต์ [30]

International Combustion Engines - Performance

Part 1 - Engines for land, rail-traction and marine use - Standard reference conditions and declarations of power, fuel consumption and lubricating oil consumption

ก.1 Scope

This report of ISO 3046 specifies the standard reference conditions and the methods of declaring of power, fuel consumption and lubricating oil consumption for reciprocating internal combustion engines using liquid or gaseous for particular engine applications.

ก.2 Field of application

This part of ISO 3046 covers reciprocating internal combustion engines for land, rail-traction and marine use, excluding engines to propel agricultural tractors, road vehicles and aircraft.

This part of ISO 3046 may be applied to engines used to proper road construction and earth-moving machines, industrial trucks and for other applications where no suitable International Standard for these engines exist.

ก.3 References

ISO1000, SI units and recommendation for the use of their multiples and of certain other units.

ISO 1204, Reciprocating internal combustion engines - Designation of the direction of rotation.

ISO 1205, Reciprocating internal combustion engines - Designation of the direction of cylinders.

ISO 1585, Road vehicles - Engine test code - Net power.

ISO 2534, Road vehicles - Engine test code - Gross power.

ISO 2710, Reciprocating internal combustion engines - General definitions.

ISO 3046/2, Reciprocating internal combustion engines - Performance - Part 2 : Engine tests.

ISO 3046/4, Reciprocating internal combustion engines - Performance - Part 4 :
Speed governing.

ISO 3046/6, Reciprocating internal combustion engines - Performance - Part 6 :
Overspeed protection

n.4 Units and terms

n.4.1 The units used are those of the International System of Units (SI Unit) described in ISO 1000.

n.4.2 The general engine terms used are as defined in ISO 2710.

n.5 Standard reference conditions

For the purpose of determining the power and fuel consumption of engines, the following standard reference conditions shall be used :

Total barometric pressure :

$$P_r = 100 \text{ kPa}$$

Air temperature :

$$T_r = 300 \text{ K (27 } ^\circ\text{C)}$$

Relative humidity :

$$\phi_r = 60 \%$$

Charge air coolant temperature :

$$T_{cr} = 300 \text{ K (27 } ^\circ\text{C)}$$

If other reference conditions are chosen, these shall be stated.

NOTES

1. Relative humidity of 60% corresponds to a water vapor pressure of 2,133 kPa (16 mmHg) at a temperature of 300 K.
2. The air density at the standard reference conditions is equivalent to that at 98 kPa (376 mmHg) and 20 °C and to that at 101 kPa (760 mmHg) and 30 °C
3. For automotive type inboard and outboard marine propulsion engines, the standard reference conditions in ISO 1585 and ISO 2534 may be applied but they shall be stated.

ก.6. Auxiliaries

ก.6.1 Introduction

In order to show alertly the conditions under which a power is determined, it is necessary to distinguish those auxiliaries which affect the final shaft output of the engine and also those which are necessary for the continuous or repeated use of the engine.

Items of equipment fitted to the engine and without which the engine could not in any circumstance operate at its declared power are considered to be engine components and are not therefore, classed as auxiliaries.

(Such as fuel injection pump, exhaust turbocharger and charge air cooler are in this category of engine components.)

ก.6.2 dependent auxiliary : Item of equipment, the presence or absence of which affects the final shaft output of the engine.

ก.6.3 independent auxiliary : Item of equipment which uses power supplied from a source other than the engine.

ก.6.4 essential auxiliary : Item of equipment which is essential for the continued or repeated operation of the engine.

ก.6.5 non-essential auxiliary : Item of equipment which is not essential for the continued or repeated operation of the engine.

ก.7 Declarations of power

ก.7.1 Introduction

ก.7.1.1 Purpose of statement of power

Statements of power are required for two main purposes :

a) the declaration by a manufacturer of the value of the power which his engine will deliver under a given set of circumstances. This declared value is known as the "rated power".

b) the verification by measurement that the engine delivers the power which has been declared in a), under the same set of circumstances or after proper allowance has been made for any difference in circumstance.

To specify the set of circumstances under which the declared value of a power would be achieved, the declaration shall state :

- a) the kind of statement of power (see 7.4) and of necessary, the ambient and operating condition (see 7.4.2).
- b) the kind of power output (see 7.3).
- c) the kind of power (see 7.3).
- d) the corresponding engine speed.

NOTE

1. The term used in a) to c) may be combined, for example, continuous net brake fuel stop power.
2. Where appropriate to the engine application and the method of manufacture, the power achieved may be subject to a tolerance on the declared power. The existence of and its magnitude shall be stated by the manufacturer.
3. Measurement of the powers referred to in this International Standard shall be determined in accordance with ISO 3046/2.

ก.7.1.2 Unit of power

Power shall be expressed in kilowatts (kW) The addition of the equivalent metric or imperial "horsepower" is permitted for a transitional period.

ก.7.1.3 Power and torque

For engines delivering power by a shaft or shafts, any power in this International Standard is a quantity proportional to the mean torque, calculated on shafts transmitting this torque.

For engines delivering power other than by a shaft or shafts, reference shall be made to the appropriate International Standard for the driven for the driven machine.

n.7.1.4 Engine speed

The speed of an engine is the mean rotational speed of its crankshaft or crankshatts in revolution per minute, except in the case of “free piston” engines where the speed is the number of cycles per minute of the reciprocating components.

n.7.1.5 Engine with integral gearing

When stating the power of an engine fined with an integral (built-in) speed increasing or reducing device, the speed of the driving shaft extremist shall also be given at the declared engine speed.

n.7.2 Kinds of power

n.7.2.1 Indicated power

The total power developed in the working cylinders by the gases on the combustion side of the working pistons.

n.7.2.2 Brake power

The power of the sum of the powers measured at the extremity of the engine driving shaft or shafts.

n.7.2.2.1 Any statement of brake powers shall be supported by the following list of auxiliaries :

- a) essential dependent auxiliaries as defined in 6.2 and 6.4;
- b) essential independent as define in 6.3 and 6.4;
- c) non-essential dependent auxiliaries as defined in 6.2 and 6.5.

The power absorbed by the independent and the non-essential dependent auxiliaries may be significant, in such cases, their power requirement shall be declared.

Note - Examples of typical auxiliaries are listed in annex A for guidance purposes. These lists are not necessary complete.

n.7.2.3 Net brake power

The brake power measured when the engine is using only the auxiliaries listed in 7.2.2 a).

ก.7.3 Kinds of power output

ก.7.3.1 continuous power

Power which an engine is capable of delivering continuous, between the normal maintenance intervals stated by the manufacturer, at stated speed and under stated ambient conditions, the maintenance prescribed by the manufacturer being carried out.

ก.7.3.1 Overload power

Power which an engine may be permitted to deliver, at stated ambient conditions, immediately after working at the continuous power.

The duration and frequency of use of overload power which is permitted will depend on the service application but adequate allowance shall be made in setting the engine fuel stop permit the overload power shall be expressed as a percentage of the continuous power, together with the duration and frequency permitted and the appropriate engine speed.

Unless otherwise stated an overload power of 110% of the continuous power at a speed corresponding to the engine application is permitted for a period of 12 hours of operation.

NOTES

1. The power of marine main propulsion engines is normally limited to to continuous power, so that the overload power cannot be given in service. However, for special applications, marine mnain propulsion engines may develop overload power in service.
2. If the engine application is not determined, the engine manufacturer shall specify the overload power and the corresponding engine speed.

ก.7,3.2 Fuel stop power

Power which an engine is capable of delivering during a stated period corresponding to its application, and at stated speed and under stated ambient conditions, with the fuel limit so that the fuel stop power cannot exceeded.

๓.7.4 Kinds of statements of power

๓.7.4.1 ISO powers

๓.7.4.1.1 ISO power

Power determined under the operating conditions of the manufacturer's test bed and adjusted to the standard reference conditions in clause 5.

๓.7.4.1.2 ISO standard power

The name given of the continuous net brake power which the engine manufacturer declares that an engine is capable of delivering continuously, between the normal maintenance intervals stated by the manufacturer, and under the following conditions :

- a) at a stated speed under the operating conditions of the engine manufacturer's test bed;
- b) with the declared power adjusted to the standard reference conditions given in clause 5;
- c) the maintenance prescribed by the engine manufacturer being carried out.

๓.7.4.2 Service power

Power determined under the ambient and operating conditions of an engine application.

To establish service power, the following conditions shall be taken into account :

- a) the ambient conditions, or any nominal ambient conditions according to the special requirements of inspecting and/or legislative authorities and/or classification societies, as specified by the customer (see clause 12);
- b) the normal duty of the engine;
- c) the expected interval between maintenance periods;
- d) the nature and amount of the supervision required;
- e) all information relevant to the operation of the engine in service (see clauses 12 and 13).

ก.8. Declarations of fuel consumption

ก.8.1 Definitions

ก.8.1.1 Fuel consumption

The quantity of fuel consumed by an engine per unit of time at a state power and under stated conditions.

The quantity of liquid fuels shall be expressed in mass units (kg).

The quantity of gaseous fuels shall be expressed in energy units (J).

ก.8.1.2 Specific fuel consumption

The fuel consumption per unit of power.

ก.8.1.3 ISO specific fuel consumption

The name given in the specific fuel consumption at the ISO standard power.

If not otherwise specified by the manufacturer, a declared specific fuel consumption shall be considered to be the ISO specific fuel consumption.

ก.8.2 Reference calorific value of fuels

ก.8.2.1 Liquid fuel engines

The declared specific fuel consumption of a liquid fuel engine shall be related to a reference lower calorific value of 42,000 kJ/kg (10,030 kcal/kg).

ก.8.2.2 Gas engines

The declared specific fuel consumption of a gas engines shall be related to a stated lower calorific value the gas. The type of gas shall be declared.

ก.8.2.3 Specific fuel consumption declarations

The specific fuel consumption of an engine shall be declared at :

- a) the ISO standard power;
- b) (if required by special agreement) at any other declared powers and at specific engine speeds appropriate to the particular engine application.

Unless otherwise states, a deviation of +5% is permitted for the specific fuel consumption for the declared power.

n.9. Declarations of lubricating oil consumption 1 Lubricating oil consumption

n.9.1 Lubricating oil consumption

The quantity of lubricating oil consumed by an engine per unit of time. This quantity is used for guidance. It shall be expressed in litres or kilograms per engine operating hour at the declared power and engine speed.

n.9.2 The lubricating oil consumption after a stated period of running-in shall be declared.

n.9.3 The oil discarded during an engine oil change shall be not included in the lubricating oil consumption declaration.

n.10. Adjustment of net brake power for ambient conditions

n.10.1 When it is required to operate the engine under conditions difference from the standard reference conditions given in clause 5, the net brake power output shall be adjusted to or from the standard reference conditions by the following formulae (see note 1) :

$$P_x = \alpha P_r \quad (\text{n-1})$$

$$\alpha = k - 0.7(1-k) \left(\frac{1}{\eta_m} - 1 \right) \quad (\text{see note 2}) \quad (\text{n-2})$$

$$k = \left(\frac{p_x - a\phi_x p_{sx}}{p_r - a\phi_r p_{sr}} \right)^m \left(\frac{T_r}{T_x} \right)^n \left(\frac{T_{cr}}{T_{cx}} \right)^q \quad (\text{n-3})$$

n.10.2 In the case of turbocharged engines in which the limits of turbocharger speed and turbocharger turbine inlet temperature have not been reached at the declared power under standard reference conditions, the manufacturer may declare substitute reference conditions to or from which power adjustments is to be made.

The following formulae (4) and (5) will then be used instead of formula (3)

$$k = \left(\frac{p_x}{p_r} \right)^m \left(\frac{T_r}{T_x} \right)^n \left(\frac{T_{cr}}{T_{cx}} \right)^q \quad (\text{n-4})$$

$$p_{ra} = P_r \times \left(\frac{\pi_r}{\pi_{\max}} \right) \quad (\text{n-5})$$

Where :

P_r is the brake power;

p_r is the standard reference total barometric pressure;

p_{sr} is the saturation vapour pressure under standard reference conditions;

ϕ_r is the standard reference relative humidity;

T_r is the standard reference absolute air temperature;

T_{cr} is the standard reference absolute charge or coolant temperature;

P_{ra} is the substitute reference total barometric pressure given by formula (5);

T_{ra} is the substitute reference absolute air temperature to be stated by the manufacturer;

π_r is the boost pressure ratio at declared power under standard reference conditions to be stated by the manufacturer;

π_{max} is the maximum available boost pressure ratio to be stated by the manufacturer;

α is the power adjustment factor;

k is the ratio of indicated power;

η_m is the mechanical efficiency (see note 4);

P_x is the brake power under the conditions being considered;

p_x is the total barometric pressure condition being considered;

p_{sx} is the saturation vapour pressure under pressure the conditions being considered;

ϕ_x is the relative humidity condition being considered;

T_x is the absolute air temperature being considered;

T_{cr} is the absolute charge air coolant temperature at charge air cooler inlet being considered.

The factor a and exponent m , n , and q have the numerical value given in table 1 (see note 5).

NOTES

1. For the convenience of users of these formulae, reference may be made to tables and nomograms in annexes B to O, which also include numerical examples.

2. When the ambient conditions are more favourable than the standard reference conditions, the declared power under the ambient conditions may be limited by the manufacturer to the declared power at the standard reference conditions.

3. If the relative humidity is not known, a value of 60% should be assumed in formulae references A, E and G in table 1.

For all other formulae references the power adjustment is independent of humidity ($a = 0$).

4. The value of mechanical efficiency shall be stated by the engine manufacturer. In the absence of any such statement, the value of $\eta_m = 0.80$ will be assumed.

5. When declaring the ISO standard power the engine manufacturer shall state which of the formulae references in table 1 is applicable.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Table n-1 - Numerical values for power adjustment

Engine type	Condition		Formula reference	Factor	Exponents		
				a	m	n	q
Compression ignition oil engine and dual-fuel engines	Non - turbocharged	Power limited by air excess	A	1	1	0.75	0
		Power limited by thermal reason	B	0	1	1	0
	Turbocharged without charge air cooling	Low and medium speed	C	0	0.7	2	0
		four-stroke engine	D	0	0.7	1.2	1
Spark ignition engines using gaseous fuel	Non - turbocharged		E	1	0.86	0.56	0
	Turbocharged with charge air cooling	Low and medium speed four-speed engine	F	0	0.57	0.55	1.75
Spark ignition engines using liquid fuel	Naturally aspirated		G	1	1	0.5	0

NOTE - The factors and exponents given in table 1 have been established by tests on a number of engines to be generally representative and shall be used in the absence of any other specific information; for example in formula reference D, for an engine with the charge air cooled by engine jacket water, the value for exponent q could be zero. At present, they apply only to the type of engines specified but table 1 will be extended to include other types when sufficient are available.

n.11 Adjustment of fuel consumption for ambient conditions

n.11.1 When it is required to operate the engine under conditions different from the standard reference conditions given in clause 5, the fuel consumption will differ from that declared for the standard reference conditions and shall be adjusted to or from the standard reference conditions.

The following formulae shall be used if other methods are not declared by the engine manufacturers :

$$b_x = \beta b_r \quad (n-6)$$

where $\beta = k/\alpha \quad (n-7)$

where :

b is the specific fuel consumption

β is the fuel consumption adjustment factor

α is the power adjustment factor (see 10.1)

k is the ratio of indicated power (see 10.1)

Subscript r corresponds to values under the standard reference conditions.

Subscript x corresponds to values the conditions being considered.

NOTE - For the convenience of users of these formulae, reference may be made to the tables and nomograms in annexes B to 0, which also include numerical examples.

n.12 Information to be supplied by the customer

The customer shall supply the following information concerning the required power :

- a) The application and the power required from the engine and details arising therefrom.
- b) The expected frequency and duration of the required powered and the corresponding engine speeds.
- c) Site conditions
 - 1) Site barometric pressure (highest and lowest reading available; if no pressure data are available the altitude above sea level).
 - 2) The monthly mean minimum and maximum air temperatures during the hottest and coldest months of the year.

- 3) The highest and lowest ambient air temperatures around the engine.
 - 4) The relative humidity (or alternatively the water vapour pressure or the wet and dry bulb temperature) ruling at the maximum temperature conditions.
 - 5) The maximum and minimum temperature of the cooling water available.
- d) The specification and lower calorific value of the fuel available.
 - e) Whether the engine is to comply with the requirements of any classification society or with special requirements.
 - f) The probable period for which the engine will be running continuously, and the duration of maximum and minimum load.
 - g) Any other information appropriate to the particular engine application.

n.13 Information to supplied by the engine manufacturer

The engine manufacturer shall supply the following information :

- a) The declared powers.
- b) The corresponding crankshaft and output shaft speeds.

NOTE - For certain applications of variable engines it is common practice to supply a power/speed diagram covering the ranges of power over which the engine can be used in continuous and in short period operation.

- c) The direction of rotation (see ISO 1204).
- d) The number and arrangement of cylinders (see ISO 1205).
- e) Whether the engine is two-stroke or four-stroke, naturally aspired, mechanically pressure charge or turbocaharged and whether with or without charge air cooler.
- f) The quantity of air required for the operation of the engine for :
 - 1) combustion and scavenging;
 - 2) cooling and ventilation.
- g) The method of starting, apparatus supplied and additional apparatus required.
- h) The type and grade of lubricating oil(s) recommended.

j) The type of governing, with speed droop of required (see ISO 3046/4 and ISO 3046/6).

If for variable speed duties, the working speed range and the idling speed.

If necessary, the critical speed range shall be indicated.

k) The method of cooling and the capacity of the cooling system with the rates of circulation of the cooling fluids.

m) (From air cooled engines only.) Whether hot air discharge ducting can be fitted.

n) A schedule recommended maintenance and overhaul periods.

p) Specifications and lower calorific values of fuels recommended.

q) Maximum permissible back-pressure in the exhaust system and the maximum permissible intake depression.

r) Any other information appropriate to the particular engine application.





ภาคผนวก ข

การวัดอัตราการไหลของอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

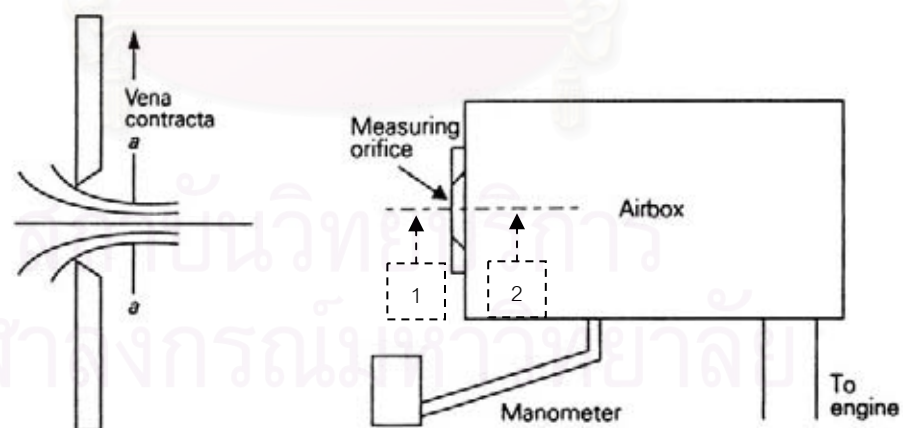
การวัดอัตราการไหลของอากาศด้วยวิธี Air box method [29]

การวัดอัตราการไหลของอากาศด้วยวิธี Air box method เป็นการวัดโดยใช้แผ่นออริฟิซ ประกอบกับถังพักอากาศ ซึ่งถังพักอากาศจะช่วยลดการกระเพื่อมของอากาศที่ถูกดูดตามจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ ทำให้อากาศที่ไหลผ่านออริฟิซมีอัตราการไหลที่สม่ำเสมอสามารถวัดความดันตกคร่อมได้ถูกต้องมากขึ้น

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นออริฟิซโดยประมาณ ที่อัตราการไหลต่างๆ แสดงดังตาราง ข-1

ตาราง ข-1 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของออริฟิซโดยประมาณที่อัตราการไหลต่างๆ

Orifice diameter (mm.)	Air Flow rate (m ³ /s)	Mass Flow rate (kg/s)
10	0.002	0.002
20	0.008	0.009
50	0.048	0.057
100	0.19	0.23
150	0.43	0.51



รูปที่ ข-1 แสดงภาพการวัดอัตราการไหลของอากาศด้วยวิธี Air box method [29]

ภาพถ่ายแสดงการไหลของอากาศผ่านแผ่น orifice plate

ภาพขวาแสดงภาพ Orifice flow meter

ปริมาณของถังที่เล็กที่สุดที่จะทำให้ไม่เกิดการกระเพื่อมของอากาศที่ไหล ได้ถูกวิเคราะห์ โดย Kastner [29] ดังสมการ (ข-1)

$$V_b = \frac{417 \times 10^6 K^4 d^2}{N_c V_s N_{min}^2} \quad (\text{ข-1})$$

- โดยที่ V_b คือ ปริมาตรถังพักอากาศที่เล็กที่สุด (m^3)
 K คือ ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 1 สำหรับเครื่องยนต์ 2 จังหวะ และมีค่าเท่ากับ 2 สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ
 d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของ orifice plate (m)
 N_c คือ จำนวนกระบอกสูบของเครื่องยนต์
 V_s คือ ปริมาตรช่วงชักลูกสูบ (m^3)
 N_{min} คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่น้อยที่สุด (รอบต่อนาที)

สมมติให้อากาศที่ไหลผ่าน orifice plate เป็นของไหลอัดตัวไม่ได้ (Incompressible flow) และพิจารณาให้ความหนาแน่นของอากาศคงที่ จากสมการเบอร์นูลลี จะได้ว่า

$$\frac{p_1}{\gamma_{air}} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma_{air}} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 \quad (\text{ข-2})$$

- โดยที่ p คือ ความดัน (kPa)
 v คือ ความเร็วอากาศ (m/s)
 γ_{air} คือ น้ำหนักจำเพาะของอากาศ ($kg/m^2 \cdot s^2$) = $\gamma_{air} g$
 ρ_{air} คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3) เท่ากับ $1.165 kg/m^3$ ที่ $30^\circ C$
 Z คือ ระดับความสูง (m)
 g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2) เท่ากับ $9.807 m/s^2$
 ตัวห้อย 1 และ 2 คือตำแหน่งสถานะ 1 และ 2 ในรูป ข-1 ขวา ตามลำดับ

เนื่องจากสถานะ 1 เป็นอากาศนิ่ง และทั้งสองสถานะอยู่ในระดับความสูงเดียวกัน ดังนั้น จะได้ความเร็วของอากาศ ตามสมการที่ (ข-5)

$$v_2 = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{air}}} \quad (\text{ข-3})$$

การไหลผ่าน orifice จะเกิด Vena contracta ซึ่งจะทำให้การไหลจริงน้อยกว่าทฤษฎีเสมอ ดังนั้นเมื่อคิดการไหลแบบคงตัว จะได้อัตราการไหลโดยมวลของอากาศ คือ

$$\dot{m}_a = C_{DO} \rho_{air} v A_o \quad (ข-4)$$

โดยที่ C_{DO} คือ Discharge coefficient ของ orifice plate

A_o คือ ขนาดของ orifice (m^2)

การวัดผลต่างความดันตกคร่อม orifice plate จะวัดโดยใช้मानมิเตอร์ ซึ่งจะได้ค่า head ในหน่วย mm.H₂O ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาผลต่างความดันตกคร่อม orifice plate ได้จากสมการ

$$\Delta p = \rho_{H_2O} g \Delta h \quad (ข-5)$$

โดยที่ Δh คือ ผลต่าง Head ที่อ่านได้จากमानมิเตอร์ (mmH₂O)

ρ_{H_2O} คือ ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 997 kg/m³

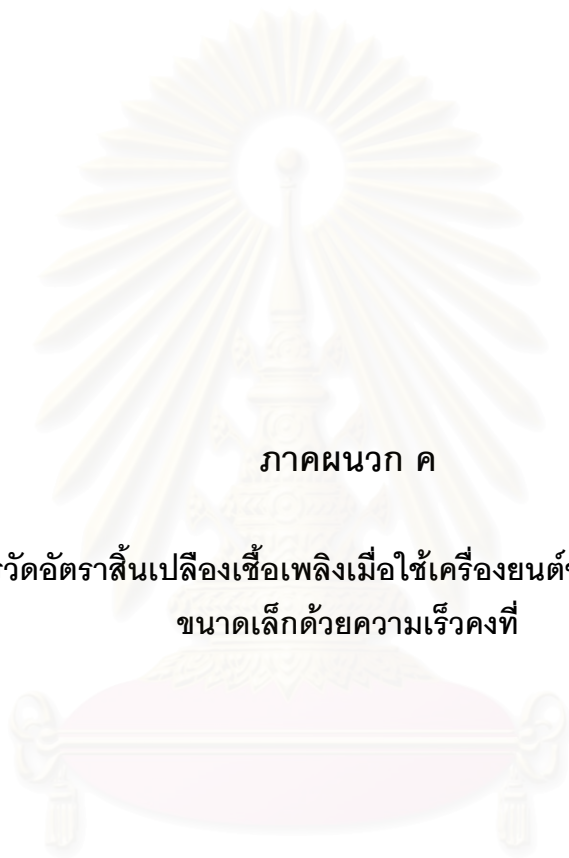
เมื่อนำสมการ (ข-5) และ (ข-7) มาแทนลงในสมการ (ข-6) จะได้สมการที่นำไปใช้งาน คือ

$$\dot{m}_a = C_{DO} A_o \sqrt{2 \rho_{air} \rho_{H_2O} g \Delta h} \quad (ข-6)$$

ดังนั้นจากสมการ (ข-2) และ (ข-8) จะสามารถหาอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศ และ Equivalent ratio ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$F/A = \frac{\rho_f V/t}{C_{DO} A_o \sqrt{2 \rho_{air} \rho_{H_2O} g \Delta h}} \quad (ข-7)$$

$$\text{Equivalent ratio} = \frac{(F/A)}{(F/A)_s}$$



ภาคผนวก ค

ข้อมูลการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถบรรทุก
ขนาดเล็กด้วยความเร็วคงที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-1 แสดงข้อมูลอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถบรรทุกด้วยความเร็วคงที่ ก่อนการทดสอบความทนทาน โดยใช้น้ำมัน Reference CPO/Diesel

Test fuel	Run number	Gear	Vehicle velocity (km/hr)	velocity checking (sec/3 km)			Fuel flow rate (sec/100 ml)			Average temperature(°C)							
				1	2	3	1	2	3	water in	water out	Eng oil	Ambient	Fuel in tank	Fuel in return line	intake manifold	exhaust
Reference CPO/Diesel 1st Test Before Durability test	1	4	60	183.53	182.52	184.45	89.66	89.51	89.88	57	75	93	25	25	52	43	89
	2	4	70	155.09	155.30	155.65	68.33	68.43	68.59	59	75	96	24	25	53	42	99
	3	4	80	135.73	135.73	137.24	54.19	54.20	54.16	65	75	100	24	25	55	41	114
	4	5	60	181.95	181.35	181.05	104.53	104.46	104.26	47	77	91	24	25	50	42	81
	5	5	70	155.11	154.33	154.01	78.67	78.29	78.26	51	76	93	25	25	50	42	92
	6	5	80	135.81	135.57	135.70	62.92	62.83	62.88	56	77	95	25	25	52	41	103
	7	5	90	119.21	119.29	119.31	49.61	50.02	50.12	60	77	99	25	25	54	41	118
Reference CPO/Diesel 2nd Test Before Durability test	8	4	60	181.12	182.22	183.83	88.59	88.76	89.22	58	75	94	25	25	53	45	89
	9	4	70	157.62	157.00	156.10	68.75	68.60	68.51	60	75	96	24	25	54	44	98
	10	4	80	134.59	134.54	134.37	53.42	53.37	53.15	66	76	100	24	25	56	44	114
	11	5	60	181.14	181.19	181.30	100.14	100.24	100.25	50	77	92	25	26	52	43	82
	12	5	70	154.32	154.04	155.01	75.26	75.20	75.34	53	77	94	25	26	52	45	92
	13	5	80	135.99	135.44	135.70	61.72	61.66	61.69	55	78	95	25	26	51	43	101
	14	5	90	119.45	119.34	119.54	48.57	48.57	47.96	61	78	100	25	26	54	43	118

ตารางที่ ค-2 แสดงข้อมูลอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถบรรทุกด้วยความเร็วคงที่ ก่อนการทดสอบความทนทาน โดยใช้น้ำมัน Reference Diesel

Test fuel	Run number	Gear	Vehicle velocity (km/hr)	velocity checking (sec/3 km)			Fuel flow rate (sec/100 ml)			Average temperature(°C)							
				1	2	3	1	2	3	water in	water out	Eng oil	Ambient	Fuel in tank	Fuel in return line	intake manifold	exhaust
Reference Diesel 1st Test Before Durability test	1	4	60	180.50	180.61	181.01	92.26	92.88	93.34	57	75	92	26	26	53	42	93
	2	4	70	156.60	156.10	156.75	73.84	73.04	73.61	63	73	96	26	26	55	40	103
	3	4	80	135.76	135.90	135.98	57.80	57.96	58.08	67	77	99	26	26	57	40	119
	4	5	60	180.56	180.20	180.45	104.12	104.36	104.03	50	76	90	25	26	51	41	90
	5	5	70	156.36	154.98	155.14	80.66	80.14	80.40	49	75	91	25	26	50	38	95
	6	5	80	134.98	134.38	135.10	62.22	61.84	62.63	55	74	95	25	26	51	37	108
	7	5	90	120.10	119.45	119.43	51.01	50.86	50.70	62	74	99	26	27	55	38	136
Reference Diesel 2nd Test Before Durability test	8	4	60	180.30	180.76	181.06	87.67	87.05	87.79	62	78	95	27	27	56	48	94
	9	4	70	156.46	156.15	156.78	73.94	73.04	73.51	63	77	97	26	26	57	45	104
	10	4	80	134.95	135.75	135.86	57.60	58.06	58.18	67	76	99	25	26	58	44	118
	11	5	60	180.36	180.15	180.35	97.54	97.18	98.75	46	78	92	27	28	53	43	86
	12	5	70	155.24	154.85	156.46	80.46	80.24	80.50	53	78	94	27	28	52	42	94
	13	5	80	134.78	134.48	135.21	62.02	61.94	62.73	58	78	96	27	28	54	46	104
	14	5	90	120.18	119.55	119.53	51.21	50.76	50.60	61	79	101	27	28	56	46	123

ตารางที่ ค-3 แสดงข้อมูลอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถบรรทุกด้วยความเร็วคงที่ หลังการทดสอบความทนทาน โดยใช้น้ำมัน Reference CPO/Diesel

Test fuel	Run number	Gear	Vehicle velocity (km/hr)	velocity checking (sec/3 km)			Fuel flow rate (sec/100 ml)			Average temperature(°C)							
				1	2	3	1	2	3	water in	water out	Eng oil	Ambient	Fuel in tank	Fuel in return line	intake manifold	exhaust
Ref. CPO/Diesel 1st Test After Durability test	1	4	60	182.11	179.51	180.36	85.83	85.48	85.61	59	68	89	24	25	51	47	-
	2	4	70	154.70	154.55	156.32	64.22	65.30	69.46	65	70	93	24	24	53	46	-
	3	4	80	133.80	133.45	133.98	51.10	50.99	50.62	69	72	97	24	25	56	41	-
	4	5	60	179.83	181.19	182.10	99.75	99.18	99.69	56	65	86	25	25	49	39	-
	5	5	70	154.19	155.40	155.52	75.13	75.73	75.65	55	66	89	24	25	51	41	-
	6	5	80	136.15	135.77	134.67	58.44	58.47	58.37	59	66	92	25	25	52	36	-
	7	5	90	119.63	119.20	119.32	48.42	48.41	48.30	65	71	95	25	25	56	42	-
Ref.CPO/Diesel 2nd Test After Durability test	8	4	60	118.61	118.92	118.33	82.07	82.46	80.74	60	67	87	23	25	53	56	-
	9	4	70	154.95	154.30	155.95	66.87	65.48	66.96	64	67	91	24	25	53	39	-
	10	4	80	135.50	134.95	134.84	53.90	53.24	52.52	68	71	96	23	24	55	37	-
	11	5	60	178.60	180.73	181.51	97.56	97.54	97.67	56	65	84	24	25	50	55	-
	12	5	70	154.87	155.76	156.35	66.41	66.67	67.32	61	69	88	25	26	51	40	-
	13	5	80	134.60	134.78	135.65	60.60	61.39	62.27	61	71	92	25	26	52	47	-
	14	5	90	120.43	119.98	120.10	47.48	46.87	47.46	66	73	97	25	26	54	42	-



ภาคผนวก ง

ข้อมูลในการทดสอบสมรรถนะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง -1 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ภาวะสูงสุด

Run Number	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
			T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
						out	in											
1	1000	134	28.8	26.4	765	88	81	470	89	32	55	38	168	13	18	8.10	8.10	8.09
2	1250	134	32.7	29.4	761.7	88	82	473	92	37	58	44	209	17.4	26.4	6.51	6.51	6.51
3	1500	140	30.3	27.2	764.5	88	81	531	94	34	53	39	259	26.3	42.2	5.44	5.44	5.44
4	1750	141	33	29.1	761.6	88	82	544	94	37	56	44	315	37.9	60.6	4.50	4.50	4.50
5	2000	145	33.2	29.1	761.8	88	82	642	98	37	55	44	358	52.4	88.1	3.65	3.64	3.65
6	2250	153	33.2	29.1	761.5	89	83	701	98	38	55	43	416	68.5	116.5	2.98	2.98	2.98
7	2500	148	32.8	29.7	762.2	88	81	709	101	38	53	44	440	87.6	129.8	2.80	2.80	2.80
8	2750	144	33.7	29.8	761.4	88	82	730	101	38	55	44	457	97.5	137.7	2.57	2.57	2.57
9	3030	140	34	29.8	763.4	88	82	748	106	39	55	47	480	118.7	160.9	2.37	2.37	2.37
10	3250	138	34.5	30	761.4	88	81	780	105	39	55	45	488	132.7	190.8	2.15	2.15	2.15
11	3500	136	33.7	29.2	763.7	88	80	779	110	38	52	46	497	164.7	248	2.03	2.03	2.03
12	3750	129	34.9	30.2	761.3	88	81	848	109	39	55	46	507	173.1	271.1	1.84	1.84	1.84
13	4000	120	32.8	28.4	764	88	81	834	114	37	52	46	516	188.8	276.7	1.85	1.85	1.85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง -1(ต่อ) แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ภาวะสูงสุด

Run Number	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
												k	α	β
1	1000	134	131.93	13.82	29.8	0.001007	262.52	127.11	0.020274	0.0497	0.720	1.013327	1.015659	0.997704
2	1250	134	134.62	17.62	30.1	0.001275	260.42	170.13	0.023456	0.0543	0.788	0.996090	0.995406	1.000687
3	1500	140	138.75	21.80	31.4	0.001508	249.07	257.15	0.028837	0.0523	0.758	1.007659	1.008999	0.998672
4	1750	141	141.84	25.99	30.6	0.001846	255.69	370.57	0.034617	0.0533	0.773	0.994983	0.994105	1.000883
5	2000	145	145.93	30.56	29.2	0.002279	268.45	512.35	0.040704	0.0560	0.811	0.994595	0.993649	1.000952
6	2250	153	154.05	36.30	28.3	0.002790	276.72	669.76	0.046539	0.0599	0.869	0.994203	0.993189	1.001021
7	2500	148	148.63	38.91	28.6	0.002963	274.12	856.52	0.052629	0.0563	0.816	0.996418	0.995791	1.000630
8	2750	144	145.29	41.84	28.1	0.00324	278.84	953.31	0.055524	0.0584	0.846	0.992453	0.991132	1.001333
9	3030	140	140.98	44.73	27.7	0.00351	282.36	1160.60	0.061263	0.0573	0.830	0.994088	0.993053	1.001042
10	3250	138	139.66	47.53	26.6	0.00388	294.16	1297.48	0.064775	0.0600	0.869	0.989872	0.988100	1.001794
11	3500	136	136.73	50.11	26.7	0.00409	293.85	1610.37	0.072164	0.0567	0.822	0.995451	0.994655	1.000800
12	3750	129	130.77	51.35	24.6	0.00454	318.60	1692.50	0.073982	0.0614	0.890	0.988457	0.986437	1.002048
13	4000	120	120.17	50.34	24.5	0.00447	319.94	1846.01	0.077264	0.0579	0.839	0.998771	0.998556	1.000215

ตารางที่ ง-2 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	11	27.1	24.9	765	88	87	113	85	30	51	41	175	13.7	19.2	34.25	34.25	34.28
2	30	27.4	25.5	765	88	86	148	86	30	53	40	173	13.6	19.2	25.00	24.92	24.97
3	50	27.5	25.7	765	88	86	191	87	30	53	40	172	13.5	19	18.93	18.96	18.96
4	70	27.9	25.9	765	88	84	232	87	31	53	40	171	13.4	18.8	15.17	15.16	15.16
5	90	28.2	25.9	765	88	84	284	88	31	53	40	170	13.3	18.6	12.44	12.44	12.46
6	111	28.4	26.0	765	88	82	351	88	31	54	40	170	13.2	18.2	10.13	10.13	10.14
7	131	28.6	26.2	765	88	82	438	89	32	55	41	169	13	18	8.38	8.37	8.39
8	134	28.8	26.4	765	88	81	470	89	32	55	41	168	13	18	8.10	8.10	8.09

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	11	10.76	1.13	10.4	0.000237	756.50	133.95	0.020813	0.0114	0.165	1.019064	1.022400	0.996737
2	30	29.38	3.08	20.6	0.000325	380.62	132.98	0.020737	0.0157	0.227	1.018047	1.021205	0.996907
3	50	48.98	5.13	26.0	0.000429	300.82	132.00	0.020661	0.0207	0.301	1.017708	1.020807	0.996964
4	70	68.68	7.19	29.2	0.000536	268.47	131.02	0.020584	0.0261	0.378	1.016356	1.019218	0.997192
5	90	88.41	9.26	30.8	0.000654	254.34	130.04	0.020507	0.0319	0.462	1.015344	1.018029	0.997362
6	111	109.12	11.43	30.9	0.000804	253.27	129.06	0.020430	0.0394	0.570	1.014671	1.017238	0.997476
7	131	128.88	13.50	30.2	0.000973	259.48	127.11	0.020274	0.0480	0.695	1.013998	1.016448	0.997590
8	134	131.93	13.82	29.8	0.001007	262.52	127.11	0.020274	0.0497	0.720	1.013327	1.015659	0.997704

ตารางที่ ง-3 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	28.8	26.1	764.8	88	87	130	89	32	51	42	275	26.3	44.5	23.85	23.83	23.86
2	30	28.8	26.0	764.8	88	87	169	89	32	51	43	273	26.4	44.4	17.15	17.14	17.14
3	50	28.8	26.4	764.7	88	86	214	90	32	51	43	271	26.4	44.0	12.99	13.00	13.01
4	70	29.2	26.4	764.7	89	85	262	91	33	52	43	270	26.4	44.0	10.47	10.49	10.52
5	90	29.2	26.7	764.7	88	84	320	92	33	52	43	267	26.4	43.4	8.53	8.53	8.53
6	110	29.6	26.7	764.5	88	83	388	92	33	53	43	265	26.4	42.8	7.10	7.10	7.10
7	130	29.9	27.1	764.5	88	82	480	94	34	53	43	262	26.3	42.4	5.83	5.83	5.83
8	140	30.3	27.2	764.5	89	81	531	94	34	53	43	259	26.3	42.2	5.44	5.44	5.44

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	9.85	1.55	9.8	0.000342	796.21	257.15	0.028837	0.0119	0.172	1.013062	1.015348	0.997749
2	30	29.55	4.64	21.2	0.000476	369.18	258.13	0.028892	0.0165	0.239	1.013062	1.015348	0.997749
3	50	49.25	7.74	26.8	0.000628	292.10	258.13	0.028892	0.0217	0.315	1.012929	1.015192	0.997771
4	70	69.06	10.85	30.3	0.000779	258.43	258.13	0.028892	0.0270	0.391	1.011589	1.013617	0.997999
5	90	88.79	13.95	31.7	0.000958	247.26	258.13	0.028892	0.0332	0.481	1.011589	1.013617	0.997999
6	110	108.72	17.08	32.2	0.001153	242.98	258.13	0.028892	0.0399	0.578	1.009988	1.011736	0.998272
7	130	128.64	20.21	31.3	0.001405	250.35	257.15	0.028837	0.0487	0.706	1.008989	1.010562	0.998443
8	140	138.75	21.80	31.4	0.001508	249.07	257.15	0.028837	0.0523	0.758	1.007659	1.008999	0.998672

ตารางที่ ง-4 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	30.4	28.9	762.1	88	87	152	92	36	55	46	383	54.7	92.9	16.22	16.22	16.21
2	30	31.9	28.6	762.1	87	86	196	93	36	51	44	380	54.7	92.9	11.88	11.87	11.86
3	50	31.9	28.9	762.1	89	85	256	94	36	51	43	377	54.2	92.5	8.92	8.92	8.94
4	70	31.8	28.8	762.1	89	84	323	94	36	53	44	374	54.6	90.1	7.09	7.09	7.09
5	90	32.0	28.9	762.1	89	84	375	95	37	52	43	370	54.6	91.5	5.99	5.99	5.99
6	110	32.6	28.7	762.1	88	84	437	96	37	53	43	367	54.1	90.5	5.07	5.07	5.07
7	130	32.9	28.9	761.9	87	82	533	97	37	55	44	362	53.1	89.1	4.25	4.25	4.25
8	145	33.2	29.1	761.8	88	82	642	98	37	55	44	358	52.4	88.1	3.65	3.64	3.65

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	9.95	2.08	8.932111	0.000508	876.78	534.83	0.041588	0.0122	0.177	1.004164	1.004893	0.999275
2	30	30.03	6.29	19.63082	0.000697	398.94	534.83	0.041588	0.0168	0.243	0.999227	0.999091	1.000135
3	50	50.05	10.48	24.60513	0.000927	318.29	529.94	0.041398	0.0224	0.324	0.999227	0.999091	1.000135
4	70	70.04	14.67	27.35809	0.001166	286.26	533.86	0.041550	0.0281	0.407	0.999554	0.999476	1.000078
5	90	90.12	18.87	29.72081	0.001381	263.50	533.86	0.041550	0.0332	0.482	0.998899	0.998707	1.000193
6	110	110.40	23.12	30.75684	0.001635	254.63	528.97	0.041359	0.0395	0.573	0.996939	0.996403	1.000538
7	130	130.66	27.37	30.47672	0.001953	256.97	519.19	0.040975	0.0477	0.691	0.995700	0.994948	1.000756
8	145	145.93	30.56	29.17326	0.002279	268.45	512.35	0.040704	0.0560	0.811	0.994595	0.993649	1.000952

ตารางที่ ง-5 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	11	30.8	28.0	762.6	87	85	173	94	35	53	48	460	88.6	133.1	11.59	11.59	11.61
2	30	31.0	28.0	762.6	88	84	224	95	35	53	47	457	88.5	133.5	8.81	8.83	8.84
3	50	31.3	28.0	762.5	88	85	286	96	35	53	46	454	88.5	133.3	6.90	6.90	6.90
4	70	31.6	28.2	762.5	88	84	349	97	36	53	46	452	88.5	133.3	5.57	5.56	5.56
5	90	31.8	28.4	762.5	88	84	431	98	36	54	45	449	88.5	132.9	4.55	4.55	4.55
6	110	32.3	28.6	762.4	88	83	512	99	36	54	45	446	88.2	129.3	3.84	3.84	3.84
7	130	32.6	29.2	762.2	88	83	593	100	37	52	44	443	87.9	131.3	3.32	3.32	3.32
8	148	32.8	29.7	762.2	88	81	709	101	38	53	44	440	87.6	129.8	2.80	2.80	2.80

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	11	10.95	2.87	8.783719	0.000710	891.60	866.29	0.052929	0.0134	0.194	1.003501	1.004113	0.999390
2	30	29.90	7.83	18.23561	0.000934	429.46	865.32	0.052899	0.0177	0.256	1.002841	1.003338	0.999504
3	50	49.90	13.06	23.76327	0.001196	329.56	865.32	0.052899	0.0226	0.328	1.001721	1.002023	0.999699
4	70	69.94	18.31	26.82841	0.001485	291.91	865.32	0.052899	0.0281	0.407	1.000735	1.000864	0.999871
5	90	89.99	23.56	28.21406	0.001817	277.58	865.32	0.052899	0.0343	0.498	1.000079	1.000093	0.999986
6	110	110.22	28.86	29.11187	0.002156	269.02	862.38	0.052809	0.0408	0.592	0.998311	0.998015	1.000296
7	130	130.45	34.15	29.75243	0.002497	263.22	859.45	0.052719	0.0474	0.686	0.997070	0.996557	1.000515
8	148	148.63	38.91	28.57003	0.002963	274.12	856.52	0.052629	0.0563	0.816	0.996418	0.995791	1.000630

ตารางที่ ง-6 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 3,030 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	33.1	29.7	763.5	88	86	212	99	37	53	50	498	118.3	165.9	9.04	9.05	9.06
2	30	32.5	29.2	763.5	88	85	264	100	37	52	50	496	118.4	166.9	6.82	6.83	6.82
3	50	32.1	28.8	763.5	88	84	331	100	37	52	50	494	119	168.1	5.39	5.38	5.39
4	71	33.0	29.0	763.4	88	84	415	101	37	53	49	490	119.3	168.1	4.29	4.29	4.29
5	91	33.1	29.1	763.4	88	84	504	102	38	53	48	488	119.4	167.9	3.57	3.57	3.57
6	111	33.5	29.2	763.4	88	83	588	104	37	54	48	486	119.4	167.3	3.02	3.03	3.40
7	130	33.9	29.5	763.4	88	82	670	105	38	54	47	483	119	166.1	2.62	2.62	2.62
8	140	34.0	29.8	763.4	88	82	748	106	39	55	47	480	118.7	160.9	2.37	2.37	2.37

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.03	3.18	7.561133	0.000916	1035.76	1156.69	0.061160	0.0150	0.217	0.997140	0.996639	1.000502
2	30	30.03	9.53	17.09648	0.001213	458.08	1157.67	0.061186	0.0198	0.287	0.999097	0.998939	1.000158
3	50	49.98	15.86	22.48948	0.001534	348.23	1163.53	0.061341	0.0250	0.362	1.000406	1.000477	0.999929
4	71	71.22	22.60	25.44714	0.001932	307.76	1166.47	0.061418	0.0315	0.456	0.997335	0.996868	1.000468
5	91	91.32	28.98	27.143	0.002322	288.53	1167.44	0.061444	0.0378	0.548	0.997009	0.996486	1.000525
6	111	111.56	35.40	29.22008	0.002635	268.02	1167.44	0.061444	0.0429	0.622	0.995709	0.994958	1.000755
7	130	130.86	41.52	28.47031	0.003173	275.08	1163.53	0.061341	0.0517	0.750	0.994411	0.993433	1.000984
8	140	140.98	44.73	27.73632	0.003509	282.36	1160.60	0.061263	0.0573	0.830	0.994088	0.993053	1.001042

ตารางที่ ง-7 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	31.4	28.5	763.9	88	84	238	101	36	52	48	513	160.2	251	7.14	7.14	7.14
2	30	31.6	28.1	763.9	88	85	296	102	36	51	48	515	163	254	5.46	5.45	5.46
3	50	31.9	28.1	763.8	88	84	360	104	36	51	48	513	165.6	254.1	4.35	4.35	4.35
4	70	32.2	28.2	763.8	88	83	449	105	36	51	48	510	166	254	3.54	3.53	3.54
5	90	32.3	28.4	763.8	88	83	546	106	36	51	47	507	166.1	253	2.90	2.91	2.90
6	110	32.9	28.5	763.7	88	81	656	107	37	52	47	504	165.7	251.6	2.44	2.44	2.44
7	130	33.7	28.9	763.7	88	81	735	109	37	52	47	500	165.1	248.6	2.15	2.15	2.15
8	136	33.7	29.2	763.7	88	80	779	110	38	52	46	497	164.7	248	2.03	2.03	2.03

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	9.96	3.65	6.9	0.001154	1137.75	1566.37	0.071171	0.0162	0.235	1.003231	1.003797	0.999437
2	30	29.91	10.96	15.8	0.001511	496.19	1593.75	0.071791	0.0210	0.305	1.002573	1.003023	0.999551
3	50	49.91	18.29	21.0	0.001897	373.38	1619.17	0.072361	0.0262	0.380	1.001456	1.001710	0.999746
4	70	69.96	25.64	23.9	0.002336	327.98	1623.08	0.072448	0.0322	0.467	1.000472	1.000554	0.999917
5	90	89.98	32.98	25.2	0.002847	310.72	1624.06	0.072470	0.0393	0.569	1.000144	1.000169	0.999975
6	110	110.25	40.41	25.9	0.003394	302.39	1620.14	0.072383	0.0469	0.680	0.998053	0.997712	1.000342
7	130	130.70	47.90	27.0	0.003862	290.25	1614.28	0.072252	0.0535	0.775	0.995451	0.994655	1.000800
8	136	136.73	50.11	26.7	0.004091	293.85	1610.37	0.072164	0.0567	0.822	0.995451	0.994655	1.000800

ตารางที่ ง-8 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	29.8	26.8	764.1	87	85	284	103	34	49	45	537	178.6	268.4	5.76	5.76	5.79
2	30	30.2	27.1	764.1	87	82	357	105	34	50	46	532	183.1	274	4.45	4.45	4.45
3	50	30.7	27.1	764.1	88	82	448	107	34	49	47	529	187.5	278.3	3.51	3.51	3.51
4	70	31.2	27.2	764.1	88	82	549	109	35	50	47	525	188.9	279.1	2.85	2.85	2.86
5	90	31.5	27.5	764.1	88	82	681	110	35	50	47	522	189.4	279.1	2.31	2.31	2.31
6	110	32.1	27.8	764	88	80	793	113	36	52	46	517	188.7	277.7	1.97	1.97	1.97
7	120	32.8	28.4	764	88	81	834	114	37	52	46	516	188.8	276.7	1.85	1.85	1.85

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	9.90	4.15	6.4	0.001420	1233.09	1746.28	0.075148	0.0189	0.274	1.008794	1.010332	0.998477
2	30	29.74	12.46	14.7	0.001844	532.83	1790.27	0.076088	0.0242	0.351	1.007463	1.008769	0.998705
3	50	49.66	20.80	19.3	0.002341	405.20	1833.30	0.076997	0.0304	0.441	1.005806	1.006822	0.998991
4	70	69.66	29.18	22.0	0.002885	355.94	1846.98	0.077284	0.0373	0.541	1.004153	1.004880	0.999277
5	90	89.67	37.56	22.9	0.003567	341.90	1851.87	0.077386	0.0461	0.668	1.003164	1.003718	0.999448
6	110	109.86	46.02	23.9	0.004191	327.89	1845.03	0.077243	0.0543	0.786	1.001062	1.001247	0.999814
7	120	120.17	50.34	24.5	0.004474	319.94	1846.01	0.077264	0.0579	0.839	0.998771	0.998556	1.000215

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-9 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ภาวะสูงสุด

Run Number	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
			T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
						out	in											
1	1000	135	28.5	26	764	86	80	460	89	32	54	36	173	13.1	18	7.65	7.65	7.65
2	1250	137	29.3	26.4	764	88	81	493	91	32	53	36	213	16	25.4	6.20	6.20	6.20
3	1500	140	29.6	26.7	764	88	83	526	94	32	51	37	263	24.4	39.2	5.11	5.11	5.11
4	1750	143	30	27.2	764	88	82	558	95	33	52	38	317	37.8	63.2	4.31	4.31	4.31
5	2000	149	30.9	27.4	764	88	81	646	98	34	50	38	367	48.9	87.7	3.48	3.48	3.48
6	2250	155	32	28	764	88	81	718	100	35	50	38	409	68.8	116.7	2.88	2.88	2.88
7	2500	150	32.3	28.4	764	88	82	727	101	35	52	40	44	82.8	125.3	2.66	2.66	2.66
8	2750	144	32.8	29.3	764	88	82	735	102	36	51	41	462	97.4	138.6	2.5	2.5	2.5
9	3030	140	33.2	29.3	764	88	82	768	104	37	52	42	483	115.7	163.4	2.25	2.25	2.25
10	3250	138	33.4	29.4	764	88	82	781	105	37	52	42	491	133.3	193	2.09	2.09	2.09
11	3500	135	34.2	29.8	764	88	81	795	108	37	52	43	497	161.5	250	1.93	1.93	1.93
12	3750	129	34.4	30.1	764	88	81	844	110	38	52	43	508	172.5	269.2	1.78	1.78	1.78
13	4000	120	34.8	30.4	764	88	81	845	113	39	52	44	516	184.1	273.7	1.76	1.76	1.76

ตารางที่ ง-9(ต่อ) แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ภาวะสูงสุด

Run Number	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
												k	α	β
1	1000	135	133.07	13.94	28.4	0.001067	275.74	128.09	0.020352	0.0524	0.760	1.012346	1.014506	0.997870
2	1250	137	135.46	17.73	29.2	0.001320	268.09	156.44	0.022492	0.0587	0.851	1.009668	1.011360	0.998327
3	1500	140	138.59	21.77	29.5	0.001604	265.20	238.57	0.027776	0.0577	0.837	1.008667	1.010184	0.998499
4	1750	143	141.78	25.98	29.7	0.001904	263.80	369.59	0.034572	0.0551	0.798	1.007336	1.008620	0.998727
5	2000	149	148.24	31.05	28.6	0.002365	274.22	478.12	0.039321	0.0601	0.872	1.004355	1.005117	0.999242
6	2250	155	154.87	36.49	27.7	0.002868	282.96	672.70	0.046641	0.0615	0.891	1.000734	1.000863	0.999872
7	2500	150	150.02	39.28	27.5	0.003108	284.87	809.58	0.051167	0.0607	0.880	0.999882	0.999862	1.000021
8	2750	144	144.27	41.55	27.3	0.003312	286.95	952.34	0.055495	0.0597	0.865	0.998379	0.998095	1.000284
9	3030	140	140.48	44.58	26.3	0.003685	297.57	1131.27	0.060484	0.0609	0.883	0.997075	0.996564	1.000514
10	3250	138	138.58	47.16	25.8	0.003969	302.96	1303.35	0.064922	0.0611	0.886	0.996425	0.995799	1.000628
11	3500	135	135.96	49.83	25.2	0.004309	311.28	1579.08	0.071460	0.0603	0.874	0.993961	0.992905	1.001064
12	3750	129	130.02	51.06	23.8	0.004675	329.62	1686.63	0.073853	0.0633	0.917	0.993315	0.992145	1.001179
13	4000	120	121.14	50.74	23.3	0.004734	335.90	1800.05	0.076296	0.0621	0.899	0.992025	0.990629	1.001409

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-10 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	32.3	29.8	762.5	88	87	109	87	37	58	43	175	13.2	18.2	32.86	32.85	32.8
2	30	32.0	29.2	762.4	87	85	144	88	37	59	43	175	13.2	18.2	23.28	23.29	23.3
3	50	31.8	29.1	762.4	87	86	184	88	36	57	42	174	13.2	18	17.89	17.9	17.94
4	71	31.8	29.3	762.4	87	83	236	89	36	59	43	173	13.1	17.8	13.93	13.94	13.93
5	91	31.8	29.4	762.4	87	83	287	89	36	59	43	173	12.9	17.4	11.38	11.4	11.41
6	111	31.9	29.1	762.3	88	82	347	90	36	59	43	172	12.8	17.2	9.38	9.37	9.38
7	130	31.9	29.2	762.3	87	81	430	91	36	60	43	171	12.4	16.8	7.79	7.77	7.78
8	132	32.2	29.4	762.2	87	82	448	91	37	59	42	170	12.4	16.8	7.61	7.62	7.63

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.02	1.05	9.1	0.000252	865.15	129.06	0.020430	0.0123	0.179	0.998442	0.998169	1.000273
2	30	30.02	3.14	19.3	0.000355	406.65	129.06	0.020430	0.0174	0.252	0.999292	0.999169	1.000124
3	50	50.00	5.24	24.7	0.000462	317.32	129.06	0.020430	0.0226	0.327	0.999948	0.999939	1.000009
4	71	71.00	7.44	27.3	0.000593	287.24	128.09	0.020352	0.0292	0.422	0.999948	0.999939	1.000009
5	91	91.01	9.53	28.6	0.000725	274.00	126.13	0.020196	0.0359	0.521	0.999948	0.999939	1.000009
6	111	111.07	11.63	28.7	0.000882	273.00	125.15	0.020118	0.0438	0.635	0.999489	0.999399	1.000090
7	130	130.08	13.62	27.9	0.001063	280.94	121.24	0.019801	0.0537	0.778	0.999489	0.999399	1.000090
8	132	132.25	13.85	27.7	0.001087	282.43	121.24	0.019801	0.0549	0.795	0.998376	0.998092	1.000285

ตารางที่ ง-11 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	32.1	29.3	762.2	89	88	133	90	36	56	43	270	27.8	42.8	22.43	22.43	22.46
2	30	31.8	29	762.1	87	85	167	91	36	56	44	269	27.8	42.8	15.85	15.87	15.88
3	50	31.6	28.7	762.1	88	85	213	91	36	54	43	268	27.7	42.6	12.12	12.12	12.15
4	70	31.6	28.5	762	87	84	265	92	36	56	43	266	27.6	42.4	9.72	9.72	9.74
5	90	31.6	28.4	762	88	83	318	93	36	56	44	264	27.6	42	7.83	7.83	7.85
6	110	31.8	28.6	762	88	84	386	94	36	57	43	262	27.6	41.6	6.53	6.53	6.54
7	130	31.8	28.8	761.9	88	83	476	96	36	55	42	258	27.2	41	5.48	5.47	5.47
8	138	32.6	29	761.9	88	82	520	96	37	56	42	257	26.9	40.8	5.06	5.05	5.05

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.02	1.57	9.3	0.000369	844.03	271.82	0.029648	0.0124	0.180	0.998703	0.998476	1.000227
2	30	30.02	4.71	19.7	0.000521	397.96	271.82	0.029648	0.0176	0.255	0.999554	0.999476	1.000078
3	50	49.99	7.85	25.1	0.000681	312.37	270.84	0.029595	0.0230	0.334	1.000210	1.000247	0.999963
4	70	69.99	10.99	28.1	0.000850	278.24	269.86	0.029541	0.0288	0.417	1.000079	1.000093	0.999986
5	90	89.99	14.14	29.2	0.001055	268.60	269.86	0.029541	0.0357	0.517	1.000079	1.000093	0.999986
6	110	110.07	17.29	29.7	0.001266	263.58	269.86	0.029541	0.0429	0.621	0.999423	0.999322	1.000101
7	130	130.11	20.44	29.4	0.001511	266.21	265.95	0.029326	0.0515	0.747	0.999292	0.999168	1.000124
8	138	138.54	21.76	28.8	0.001641	271.50	263.02	0.029164	0.0563	0.816	0.996677	0.996096	1.000584

ตารางที่ ง-12 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	32	29.4	761.8	88	85	153	92	36	52	42	386	52.9	91.2	15.64	15.64	15.65
2	30	31.8	28.9	761.8	88	85	199	93	36	53	44	380	53	91	11.11	11.11	11.12
3	50	31.9	28.8	761.8	87	85	260	95	36	54	44	377	52.9	90.4	8.51	8.52	8.52
4	70	31.8	28.8	761.8	88	85	330	95	36	54	44	373	52.9	90	6.72	6.72	6.73
5	90	32.1	29	761.8	88	85	376	96	36	54	44	371	52.8	89.2	5.61	5.62	5.63
6	111	32.2	29	761.8	88	83	449	97	36	55	44	365	52.6	88.2	4.74	4.74	4.74
7	130	32.4	29.2	761.8	88	83	535	99	37	56	45	361	51.8	87.2	4.02	4.03	4.02
8	145	32.9	29.2	761.8	88	82	638	99	37	57	45	358	51.1	86.4	3.44	3.44	3.46

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.02	2.10	8.6	0.000529	908.02	517.23	0.040898	0.0129	0.188	0.998506	0.998245	1.000262
2	30	30.03	6.29	18.4	0.000744	426.10	518.21	0.040937	0.0182	0.264	0.999161	0.999014	1.000147
3	50	50.07	10.49	23.5	0.000972	333.59	517.23	0.040898	0.0238	0.344	0.998833	0.998629	1.000204
4	70	70.07	14.68	25.9	0.001230	301.85	517.23	0.040898	0.0301	0.436	0.999161	0.999014	1.000147
5	90	90.19	18.89	27.9	0.001474	280.82	516.26	0.040859	0.0361	0.523	0.998179	0.997860	1.000319
6	111	111.28	23.31	29.0	0.001748	269.94	514.30	0.040782	0.0429	0.621	0.997852	0.997476	1.000377
7	130	130.43	27.32	28.8	0.002060	271.52	506.48	0.040471	0.0509	0.738	0.997199	0.996709	1.000492
8	145	145.76	30.53	27.6	0.002409	284.08	499.63	0.040196	0.0599	0.869	0.995570	0.994794	1.000779

ตารางที่ ง-13 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	32.6	30.2	763.1	88	85	178	94	37	54	45	459	88.4	131.9	11.37	11.37	11.36
2	30	32	29.6	763.1	88	84	229	96	37	54	46	453	88.4	132.1	8.29	8.29	8.29
3	50	32.2	29.8	763.1	87	84	288	97	37	53	46	449	88.4	132.1	6.53	6.54	6.54
4	70	32.7	29.5	763	87	84	357	98	37	54	46	446	88.4	131.5	5.22	5.22	5.22
5	91	32.8	29.8	763	88	84	445	99	37	55	46	444	88.4	131.6	4.24	4.24	4.24
6	111	33	29.8	762.9	88	84	516	100	37	55	47	442	87.6	130.4	3.59	3.58	3.58
7	130	33.3	30	762.8	88	82	602	101	38	56	47	439	86.4	128.6	3.11	3.11	3.11
8	147	33.4	30.2	762.8	88	81	711	102	38	56	46	435	84.8	126.4	2.66	2.66	2.66

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.02	2.62	7.8	0.000728	999.68	864.34	0.052869	0.0138	0.200	0.998247	0.997940	1.000307
2	30	29.99	7.85	17.1	0.000997	457.06	864.34	0.052869	0.0189	0.273	1.000210	1.000247	0.999963
3	50	50.03	13.10	22.5	0.001265	347.75	864.34	0.052869	0.0239	0.347	0.999555	0.999477	1.000078
4	70	70.18	18.37	25.2	0.001587	310.95	864.34	0.052869	0.0300	0.435	0.997790	0.997403	1.000388
5	91	91.27	23.89	26.6	0.001954	294.46	864.34	0.052869	0.0370	0.536	0.997464	0.997020	1.000445
6	111	111.43	29.17	27.4	0.002314	285.61	856.52	0.052629	0.0440	0.637	0.996682	0.996101	1.000583
7	130	130.68	34.21	27.9	0.002670	280.92	844.78	0.052267	0.0511	0.740	0.995575	0.994801	1.000778
8	147	147.82	38.70	27.0	0.003122	290.45	829.14	0.051781	0.0603	0.874	0.995251	0.994419	1.000836

ตารางที่ ง-14 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 3,030 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	33.3	30.7	763.8	88	84	211	98	37	52	50	491	117.3	165	8.68	8.66	8.69
2	30	33	30.2	763.8	88	84	270	99	37	52	53	490	118	166.4	6.46	6.45	6.44
3	50	32.8	29.8	763.7	88	84	337	100	37	53	55	488	118	166.4	5.06	5.06	5.07
4	70	32.8	29.8	763.6	88	83	411	101	37	54	56	487	118.1	166.4	4.06	4.06	4.07
5	91	33.2	30.2	763.6	88	84	513	102	37	52	56	483	118.1	166.4	3.31	3.31	3.32
6	111	33.9	30.2	763.5	88	82	597	103	38	53	56	478	118	165.8	2.84	2.84	2.84
7	131	34.2	30.4	763.4	88	82	690	105	38	53	55	474	117.5	163.6	2.44	2.44	2.44
8	139	34.4	30.5	763.3	88	81	758	106	39	54	55	473	116.9	162.4	2.24	2.24	2.24

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.04	3.18	7.2	0.000956	1080.28	1146.91	0.060901	0.0157	0.227	0.996881	0.996335	1.000548
2	30	30.08	9.54	16.2	0.001284	484.49	1153.75	0.061082	0.0210	0.305	0.997857	0.997482	1.000376
3	50	50.10	15.90	21.1	0.001635	370.34	1153.75	0.061082	0.0268	0.388	0.998379	0.998095	1.000284
4	70	70.14	22.26	23.8	0.002038	329.62	1154.73	0.061108	0.0333	0.483	0.998248	0.997942	1.000307
5	91	91.33	28.98	25.2	0.002502	310.88	1154.73	0.061108	0.0410	0.593	0.996945	0.996410	1.000537
6	111	111.72	35.45	26.3	0.002927	297.21	1153.75	0.061082	0.0479	0.694	0.994542	0.993587	1.000961
7	131	132.02	41.89	26.7	0.003410	293.06	1148.87	0.060953	0.0559	0.811	0.993441	0.992293	1.001157
8	139	140.21	44.49	26.0	0.003717	300.82	1143.00	0.060797	0.0611	0.886	0.992665	0.991381	1.001295

ตารางที่ ง-15 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	32.4	29.4	763.8	88	84	235	100	37	52	46	511	161.3	252	6.81	6.8	6.81
2	30	32.4	29.8	763.8	88	84	296	103	37	52	48	507	162.9	254.2	5.2	5.2	5.2
3	50	32.6	29.4	763.8	88	84	367	104	37	21	48	505	164.3	254.6	4.1	4.1	4.1
4	71	32.9	29.7	763.8	88	84	456	105	37	52	48	503	164.3	253.8	3.33	3.33	3.33
5	91	33.2	29.7	763.8	88	82	559	106	38	52	48	501	164.3	252.6	2.72	2.72	2.72
6	110	33.6	29.8	763.8	88	82	662	107	38	53	48	499	163.9	251.9	2.3	2.3	2.3
7	130	34.4	30.2	763.8	88	82	740	109	39	52	47	495	162.7	248.3	2.04	2.04	2.04
8	135	35	30.5	763.7	88	81	785	110	39	52	46	494	162.5	247.5	1.93	1.93	1.93

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.00	3.67	6.6	0.001215	1192.76	1577.12	0.071415	0.0170	0.246	0.999817	0.999785	1.000032
2	30	30.01	11.00	15.0	0.001590	520.43	1592.77	0.071769	0.0222	0.321	0.999817	0.999785	1.000032
3	50	50.05	18.34	19.8	0.002018	395.99	1606.46	0.072076	0.0280	0.406	0.999163	0.999016	1.000147
4	71	71.15	26.08	22.8	0.002487	343.29	1606.46	0.072076	0.0345	0.500	0.998183	0.997865	1.000319
5	91	91.30	33.46	23.9	0.003047	327.85	1606.46	0.072076	0.0423	0.613	0.997206	0.996717	1.000491
6	110	110.53	40.51	24.4	0.003609	320.68	1602.55	0.071989	0.0501	0.727	0.995906	0.995189	1.000720
7	130	131.03	48.02	25.6	0.004079	305.78	1590.81	0.071725	0.0569	0.824	0.993315	0.992145	1.001179
8	135	136.40	49.99	25.2	0.004321	311.13	1588.86	0.071681	0.0603	0.874	0.991251	0.989720	1.001547

ตารางที่ ง -16 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference Diesel ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	30.8	29.2	763.8	88	84	273	104	36	50	45	539	179.9	272.1	5.59	5.59	5.58
2	30	32.1	29.6	763.8	88	83	356	107	37	50	50	527	184.1	275.9	4.29	4.29	4.29
3	50	32.6	29.8	763.8	88	83	445	108	36	51	51	524	188.5	278.9	3.39	3.38	3.38
4	70	33	30.2	763.8	88	83	552	109	37	51	51	521	189.3	280.1	2.7	2.7	2.7
5	90	34.3	30.3	763.8	88	81	684	111	38	53	50	516	189.3	279.9	2.21	2.22	2.22
6	110	34.6	30.6	763.8	88	81	781	112	39	53	49	514	188.5	277.7	1.88	1.88	1.88
7	118	35	31.2	763.8	88	81	825	113	39	53	49	511	188.3	276.7	1.78	1.78	1.78

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	9.94	4.16	6.2	0.001472	1272.74	1758.99	0.075421	0.0195	0.283	1.005080	1.005969	0.999116
2	30	29.97	12.55	14.2	0.001925	552.07	1800.05	0.076296	0.0252	0.366	1.000799	1.000939	0.999860
3	50	50.05	20.96	18.7	0.002445	419.89	1843.07	0.077202	0.0317	0.459	0.999163	0.999016	1.000147
4	70	70.18	29.40	20.9	0.003068	375.74	1850.90	0.077366	0.0397	0.575	0.997857	0.997482	1.000376
5	90	90.68	37.98	22.0	0.003753	355.70	1850.90	0.077366	0.0485	0.703	0.993638	0.992525	1.001122
6	110	110.96	46.48	22.9	0.004429	343.08	1843.07	0.077202	0.0574	0.831	0.992669	0.991387	1.001294
7	118	119.21	49.93	23.2	0.004684	337.71	1841.12	0.077161	0.0607	0.880	0.991381	0.989873	1.001524

ตารางที่ ง -17 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ภาวะสูงสุด

Run Number	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
			T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
						out	in											
1	1000	137	30.4	27.4	762	92	82	462	89	35	56	42	12	174	17	7.07	7.08	7.07
2	1250	141	30.8	27.5	762	87	82	499	91	35	57	42	14.2	215	24	5.71	5.73	5.73
3	1500	146	31.1	27.8	762	88	83	537	95	36	56	42	23	261	37.4	4.73	4.73	4.74
4	1750	146	31.8	28.1	762	88	82	560	97	36	55	43	35.5	313	58.8	4.03	4.03	4.03
5	2000	150	32.4	28.4	762	88	82	649	99	36	54	44	46.7	360	84.5	3.26	3.26	3.27
6	2250	156	32.7	28.7	762	88	82	716	102	37	54	45	66.1	404	113.1	2.70	2.70	2.70
7	2500	151	33.1	29.1	762	88	82	728	102	37	54	47	81.5	435	122.4	2.49	2.49	2.49
8	2750	145	33.8	29.4	762	88	82	739	104	38	54	49	94.2	452	134.8	2.35	2.35	2.36
9	3030	140	33.8	29.6	762	88	82	772	104	38	53	50	111.4	470	158.2	2.13	2.13	2.13
10	3250	138	34.3	30	762	88	81	789	107	39	53	52	131.3	484	189.2	1.98	1.98	1.98
11	3500	136	34.5	30.4	762	88	80	802	110	39	54	54	158.5	495	245.5	1.83	1.83	1.83
12	3750	130	34.8	30.4	762	88	80	850	112	40	54	55	167.5	503	261.5	1.69	1.69	1.69
13	4000	121	35.4	30.8	762	88	81	850	113	40	54	56	178.5	511	265.9	1.67	1.66	1.67

ตารางที่ ง -17(ต่อ) แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ภาวะสูงสุด

Run Number	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
												k	α	β
1	1000	137	136.33	14.28	27.0	0.001177	296.79	117.33	0.019479	0.0604	0.876	1.004164	1.004893	0.999275
2	1250	141	140.53	18.40	28.1	0.001457	285.05	138.84	0.021189	0.0687	0.996	1.002843	1.003340	0.999504
3	1500	146	145.68	22.88	28.9	0.001763	277.34	224.88	0.026967	0.0654	0.947	1.001854	1.002178	0.999676
4	1750	146	146.08	26.77	28.7	0.002075	279.09	347.10	0.033503	0.0619	0.898	0.999554	0.999476	1.000078
5	2000	150	150.43	31.51	27.3	0.002568	293.44	456.61	0.038427	0.0668	0.969	0.997592	0.997170	1.000423
6	2250	156	156.62	36.90	26.4	0.003107	303.08	646.30	0.045717	0.0680	0.985	0.996613	0.996020	1.000595
7	2500	151	151.81	39.74	26.2	0.003373	305.50	796.87	0.050764	0.0664	0.963	0.995442	0.994644	1.000802
8	2750	145	146.17	42.09	26.2	0.00358	305.90	921.05	0.054576	0.0655	0.950	0.993172	0.991977	1.001205
9	3030	140	141.13	44.78	25.2	0.00395	317.69	1089.22	0.059350	0.0666	0.965	0.993172	0.991977	1.001205
10	3250	138	139.36	47.43	24.8	0.00426	323.16	1283.80	0.064433	0.0661	0.958	0.991687	0.990232	1.001469
11	3500	136	137.43	50.37	24.3	0.00461	329.42	1549.75	0.070793	0.0651	0.944	0.991172	0.989627	1.001561
12	3750	130	131.51	51.65	23.0	0.00500	348.23	1637.74	0.072775	0.0686	0.995	0.990206	0.988493	1.001734
13	4000	121	122.69	51.39	22.5	0.00508	355.54	1745.30	0.075127	0.0676	0.979	0.988281	0.986230	1.002079

ตารางที่ ง-18 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	11	31.9	29.5	764.1	88	87	106	87	37	57	45	175	11	18.9	31.95	31.9	31.84
2	31	32	29.2	764.1	86	85	140	88	37	56	45	173	11	18.7	22.23	22.24	22.29
3	50	32	29.1	764.1	87	84	174	88	37	54	44	172	11	18.2	17.22	17.22	17.19
4	70	31.9	29	764.1	87	85	218	89	37	56	44	172	11	18.2	13.74	13.75	13.76
5	90	31.8	28.9	764.1	88	84	262	90	37	57	45	171	11	18	11.25	11.25	11.24
6	111	32	29	764.1	81	81	326	90	37	58	45	171	11	17.8	9.17	9.17	9.17
7	130	32.2	29.2	764.1	87	82	407	91	37	59	45	170	11	17.8	7.63	7.63	7.64
8	137	32.2	29.4	764.1	87	79	443	92	37	59	45	170	11	17.6	7.11	7.11	7.12

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	11	10.98	1.15	9.8	0.000262	819.37	107.55	0.018650	0.0140	0.203	1.001849	1.002173	0.999677
2	31	30.94	3.24	19.2	0.000375	416.71	107.55	0.018650	0.0201	0.291	1.001521	1.001787	0.999734
3	50	49.91	5.23	24.0	0.000485	334.08	107.55	0.018650	0.0260	0.377	1.001521	1.001787	0.999734
4	70	69.85	7.31	26.8	0.000607	298.69	107.55	0.018650	0.0325	0.472	1.001849	1.002173	0.999677
5	90	89.77	9.40	28.2	0.000742	284.04	107.55	0.018650	0.0398	0.576	1.002177	1.002559	0.999620
6	111	110.80	11.60	28.3	0.000910	282.43	107.55	0.018650	0.0488	0.707	1.001521	1.001787	0.999734
7	130	129.87	13.60	27.6	0.001094	289.66	107.55	0.018650	0.0587	0.850	1.000865	1.001016	0.999849
8	137	136.86	14.33	27.1	0.001174	294.95	107.55	0.018650	0.0630	0.913	1.000865	1.001016	0.999849

ตารางที่ ง-19 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	11	32.5	29.2	764.1	88	86	143	91	37	56	45	91	37	56	21.48	21.48	21.52
2	30	32.2	29.2	764.2	87	86	167	91	37	55	45	91	37	55	15.3	15.31	15.32
3	50	32.2	29.2	764.2	87	86	207	92	37	54	45	92	37	54	11.84	11.85	11.86
4	70	32	29.2	764.2	87	84	260	93	37	54	46	93	37	54	9.33	9.33	9.34
5	90	32.1	29.4	764.2	88	84	320	94	37	55	46	94	37	55	7.65	7.65	7.64
6	110	32.3	29.6	764.2	87	82	377	95	37	56	46	95	37	56	6.41	6.42	6.42
7	130	32.6	29.4	764.2	88	82	462	96	37	56	46	96	37	56	5.35	5.34	5.34
8	140	32.4	29.6	764.2	87	81	526	97	37	56	46	97	37	56	4.81	4.81	4.8

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	11	11.00	1.73	9.9	0.000389	810.37	291.37	0.030696	0.0127	0.184	0.999882	0.999862	1.000021
2	30	29.96	4.71	19.2	0.000546	417.22	291.37	0.030696	0.0178	0.258	1.000996	1.001170	0.999826
3	50	49.94	7.84	24.7	0.000705	323.43	291.37	0.030696	0.0230	0.333	1.000996	1.001170	0.999826
4	70	69.86	10.97	27.3	0.000894	293.35	290.39	0.030645	0.0292	0.423	1.001652	1.001941	0.999712
5	90	89.86	14.12	28.7	0.001092	278.47	285.51	0.030385	0.0359	0.521	1.001324	1.001555	0.999769
6	110	109.91	17.27	29.5	0.001302	271.48	285.51	0.030385	0.0428	0.621	1.000668	1.000785	0.999883
7	130	130.05	20.43	29.0	0.001565	275.81	283.55	0.030281	0.0517	0.749	0.999686	0.999631	1.000055
8	140	139.94	21.98	28.1	0.001739	284.74	279.64	0.030072	0.0578	0.838	1.000340	1.000400	0.999940

ตารางที่ ง-20 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	11	31.2	29.2	764.2	88	85	156	94	37	54	46	383	56	94.1	14.94	14.93	14.94
2	30	31.8	29.4	764.2	87	86	197	95	37	54	47	380	56	94.5	10.91	10.91	10.93
3	50	32	29.4	764.2	87	85	255	95	37	54	48	377	56	94.1	8.21	8.19	8.2
4	70	32.2	29.4	764.2	88	84	317	96	37	54	48	375	55	93.5	6.54	6.55	6.56
5	90	32.4	29.4	764.2	88	83	377	97	37	54	48	370	54.4	92.7	5.49	5.5	5.5
6	110	32.4	29.8	764.2	88	83	433	98	37	55	48	367	54.5	91.9	4.67	4.67	4.68
7	130	32.4	29.6	764.2	88	83	527	100	37	54	48	361	53	90.2	3.94	3.95	3.95
8	147	33	29.7	764.2	88	82	544	101	37	54	48	358	52	89	3.31	3.32	3.32

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	11	10.94	2.29	9.1	0.000557	875.24	547.54	0.042079	0.0132	0.192	1.004285	1.005034	0.999254
2	30	29.92	6.27	18.2	0.000764	438.95	547.54	0.042079	0.0182	0.263	1.002309	1.002713	0.999597
3	50	49.90	10.45	22.8	0.001018	350.58	547.54	0.042079	0.0242	0.351	1.001652	1.001941	0.999712
4	70	69.92	14.64	25.5	0.001275	313.46	537.77	0.041702	0.0306	0.443	1.000996	1.001170	0.999826
5	90	89.96	18.84	27.6	0.001520	290.49	531.90	0.041474	0.0367	0.531	1.000340	1.000400	0.999940
6	110	109.96	23.03	28.6	0.001788	279.55	532.88	0.041512	0.0431	0.624	1.000340	1.000400	0.999940
7	130	129.95	27.22	28.6	0.002118	280.09	518.21	0.040937	0.0517	0.750	1.000340	1.000400	0.999940
8	147	147.28	30.85	27.2	0.002525	294.65	508.43	0.040549	0.0623	0.902	0.998380	0.998096	1.000284

ตารางที่ ง-21 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	32.7	29.6	763.8	90	89	175	95	38	54	49	461	88.2	133.3	10.89	10.89	10.89
2	30	32.8	29.8	763.9	88	85	225	98	38	51	50	452	88.6	133.7	8.04	8.03	8.04
3	50	33.1	29.8	763.9	87	85	285	99	38	52	51	449	88.6	133.7	6.29	6.29	6.3
4	70	33.4	29.9	763.9	88	83	349	100	38	53	52	445	88.6	133.7	5.04	5.04	5.05
5	90	33.4	29.9	763.9	88	83	428	101	38	54	52	445	88.6	133.1	4.14	4.14	4.13
6	111	34	30.2	763.9	88	83	522	102	39	54	52	441	88.4	132.1	3.48	3.48	3.49
7	130	34.5	30.4	763.9	88	81	592	103	39	55	52	439	88.2	130.5	3.01	3.02	3.02
8	148	34.8	30.7	764	88	81	711	105	39	56	52	435	87.2	128.5	2.54	2.54	2.53

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.01	2.62	7.6	0.000769	1055.42	862.38	0.052809	0.0146	0.211	0.998836	0.998632	1.000204
2	30	30.05	7.87	16.8	0.001042	476.69	866.29	0.052929	0.0197	0.285	0.998640	0.998402	1.000238
3	50	50.14	13.13	21.9	0.001332	365.18	866.29	0.052929	0.0252	0.365	0.997662	0.997253	1.000410
4	70	70.27	18.40	24.6	0.001663	325.44	866.29	0.052929	0.0314	0.455	0.996686	0.996106	1.000582
5	90	90.35	23.65	25.9	0.002028	308.60	866.29	0.052929	0.0383	0.555	0.996686	0.996106	1.000582
6	111	111.69	29.24	26.9	0.002413	297.04	864.34	0.052869	0.0456	0.661	0.994739	0.993818	1.000926
7	130	131.06	34.31	27.3	0.002790	292.78	862.38	0.052809	0.0528	0.766	0.993122	0.991919	1.001213
8	148	149.35	39.10	26.2	0.003321	305.79	852.60	0.052509	0.0633	0.917	0.992285	0.990934	1.001363

ตารางที่ ง-22 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 3,030 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	32.2	29.2	763.3	88	85	209	100	38	38	55	491	117.3	117.3	8.17	8.15	8.15
2	30	33	29.4	763.3	88	84	267	102	38	38	56	488	118.3	118.3	6.16	6.15	6.15
3	50	33.4	29.6	763.4	88	84	331	103	38	38	57	485	118.3	118.3	4.86	4.86	4.86
4	71	33.4	29.8	763.4	88	83	408	103	38	38	56	482	118.9	118.9	3.9	3.9	3.91
5	91	33.8	30	763.4	88	83	498	105	38	38	56	480	118.9	118.9	3.22	3.22	3.22
6	110	34.2	30.2	763.4	88	83	584	106	39	39	56	478	118.9	118.9	2.75	2.75	2.75
7	130	34.8	30.4	763.5	88	82	681	107	39	39	56	473	118.3	118.3	2.37	2.37	2.37
8	139	35.3	30.6	763.5	88	81	760	108	39	39	56	472	118.9	118.9	2.15	2.15	2.15

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.00	3.17	6.9	0.001025	1162.82	1146.91	0.060901	0.0168	0.244	0.999817	0.999785	1.000032
2	30	30.10	9.55	15.6	0.001362	513.56	1156.69	0.061160	0.0223	0.323	0.997204	0.996715	1.000491
3	50	50.23	15.94	20.5	0.001727	390.06	1156.69	0.061160	0.0282	0.409	0.996033	0.995339	1.000697
4	71	71.33	22.63	23.4	0.002150	342.01	1162.55	0.061315	0.0351	0.508	0.996033	0.995339	1.000697
5	91	91.57	29.05	24.7	0.002610	323.40	1162.55	0.061315	0.0426	0.617	0.994735	0.993814	1.000927
6	110	110.85	35.17	25.6	0.003060	313.19	1162.55	0.061315	0.0499	0.723	0.993441	0.992293	1.001157
7	130	131.29	41.66	26.0	0.003557	307.40	1156.69	0.061160	0.0582	0.843	0.991635	0.990171	1.001478
8	139	140.65	44.63	25.3	0.003928	316.82	1162.55	0.061315	0.0641	0.928	0.990028	0.988283	1.001766

ตารางที่ ง-23 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	33	29.8	763	87	84	231	101	38	52	50	512	158.9	249.5	6.68	6.65	6.68
2	30	33	29.8	763	88	84	291	104	38	52	53	507	160.1	251.7	5.04	5.04	5.05
3	50	33.2	29.8	763.1	88	84	365	105	38	52	55	504	160.7	251.1	3.92	3.92	3.93
4	71	33.7	30	763.1	88	83	451	107	38	53	57	502	161.1	250.3	3.21	3.22	3.22
5	90	34	30	763.1	88	83	547	108	38	53	57	500	161.1	249.5	2.64	2.64	2.65
6	111	34.5	30.3	763.1	88	82	659	109	39	53	57	497	160.7	247.5	2.22	2.22	2.22
7	130	35	30.5	763.1	88	82	744	111	39	54	57	494	159.9	244.7	1.93	1.93	1.93
8	136	35.5	30.8	763.1	88	81	792	113	40	55	57	493	159.3	243.7	1.84	1.84	1.84

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.04	3.68	6.5	0.001257	1230.39	1553.66	0.070882	0.0177	0.257	0.996812	0.996254	1.000560
2	30	30.11	11.04	14.8	0.001663	542.41	1565.39	0.071149	0.0234	0.339	0.996812	0.996254	1.000560
3	50	50.22	18.41	19.1	0.002139	418.32	1571.26	0.071282	0.0300	0.435	0.996292	0.995643	1.000652
4	71	71.45	26.19	22.3	0.002613	359.20	1575.17	0.071371	0.0366	0.531	0.994669	0.993736	1.000939
5	90	90.67	33.23	23.2	0.003183	344.77	1575.17	0.071371	0.0446	0.646	0.993697	0.992594	1.001111
6	111	112.04	41.07	24.1	0.003796	332.76	1571.26	0.071282	0.0533	0.772	0.992082	0.990696	1.001399
7	130	131.47	48.19	24.5	0.004373	326.72	1563.43	0.071105	0.0615	0.891	0.990472	0.988805	1.001686
8	136	137.80	50.51	24.4	0.004595	327.49	1557.57	0.070971	0.0647	0.938	0.988868	0.986920	1.001974

ตารางที่ ง-24 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 1 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	33	29.2	762.9	87	83	278	104	38	53	55	532	176.2	265.9	5.36	5.39	5.37
2	29	33.6	29.6	762.9	88	84	345	106	38	52	57	526	179.3	269.1	4.11	4.12	4.12
3	49	33.8	29.8	762.9	88	82	431	108	38	52	59	523	182.8	272.9	3.25	3.26	3.26
4	70	34.3	30	762.9	87	82	541	109	39	52	59	520	183.7	273.5	2.63	2.63	2.64
5	91	34.6	30.7	762.9	88	82	663	111	39	53	60	515	183.7	272.7	2.15	2.15	2.15
6	110	35	31	762.9	88	80	785	113	40	52	59	510	182.9	270.7	1.81	1.81	1.81
7	119	35.8	31.2	762.8	88	80	838	114	40	53	59	510	182.3	269.1	1.69	1.69	1.69

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.04	4.21	6.0	0.001561	1336.36	1722.81	0.074641	0.0209	0.303	0.996682	0.996101	1.000583
2	29	29.18	12.22	13.3	0.002042	601.28	1753.12	0.075295	0.0271	0.393	0.994732	0.993810	1.000928
3	49	49.34	20.67	17.8	0.002582	449.78	1787.34	0.076026	0.0340	0.492	0.994084	0.993049	1.001043
4	70	70.63	29.58	20.6	0.003199	389.26	1796.14	0.076213	0.0420	0.608	0.992467	0.991149	1.001330
5	91	91.92	38.50	21.8	0.003922	366.68	1796.14	0.076213	0.0515	0.746	0.991500	0.990012	1.001503
6	110	111.28	46.61	22.2	0.004664	360.24	1788.32	0.076047	0.0613	0.889	0.990213	0.988500	1.001733
7	119	120.77	50.59	22.5	0.005009	356.47	1782.45	0.075922	0.0660	0.956	0.987519	0.985335	1.002217

ตารางที่ ง -25 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ภาระสูงสุด

Run Number	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
			T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
						out	in											
1	1000	136	32	28.2	763	88	81	467	93	36	58	45	170	13.2	18.2	7.15	7.15	7.15
2	1250	140	32.1	28.8	763	87	82	502	94	36	56	44	208	16	25.8	5.76	5.76	5.76
3	1500	142	32.4	28.8	763	88	81	531	97	37	52	45	258	24.4	40	4.78	4.78	4.78
4	1750	143	33.3	29.2	762	88	82	561	99	37	52	45	311	36.7	61.2	4.08	4.08	4.08
5	2000	148	33.3	29.4	762	88	82	654	102	38	54	47	357	49.4	87.8	3.30	3.30	3.30
6	2250	154	33.8	30	762	88	80	721	104	38	55	48	401	68.2	115.4	2.72	2.72	2.72
7	2500	149	35	30.2	762	88	81	725	105	39	55	50	432	84.1	126	2.50	2.50	2.50
8	2750	143	35.4	30.6	762	88	82	736	107	40	54	51	451	96.8	138.2	2.35	2.35	2.35
9	3030	139	35.9	31.4	762	88	81	773	107	40	55	53	470	113	162.3	2.12	2.12	2.12
10	3250	137	36.4	31.4	762	88	81	784	110	40	55	55	480	134.5	192.6	1.98	1.98	1.98
11	3500	135	36.6	31.6	762	88	80	795	114	41	54	56	494	154.2	247.5	1.82	1.82	1.82
12	3750	129	37.6	32	762	88	81	851	115	42	55	57	502	170.2	265.5	1.69	1.69	1.69
13	4000	119	37.6	32.1	762	88	80	844	116	42	55	58	510	180.4	270.6	1.67	1.67	1.66

ตารางที่ ง-25(ต่อ) แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ภาวะสูงสุด

Run Number	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
												k	α	β
1	1000	136	136.05	14.25	27.1	0.001170	295.54	129.06	0.020430	0.0572	0.830	0.999686	0.999631	1.000055
2	1250	140	140.11	18.34	28.1	0.001452	285.08	156.44	0.022492	0.0646	0.936	0.999358	0.999246	1.000112
3	1500	142	142.27	22.35	28.4	0.001752	282.19	238.57	0.027776	0.0631	0.914	0.998377	0.998093	1.000285
4	1750	143	143.88	26.37	28.5	0.002060	281.22	358.84	0.034065	0.0605	0.876	0.994792	0.993881	1.000917
5	2000	148	148.93	31.19	27.2	0.002547	293.95	483.01	0.039522	0.0644	0.934	0.994662	0.993728	1.000940
6	2250	154	155.25	36.58	26.3	0.003095	304.57	666.83	0.046437	0.0666	0.966	0.993172	0.991977	1.001205
7	2500	149	150.90	39.50	26.0	0.003380	308.03	822.29	0.051567	0.0655	0.950	0.989304	0.987432	1.001896
8	2750	143	145.04	41.77	25.8	0.00360	310.33	946.47	0.055324	0.0651	0.943	0.988022	0.985925	1.002126
9	3030	139	141.25	44.82	24.9	0.00400	321.10	1104.87	0.059774	0.0669	0.969	0.986423	0.984047	1.002414
10	3250	137	139.49	47.47	24.6	0.00429	325.12	1315.08	0.065213	0.0657	0.953	0.984830	0.982175	1.002703
11	3500	135	137.55	50.42	24.0	0.00467	333.26	1507.70	0.069826	0.0668	0.969	0.984194	0.981428	1.002818
12	3750	129	131.94	51.81	22.8	0.00504	350.35	1664.14	0.073359	0.0687	0.996	0.981027	0.977707	1.003396
13	4000	119	121.71	50.98	22.2	0.00511	361.04	1763.88	0.075525	0.0677	0.981	0.981027	0.977707	1.003396

ตารางที่ ง-26 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	11	31.1	28.2	763	85	85	108	86	37	56	46	178	11.8	18.4	30.99	31.05	31
2	30	31.2	28.4	763.1	89	88	143	88	36	56	46	174	11.8	18.2	22.55	22.54	22.55
3	50	31.1	28.2	763.1	88	86	183	89	36	57	46	172	11.8	18.2	17.17	17.19	17.22
4	70	31	28.2	763.2	87	85	223	89	36	57	45	172	11.8	18.2	13.71	13.74	13.73
5	90	30.9	28.2	763.2	87	82	278	90	36	57	45	172	11.8	18	11.15	11.17	11.16
6	110	31.1	28.2	763.3	88	81	338	90	36	58	45	171	11.7	17.8	9.26	9.26	9.26
7	130	31.5	28.3	763.3	87	80	425	91	37	58	45	170	11.7	17.6	7.64	7.64	7.64
8	136	31	28.3	763.3	87	81	459	92	37	58	46	170	11.7	17.6	7.22	7.23	7.24

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	11	10.96	1.15	9.5	0.000269	842.89	115.38	0.019316	0.0139	0.202	1.003037	1.003569	0.999470
2	30	29.90	3.13	18.8	0.000370	425.10	115.38	0.019316	0.0191	0.277	1.002839	1.003336	0.999505
3	50	49.81	5.22	23.9	0.000485	334.50	115.38	0.019316	0.0251	0.364	1.003169	1.003723	0.999448
4	70	69.70	7.30	26.7	0.000607	299.29	115.38	0.019316	0.0314	0.455	1.003630	1.004265	0.999367
5	90	89.58	9.38	28.0	0.000746	286.33	115.38	0.019316	0.0386	0.560	1.003960	1.004653	0.999310
6	110	109.56	11.47	28.3	0.000900	282.32	114.40	0.019234	0.0468	0.678	1.003432	1.004032	0.999402
7	130	129.68	13.58	27.6	0.001092	289.47	114.40	0.019234	0.0568	0.823	1.002114	1.002484	0.999631
8	136	135.40	14.18	27.4	0.001152	292.47	114.40	0.019234	0.0599	0.868	1.003761	1.004420	0.999345

ตารางที่ ง-27 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	31.4	29	763.4	88	86	130	91	37	57	46	271	26.8	42.6	21.6	21.65	21.61
2	30	31.4	28.6	763.5	88	85	168	92	36	57	47	270	27	43	15.31	15.31	15.26
3	50	31.5	28.5	763.5	87	86	209	92	36	57	47	269	27	43	11.71	11.75	11.78
4	70	31.4	28.5	763.5	88	84	262	94	37	55	47	267	27	43	9.36	9.36	9.36
5	91	32	28.7	763.6	88	83	321	94	37	55	47	265	27	42.6	7.6	7.6	7.6
6	110	32	28.9	763.6	87	83	384	96	37	55	47	262	27	42.4	6.37	6.37	6.37
7	130	32.2	28.9	763.6	87	82	467	97	37	56	47	260	26.9	42	5.35	5.35	5.36
8	141	32.4	28.9	763.7	88	81	529	97	37	56	47	258	26.9	42	4.82	4.82	4.82

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	9.97	1.57	9.0	0.000386	886.60	262.04	0.029110	0.0132	0.192	1.002574	1.003025	0.999551
2	30	29.90	4.70	19.2	0.000545	417.80	263.99	0.029218	0.0187	0.270	1.002706	1.003179	0.999528
3	50	49.86	7.83	24.5	0.000710	326.35	263.99	0.029218	0.0243	0.352	1.002377	1.002793	0.999585
4	70	69.78	10.96	27.4	0.000891	292.56	263.99	0.029218	0.0305	0.442	1.002706	1.003179	0.999528
5	91	90.91	14.28	28.9	0.001099	277.08	263.99	0.029218	0.0376	0.545	1.000865	1.001017	0.999849
6	110	109.89	17.26	29.3	0.001311	273.48	263.99	0.029218	0.0449	0.650	1.000865	1.001017	0.999849
7	130	129.97	20.42	29.1	0.001561	275.32	263.02	0.029164	0.0535	0.776	1.000210	1.000246	0.999963
8	141	141.05	22.16	28.4	0.001735	281.90	263.02	0.029164	0.0595	0.862	0.999686	0.999631	1.000055

ตารางที่ ง-28 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	30.6	28.8	763.6	89	86	151	94	36	52	47	53.5	384	93.6	15.21	15.19	15.23
2	30	31.4	28.4	763.7	88	85	195	95	36	53	47	53.5	381	93.9	10.9	10.92	10.91
3	51	31.4	28.5	763.8	88	84	257	96	36	53	48	53.5	378	93.5	8.18	8.19	8.19
4	70	31.4	28.8	763.8	88	84	320	97	36	53	48	53.5	375	93.3	6.58	6.58	6.58
5	90	31.9	28.6	763.9	88	84	377	98	36	53	49	53.5	3371	92.5	5.47	5.47	5.47
6	109	32.1	28.7	763.9	88	82	439	99	37	54	49	53.4	368	91.9	4.69	4.69	4.69
7	130	32.6	29.3	764	88	82	540	101	37	55	49	53.3	361	90.1	3.94	3.94	3.93
8	147	32.9	29.3	764	88	81	646	102	37	55	49	52.5	358	89.1	3.34	3.34	3.36

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	9.94	2.08	8.5	0.000547	945.66	523.10	0.041129	0.0133	0.193	1.005478	1.006437	0.999047
2	30	29.90	6.26	18.2	0.000764	439.27	523.10	0.041129	0.0186	0.269	1.002968	1.003488	0.999482
3	51	50.81	10.64	23.2	0.001018	344.36	523.10	0.041129	0.0248	0.359	1.003100	1.003642	0.999460
4	70	69.75	14.61	25.6	0.001267	312.15	523.10	0.041129	0.0308	0.446	1.003100	1.003642	0.999460
5	90	89.83	18.81	27.4	0.001526	291.97	523.10	0.041129	0.0371	0.538	1.001587	1.001864	0.999723
6	109	108.88	22.80	28.5	0.001781	281.14	522.12	0.041091	0.0433	0.628	1.000930	1.001093	0.999837
7	130	130.09	27.25	28.5	0.002125	280.76	521.14	0.041052	0.0518	0.750	0.999424	0.999324	1.000101
8	147	147.27	30.84	27.4	0.002502	292.01	513.32	0.040743	0.0614	0.890	0.998445	0.998173	1.000273

ตารางที่ ง-29 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	31.6	28.4	762.1	88	85	179	97	37	49	50	87.8	454	132.1	10.66	10.65	10.69
2	30	31.9	28.6	762.1	88	85	226	98	37	49	50	88.4	452	132.9	7.98	7.98	8
3	50	31.8	29	762.2	88	85	286	99	37	51	51	88.4	449	132.7	6.19	6.19	6.2
4	70	32.5	28.8	762.2	88	83	355	100	37	52	52	88.4	446	132.7	5.01	4.99	5.01
5	90	32.8	28.8	762.3	88	83	433	101	37	53	52	88.4	443	132.5	4.12	4.12	4.13
6	110	33.2	29.1	762.4	88	82	521	103	37	54	52	88.2	440	131.5	3.46	3.46	3.47
7	130	33.8	29.4	762.5	88	83	593	104	38	54	52	88	438	130.1	3	3	2.99
8	148	34	29.7	762.5	88	80	716	105	38	55	52	86.6	434	127.9	2.53	2.53	2.52

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.00	2.62	7.4	0.000784	1077.77	858.47	0.052689	0.0149	0.216	1.000210	1.000247	0.999963
2	30	30.03	7.86	16.7	0.001048	479.73	864.34	0.052869	0.0198	0.287	0.999227	0.999091	1.000135
3	50	50.02	13.09	21.6	0.001350	371.21	864.34	0.052869	0.0255	0.370	0.999685	0.999630	1.000055
4	70	70.21	18.38	24.4	0.001675	328.08	864.34	0.052869	0.0317	0.459	0.997396	0.996940	1.000457
5	90	90.37	23.66	25.9	0.002035	309.59	864.34	0.052869	0.0385	0.558	0.996549	0.995945	1.000606
6	110	110.60	28.96	26.5	0.002425	301.51	862.38	0.052809	0.0459	0.666	0.995378	0.994569	1.000813
7	130	130.99	34.29	27.2	0.002808	294.76	860.43	0.052749	0.0532	0.771	0.993563	0.992436	1.001135
8	148	149.24	39.07	26.1	0.003332	307.04	846.74	0.052328	0.0637	0.923	0.992916	0.991676	1.001250

ตารางที่ ง-30 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 3,030 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	30.2	27.6	761.5	101	87	209	85	35	49	49	490	117.5	166.2	8.2	8.2	8.21
2	30	30.9	27.8	761.5	102	88	267	85	36	51	52	488	117.6	168	6.11	6.13	6.14
3	50	31.2	28	761.5	103	88	331	84	36	51	53	486	119	168.4	4.86	4.86	4.86
4	71	31.6	28.1	761.7	104	88	408	85	36	51	53	483	119.1	168.6	3.89	3.89	3.91
5	91	31.9	28.3	761.7	105	88	503	84	36	51	54	481	119.2	168.2	3.21	3.2	3.22
6	110	32.4	28.6	761.7	107	88	590	82	37	52	54	477	119	167.6	2.72	2.74	2.73
7	130	32.7	28.8	761.7	108	88	681	83	37	52	54	475	118.6	165.6	2.36	2.36	2.36
8	139	32.9	29	761.7	109	88	762	82	37	52	54	472	118.2	164.6	2.12	2.14	2.13

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	9.95	3.16	6.9	0.001015	1157.05	1148.87	0.060953	0.0167	0.241	1.004035	1.004741	0.999297
2	30	29.94	9.50	15.5	0.001362	516.21	1149.84	0.060979	0.0223	0.324	1.001724	1.002025	0.999699
3	50	49.96	15.85	20.5	0.001719	390.38	1163.53	0.061341	0.0280	0.406	1.000736	1.000865	0.999871
4	71	71.03	22.54	23.3	0.002146	342.82	1164.51	0.061366	0.0350	0.507	0.999685	0.999630	1.000055
5	91	91.14	28.92	24.7	0.002608	324.63	1165.49	0.061392	0.0425	0.616	0.998702	0.998475	1.000227
6	110	110.38	35.02	25.4	0.003071	315.69	1163.53	0.061341	0.0501	0.726	0.997068	0.996555	1.000515
7	130	130.60	41.44	25.9	0.003556	308.95	1159.62	0.061237	0.0581	0.842	0.996090	0.995406	1.000687
8	139	139.75	44.34	25.0	0.003943	320.11	1155.71	0.061134	0.0645	0.935	0.995439	0.994641	1.000802

ตารางที่ ง-31 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	9	30.6	27.1	761.2	86	84	232	104	36	49	52	164.4	510	256.6	6.56	6.56	6.54
2	30	31.3	28.2	761.2	88	83	297	106	36	51	56	165	506	257.4	4.9	4.91	4.91
3	50	31.9	28.4	761.2	88	84	364	107	36	50	56	165.7	503	257.4	3.92	3.92	3.93
4	71	32.4	28.7	761.2	84	82	453	108	37	50	57	165.9	502	256.6	3.16	3.16	3.16
5	90	32.5	28.8	761.2	88	83	548	110	37	51	58	166.3	500	255.8	2.61	2.61	2.62
6	110	33.3	29.1	761.2	88	82	666	111	38	51	58	165.3	496	253.4	2.19	2.19	2.19
7	130	34.1	29.5	761.2	88	81	742	113	38	52	58	164.1	494	251	1.93	1.93	1.93
8	135	34.6	30	761.2	88	82	791	114	39	52	58	163.1	492	249	1.83	1.82	1.83

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	9	8.98	3.29	5.7	0.001273	1392.78	1607.43	0.072098	0.0177	0.256	1.002318	1.002724	0.999595
2	30	30.00	11.00	14.3	0.001704	557.83	1613.30	0.072230	0.0236	0.342	1.000014	1.000016	0.999998
3	50	50.12	18.37	19.1	0.002135	418.44	1620.14	0.072383	0.0295	0.427	0.998047	0.997705	1.000343
4	71	71.30	26.13	21.9	0.002655	365.76	1622.10	0.072427	0.0367	0.531	0.996413	0.995786	1.000630
5	90	90.42	33.14	22.9	0.003212	348.88	1626.01	0.072514	0.0443	0.642	0.996087	0.995403	1.000688
6	110	110.85	40.63	23.5	0.003842	340.47	1616.23	0.072295	0.0531	0.770	0.993487	0.992347	1.001149
7	130	131.41	48.16	24.5	0.004371	326.75	1604.50	0.072033	0.0607	0.880	0.990900	0.989308	1.001610
8	135	136.72	50.11	24.1	0.004626	332.35	1594.72	0.071813	0.0644	0.934	0.989290	0.987416	1.001898

ตารางที่ ง-32 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ ครั้งที่ 2 เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	9	31.9	28.8	761.8	88	84	276	108	37	51	55	526	179.4	270.1	5.33	5.34	5.35
2	30	32.6	28.9	761.8	88	84	350	109	37	50	58	524	183	273.1	3.99	4	4.01
3	51	33	29	761.8	88	83	439	110	37	50	59	520	184.8	275.9	3.17	3.18	3.18
4	70	33.3	29.2	761.8	88	82	533	112	37	52	60	517	187.8	275.1	2.6	2.62	2.62
5	91	34	29.4	761.8	88	82	660	114	38	51	60	515	187.7	275.5	2.12	2.13	2.13
6	110	34.8	29.9	761.8	88	82	774	115	39	52	60	510	186.9	273.4	1.79	1.79	1.8
7	119	35.6	30.4	761.8	88	81	828	117	39	52	60	508	185.5	272.2	1.66	1.66	1.67

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	9	9.01	3.78	5.4	0.001567	1494.68	1754.10	0.075316	0.0208	0.302	0.998833	0.998629	1.000204
2	30	30.12	12.62	13.4	0.002097	598.38	1789.30	0.076068	0.0276	0.400	0.996547	0.995942	1.000607
3	51	51.29	21.48	18.1	0.002644	443.11	1806.90	0.076441	0.0346	0.501	0.995244	0.994412	1.000837
4	70	70.47	29.52	20.4	0.003217	392.36	1836.23	0.077059	0.0418	0.605	0.994270	0.993267	1.001010
5	91	91.86	38.48	21.6	0.003963	370.74	1835.25	0.077038	0.0514	0.745	0.992004	0.990605	1.001413
6	110	111.38	46.66	22.0	0.004712	363.54	1827.43	0.076874	0.0613	0.888	0.989427	0.987577	1.001874
7	119	120.87	50.63	22.1	0.005093	362.14	1813.74	0.076586	0.0665	0.964	0.986863	0.984565	1.002335

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-33 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ภาระสูงสุด หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

Run Number	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)								Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
			T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3	
						out	in												
1	1000	131	31.4	29.2	765	88	82	425	90	38	60	45	190	13.4	18.8	7.36	7.34	7.35	
2	1250	134	31.6	29.2	765	87	82	460	94	38	58	46	239	22	29.6	5.95	5.94	5.95	
3	1500	136	31.8	29.4	765	87	81	502	96	38	57	46	295	29.4	44	4.94	4.94	4.94	
4	1750	138	31.8	29.7	765	88	82	537	100	38	56	46	346	40.8	64.8	4.16	4.16	4.16	
5	2000	146	32	29.4	765	88	81	651	102	38	56	46	400	52.4	90	3.28	3.29	3.28	
6	2250	152	32.4	29.6	765	88	82	707	105	39	56	47	437	73	122.6	2.73	2.73	2.72	
7	2500	146	32.4	29.8	765	88	81	717	107	39	56	48	461	88.8	133.4	2.51	2.51	2.51	
8	2750	140	32.6	30	765	87	81	722	109	39	56	50	480	103.6	146.8	2.37	2.37	2.37	
9	3030	136	32.8	30.5	765	87	81	756	110	40	55	51	491	120.7	166.6	2.14	2.14	2.14	
10	3250	134	32.8	30	765	87	81	769	112	40	55	56	502	135.1	193	1.99	1.99	1.99	
11	3500	131	33	30.2	765	87	81	772	115	40	55	53	509	162.3	241	1.86	1.86	1.86	
12	3750	125	33.2	30.2	765	88	81	808	117	40	55	54	517	179.7	283.5	1.71	1.71	1.71	
13	4000	116	34	30.4	765	87	81	810	118	41	55	55	527	191.1	287.5	1.69	1.69	1.69	

ตารางที่ ง-33(ต่อ) แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ภาระสูงสุด หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

Run Number	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
												k	α	β
1	1000	131	130.28	13.64	26.8	0.001132	298.73	131.02	0.020584	0.0550	0.797	1.004676	1.005494	0.999186
2	1250	134	133.39	17.46	27.7	0.001400	288.73	215.11	0.026375	0.0531	0.770	1.003885	1.004565	0.999323
3	1500	136	135.49	21.28	28.0	0.001687	285.34	287.46	0.030489	0.0553	0.802	1.003227	1.003791	0.999437
4	1750	138	137.48	25.19	28.0	0.002003	286.23	398.93	0.035917	0.0558	0.808	1.003227	1.003791	0.999437
5	2000	146	145.58	30.49	26.7	0.002540	299.89	512.35	0.040704	0.0624	0.904	1.002438	1.002865	0.999575
6	2250	152	151.80	35.77	26.0	0.003063	308.25	713.76	0.048044	0.0637	0.924	1.001126	1.001323	0.999803
7	2500	146	145.81	38.17	25.5	0.003327	313.76	868.25	0.052988	0.0628	0.910	1.001126	1.001323	0.999803
8	2750	140	139.92	40.29	25.4	0.00353	315.00	1012.96	0.057234	0.0616	0.893	1.000471	1.000553	0.999918
9	3030	136	136.03	43.16	24.6	0.00391	325.89	1180.15	0.061777	0.0632	0.917	0.999817	0.999785	1.000032
10	3250	134	134.05	45.62	24.1	0.00420	331.60	1320.95	0.065359	0.0643	0.932	0.999686	0.999631	1.000055
11	3500	131	131.19	48.08	23.8	0.00450	336.93	1586.90	0.071636	0.0628	0.910	0.998772	0.998557	1.000215
12	3750	125	125.28	49.20	22.3	0.00490	358.43	1757.03	0.075379	0.0650	0.942	0.998120	0.997791	1.000330
13	4000	116	116.61	48.85	21.9	0.00497	366.21	1868.50	0.077733	0.0639	0.926	0.995520	0.994736	1.000788

ตารางที่ ง-34 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	32.2	30.1	762.5	88	87	115	87	38	59	47	193	14.2	20	29.38	29.4	29.24
2	31	31.8	30	762.8	88	85	151	89	38	59	46	191	14	20	20.91	20.86	20.86
3	50	31.6	29.5	762.5	87	85	187	89	37	59	46	192	14.1	20	16.58	16.56	16.62
4	70	31.5	29.3	762.3	87	84	237	90	37	59	46	191	14	19.6	13	12.93	12.95
5	90	31.5	29.3	762.4	87	83	286	90	37	59	46	191	13.8	19.6	10.72	10.73	10.72
6	110	31.6	29.5	762.3	87	82	341	91	37	59	46	190	13.6	19.2	9.01	9.01	9.03
7	132	31.6	29.6	762.3	87	80	425	91	37	59	45	189	13.4	18.8	7.36	7.34	7.36

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.01	1.05	8.2	0.000285	979.32	138.84	0.021189	0.0135	0.195	0.998769	0.998553	1.000216
2	31	30.98	3.24	18.0	0.000400	444.11	136.89	0.021040	0.0190	0.276	1.000472	1.000555	0.999917
3	50	49.96	5.23	23.1	0.000504	346.58	137.86	0.021115	0.0239	0.346	1.000735	1.000864	0.999871
4	70	69.93	7.32	25.3	0.000645	316.84	136.89	0.021040	0.0306	0.444	1.000801	1.000941	0.999860
5	90	89.90	9.41	26.9	0.000779	297.84	134.93	0.020889	0.0373	0.540	1.000932	1.001096	0.999837
6	110	109.94	11.51	27.6	0.000927	289.79	132.98	0.020737	0.0447	0.648	1.000473	1.000556	0.999917
7	132	131.93	13.82	27.0	0.001136	296.11	131.02	0.020584	0.0552	0.800	1.000473	1.000556	0.999917

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง -35 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	31.3	29.4	762.6	88	84	150	92	37	56	45	307	30.9	46.2	20.27	20.25	20.23
2	30	31.5	29.6	762.6	87	85	173	92	37	556	46	308	30.7	46.2	14.57	14.57	14.56
3	50	31.4	29.4	762.7	88	85	214	93	37	55	46	305	30.5	45.8	11.36	11.34	11.35
4	70	31.4	29.6	763	88	84	267	94	37	55	46	304	30.3	45.4	9.07	9.05	9.02
5	90	31.5	29.6	763	88	84	325	95	37	55	46	300	30.2	45.2	7.4	7.39	7.38
6	110	31.5	29.8	763	88	83	391	96	37	56	46	298	29.8	44.8	6.19	6.21	6.2
7	130	31.6	30	763	87	82	472	97	37	56	46	294	29.4	44.4	5.23	5.22	5.22
8	137	31.8	29.6	763	87	82	509	97	37	56	46	292	29.2	44	4.92	4.92	4.92

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	9.98	1.57	8.5	0.000412	946.46	302.13	0.031257	0.0132	0.191	1.001853	1.002177	0.999676
2	30	29.96	4.71	18.3	0.000573	438.53	300.17	0.031156	0.0184	0.267	1.001195	1.001404	0.999791
3	50	49.90	7.84	23.7	0.000735	337.71	298.22	0.031055	0.0237	0.343	1.001655	1.001945	0.999711
4	70	69.83	10.97	26.4	0.000922	302.66	296.26	0.030953	0.0298	0.432	1.002049	1.002408	0.999642
5	90	89.82	14.11	27.8	0.001129	288.16	295.28	0.030901	0.0365	0.530	1.001720	1.002021	0.999700
6	110	109.78	17.24	28.5	0.001346	281.02	291.37	0.030696	0.0439	0.636	1.001720	1.002021	0.999700
7	130	129.79	20.39	28.4	0.001598	282.23	287.46	0.030489	0.0524	0.760	1.001391	1.001635	0.999757
8	137	136.88	21.50	28.2	0.001698	284.29	285.51	0.030385	0.0559	0.810	1.000735	1.000863	0.999872

ตารางที่ ง-36 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	31.8	30	763	88	87	164	95	37	54	46	427	55.1	94	14.04	14.01	14.03
2	31	31.6	29.6	763	87	87	212	96	37	54	47	421	55	93.6	10.05	10.04	10.05
3	50	31.6	29.6	763	88	87	265	97	37	55	47	422	55	93.4	7.89	7.9	7.9
4	70	31.8	29.7	763	88	87	329	98	37	55	47	416	54.8	93	6.29	6.29	6.31
5	90	31.6	29.8	763.1	88	88	383	99	37	55	48	411	54.2	92.4	5.32	5.34	5.31
6	110	31.3	29.6	763.5	88	87	452	100	37	55	48	408	53.4	91.6	4.51	4.52	4.52
7	130	30.8	29.4	763.5	87	87	543	101	36	55	47	403	52.6	90.6	3.8	3.81	3.8
8	145	30.8	29.6	763.5	87	87	640	103	36	55	47	400	52	89.8	3.33	3.33	3.33

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	9.99	2.09	7.8	0.000596	1024.59	538.74	0.041740	0.0143	0.207	1.000735	1.000863	0.999872
2	31	30.95	6.48	17.3	0.000831	461.50	537.77	0.041702	0.0199	0.289	1.001391	1.001635	0.999757
3	50	49.92	10.45	22.0	0.001057	364.03	537.77	0.041702	0.0254	0.367	1.001391	1.001635	0.999757
4	70	69.94	14.65	24.5	0.001327	326.06	535.81	0.041626	0.0319	0.462	1.000735	1.000863	0.999872
5	90	89.84	18.82	26.7	0.001568	300.01	529.94	0.041398	0.0379	0.549	1.001523	1.001789	0.999734
6	110	109.61	22.96	27.7	0.001845	289.38	522.12	0.041091	0.0449	0.651	1.003035	1.003566	0.999471
7	130	129.29	27.08	27.5	0.002188	290.87	514.30	0.040782	0.0536	0.777	1.004685	1.005505	0.999185
8	145	144.21	30.20	26.9	0.002499	297.85	508.43	0.040549	0.0616	0.893	1.004685	1.005505	0.999185

ตารางที่ ง-37 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)								Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3	
					out	in												
1	10	32.4	30.5	762.8	88	84	187	99	38	54	50	478	92.5	138.8	9.96	9.98	9.98	
2	30	32.2	30.2	762.8	88	84	235	100	38	54	50	475	92	139	7.47	7.47	7.45	
3	50	32.2	30	762.8	88	84	293	101	37	54	50	472	92	139	5.93	5.92	5.93	
4	71	32.2	30	762.8	88	84	365	102	37	54	50	471	92	138.6	4.74	4.75	4.75	
5	90	32.2	30	762.8	88	84	443	104	38	54	51	468	91.6	138.2	3.99	3.98	3.98	
6	111	32.3	30	762.8	87	83	524	105	38	55	52	464	90.8	137	3.39	3.39	3.39	
7	130	32.4	30.2	762.8	87	83	605	106	38	55	51	462	90	135.8	2.93	2.92	2.93	
8	145	32.7	30.1	762.8	88	82	705	108	38	55	51	459	88.6	134.2	2.53	2.54	2.53	

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.02	2.62	6.9	0.000839	1152.35	904.43	0.054081	0.0155	0.225	0.998508	0.998247	1.000262
2	30	30.03	7.86	15.6	0.001121	513.36	899.54	0.053935	0.0208	0.301	0.999162	0.999015	1.000147
3	50	50.05	13.10	20.6	0.001412	387.88	899.54	0.053935	0.0262	0.379	0.999162	0.999015	1.000147
4	71	71.07	18.61	23.5	0.001763	341.06	899.54	0.053935	0.0327	0.474	0.999162	0.999015	1.000147
5	90	90.09	23.59	25.0	0.002101	320.62	895.63	0.053817	0.0390	0.566	0.999162	0.999015	1.000147
6	111	111.15	29.10	26.2	0.002469	305.44	887.80	0.053582	0.0461	0.668	0.998835	0.998631	1.000204
7	130	130.23	34.09	26.5	0.002861	302.07	879.98	0.053345	0.0536	0.777	0.998508	0.998247	1.000262
8	145	145.42	38.07	25.6	0.003308	312.82	866.29	0.052929	0.0625	0.906	0.997528	0.997096	1.000434

ตารางที่ ง-38 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 3,030 รอบต่อนาที หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	32.4	30.6	763	88	85	221	102	38	53	52	500	121.3	168.6	7.69	7.68	7.67
2	30	32.3	30.4	763	87	85	277	104	38	53	53	499	122.7	169	5.85	5.85	5.85
3	50	32.3	30.2	763	88	84	347	105	38	53	54	495	123.5	170.2	4.62	4.61	4.59
4	70	32.5	30.2	763	88	84	432	107	38	53	54	495	123.9	171.5	3.73	3.74	3.73
5	91	32.5	30.3	763	88	84	532	108	38	54	53	491	123.9	171	3.07	3.07	3.05
6	110	32.7	30.6	762.9	88	82	604	109	38	54	54	488	123.3	171.1	2.68	2.67	2.66
7	130	32.6	30.4	762.9	88	82	701	110	39	54	53	492	121.9	170.5	2.28	2.28	2.28
8	136	32.6	31	762.9	87	81	756	111	39	54	53	488	121.3	169	2.15	2.15	2.15

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	10.01	3.18	6.5	0.001090	1234.76	1186.02	0.061931	0.0176	0.255	0.998770	0.998554	1.000216
2	30	30.03	9.53	14.8	0.001430	540.37	1199.71	0.062287	0.0230	0.333	0.999097	0.998939	1.000158
3	50	50.05	15.88	19.4	0.001816	411.73	1207.53	0.062490	0.0291	0.421	0.999097	0.998939	1.000158
4	70	70.13	22.25	22.1	0.002243	362.85	1211.44	0.062591	0.0358	0.519	0.998443	0.998170	1.000273
5	91	91.17	28.93	23.5	0.002733	340.16	1211.44	0.062591	0.0437	0.633	0.998443	0.998170	1.000273
6	110	110.30	35.00	24.8	0.003138	322.82	1205.58	0.062439	0.0503	0.728	0.997659	0.997250	1.000411
7	130	130.31	41.35	25.0	0.003674	319.89	1191.89	0.062084	0.0592	0.858	0.997985	0.997633	1.000353
8	136	136.32	43.26	24.7	0.003896	324.27	1186.02	0.061931	0.0629	0.912	0.997985	0.997633	1.000353

ตารางที่ ง-39 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	32	30	763.5	87	85	244	104	37	52	50	524	162.7	244.3	6.21	6.19	6.19
2	30	32	30	763.4	87	85	305	107	38	52	53	522	163.7	245.9	4.76	4.75	4.76
3	50	32	30.2	763.3	88	85	386	108	37	52	54	518	164.1	245.1	3.72	3.73	3.74
4	71	32	30.2	763.3	87	84	486	110	38	52	54	516	164.3	244.7	3.01	3.02	3
5	91	32.2	30.4	763.2	87	82	595	112	38	53	55	511	164.3	243.1	2.48	2.49	2.48
6	110	32.5	30.4	763.2	88	82	672	113	38	53	54	508	163.7	241.1	2.17	2.17	2.16
7	130	32.8	30.4	763.2	88	81	771	115	39	53	54	506	163.1	239.1	1.86	1.86	1.86

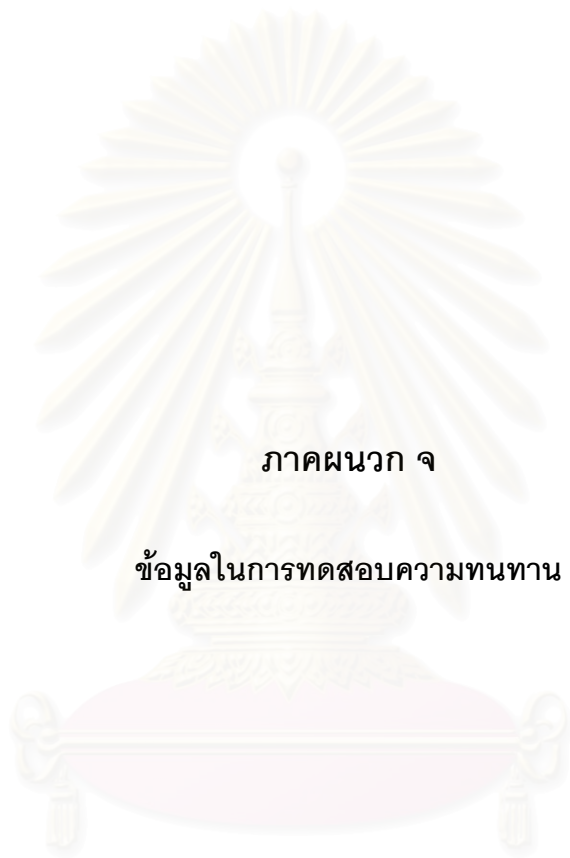
Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	9.99	3.66	6.0	0.001348	1325.29	1590.81	0.071725	0.0188	0.272	1.000734	1.000863	0.999872
2	30	29.98	10.99	13.9	0.001756	575.48	1600.59	0.071945	0.0244	0.354	1.000603	1.000709	0.999895
3	50	49.97	18.32	18.2	0.002240	440.32	1604.50	0.072033	0.0311	0.451	1.000472	1.000555	0.999917
4	71	70.96	26.01	20.8	0.002776	384.26	1606.46	0.072076	0.0385	0.558	1.000472	1.000555	0.999917
5	91	91.03	33.37	22.0	0.003368	363.34	1606.46	0.072076	0.0467	0.677	0.999686	0.999631	1.000055
6	110	110.17	40.38	23.2	0.003863	344.45	1600.59	0.071945	0.0537	0.778	0.998705	0.998478	1.000227
7	130	130.35	47.78	23.6	0.004505	339.46	1594.72	0.071813	0.0627	0.909	0.997725	0.997327	1.000399

ตารางที่ ง-40 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ เมื่อใช้น้ำมัน Reference CPO Diesel ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที หลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบ

Run Number	Torque (N-m)	ambient condition (°C)			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec./10c.c.)		
		T db	T wb	P atm	Water		Exhaust	Engine Oil	Air Box	intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
					out	in											
1	10	32.4	30	764.3	88	84	298	110	39	53	57	178.6	542	285.1	4.91	4.93	4.95
2	30	32.4	30	764.2	88	84	374	110	39	53	59	183.1	539	287.9	3.78	3.79	3.77
3	51	32.5	30	764.2	88	82	476	112	39	53	59	187.5	539	291.9	2.96	2.97	2.96
4	71	32.8	30.2	764.2	88	82	588	114	39	54	59	188.9	534	293.9	2.41	2.41	2.41
5	90	33	30.4	764.2	88	82	712	117	40	54	59	189.4	533	293.9	1.98	1.98	1.99
6	110	33.2	3.5	764.1	87	81	789	119	40	55	58	188.7	528	291.9	1.75	1.75	1.74
7	113	33.2	31.6	764	88	81	813	119	40	52	58	188.8	526	291.9	1.7	1.7	1.7

Run Number	Torque (N-m)	Corrected Torque (N-m)	Corrected Power (kW)	$\eta_{fuel}(\%)$	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
											k	α	β
1	10	9.99	4.19	5.5	0.001695	1457.50	1746.28	0.075148	0.0226	0.327	1.000471	1.000554	0.999918
2	30	29.99	12.56	12.6	0.002211	633.63	1790.27	0.076088	0.0291	0.421	1.000340	1.000400	0.999940
3	51	51.00	21.36	16.8	0.002821	475.41	1833.30	0.076997	0.0366	0.531	1.000013	1.000015	0.999998
4	71	71.08	29.77	19.1	0.003472	419.83	1846.98	0.077284	0.0449	0.651	0.999033	0.998863	1.000169
5	90	90.17	37.77	19.9	0.004222	402.40	1851.87	0.077386	0.0546	0.791	0.998380	0.998096	1.000284
6	110	110.31	46.21	21.4	0.004798	373.80	1845.03	0.077243	0.0621	0.900	0.997598	0.997177	1.000422
7	113	113.34	47.47	21.4	0.004930	373.85	1846.01	0.077264	0.0638	0.925	0.997467	0.997024	1.000445

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ

ข้อมูลในการทดสอบความทนทาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑-1 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 1 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operatio point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	136	33.2	29.6	762.4	112	88	82	792	39	55	45	504	136.5	195.8	1.99	1.99	1.99
2		3250	136	36.0	31.2	762.4	113	88	82	794	42	57	47	504	135.8	194.2	1.98	1.99	1.99
3		3250	134	36.4	32.1	762.5	113	88	82	791	42	57	48	503	135.8	195.8	2.00	2.00	2.00
4	step 2	2750	138	37.7	33.1	762.5	109	88	82	736	43	59	48	478	100.5	140.2	2.40	2.40	2.40
5		2750	137	36.3	33.8	762.5	109	87	82	731	44	59	50	478	100.1	141.4	2.41	2.41	2.41
6		2750	138	37.8	34.2	762.5	109	88	80	731	44	60	50	476	100.1	141.2	2.40	2.40	2.40
7	step 3	2900	40	38.5	34.8	762.8	104	87	84	308	43	58	53	499	109.5	155.8	5.59	5.59	5.59
8		2900	41	37.4	32.8	762.9	104	88	84	311	42	57	54	498	109.9	156.2	5.50	5.51	5.51
9		2900	42	35.4	31.9	763.0	104	88	84	313	42	57	53	499	109.9	156.4	5.44	5.44	5.44
10	step 4	900	0	30.4	28.4	763.1	89	86	86	95	39	59	49	172	13.0	18.4	36.06	36.10	36.18
11		900	0	30.2	28.4	763.5	88	87	86	95	38	56	44	175	13.0	18.4	36.21	36.25	36.14
12		900	0	29.5	28.3	763.5	88	86	85	95	37	58	44	175	13.0	18.4	36.35	36.38	36.39

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	136	136.74	46.54	24.5	0.004221	326.48	1334.64	0.065696	0.0642	0.931	0.995378	0.994569	1.000813
2		3250	136	138.21	47.04	24.5	0.004266	326.50	1327.80	0.065528	0.0651	0.944	0.986363	0.983976	1.002425
3		3250	134	136.37	46.41	24.3	0.004243	329.09	1327.80	0.065528	0.0647	0.938	0.985217	0.982631	1.002633
4	step 2	2750	138	141.13	40.64	25.4	0.003550	314.48	982.65	0.056371	0.0630	0.913	0.981097	0.977789	1.003383
5		2750	137	139.37	40.14	25.3	0.003520	315.71	978.74	0.056259	0.0626	0.907	0.985536	0.983005	1.002575
6		2750	138	141.19	40.66	25.5	0.003552	314.46	978.74	0.056259	0.0631	0.915	0.980782	0.977419	1.003441
7	step 3	2900	40	41.01	12.46	18.1	0.001528	441.54	1070.64	0.058841	0.0260	0.376	0.978964	0.975282	1.003775
8		2900	41	41.86	12.71	18.3	0.001545	437.58	1074.56	0.058949	0.0262	0.380	0.982560	0.979508	1.003116
9		2900	42	42.55	12.92	18.5	0.001554	432.90	1074.56	0.058949	0.0264	0.382	0.989059	0.987144	1.001940
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000230	-	127.11	0.020274	0.0114	0.165	1.005482	1.006441	0.999047
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000229	-	127.11	0.020274	0.0113	0.164	1.006672	1.007840	0.998841
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000228	-	127.11	0.020274	0.0112	0.163	1.009001	1.010576	0.998441

ตารางที่ ๑ - 2 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วิจัยจักรการทดสอบที่ 2 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operatio point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	136	32.4	29.6	764.0	112	88	80	794	40	55	47	492	136.2	194.6	1.98	1.98	1.98
2		3250	135	33.6	31.2	764.1	113	88	82	787	41	57	47	490	135.3	193.4	2.00	2.00	2.00
3		3250	134	35.8	32.4	764.1	112	88	81	784	42	58	48	487	135.1	192.6	2.00	2.00	2.00
4	step 2	2750	140	36.2	32.6	764.1	110	88	82	730	42	59	48	454	100.3	141.2	2.39	2.39	2.39
5		2750	140	34.9	32.0	764.5	109	88	82	730	42	59	48	451	101.1	141.4	2.39	2.39	2.39
6		2750	139	33.7	31.8	764.6	109	88	81	723	42	59	49	450	99.6	140.9	2.40	2.41	2.40
7	step 3	2900	41	34.2	31.6	764.8	104	88	84	305	41	57	51	487	110.1	156.1	5.66	5.65	5.64
8		2900	38	34.3	31.6	764.8	104	88	84	300	41	56	52	487	109.8	156.1	5.68	5.69	5.70
9		2900	37	33.0	31.1	764.8	103	88	85	297	40	55	52	488	109.8	156.1	5.77	5.75	5.75
10	step 4	900	0	32.4	30.9	765.0	89	88	87	97	39	60	49	172	13.2	18.4	35.76	35.86	35.90
11		900	0	31.4	29.8	765.0	88	87	84	96	38	59	46	174	13.2	18.4	36.43	36.38	36.45
12		900	0	30.7	29.2	764.9	88	87	86	96	38	59	46	176	13.2	18.4	36.78	36.79	36.81

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	136	135.99	46.28	24.4	0.004222	328.40	1331.71	0.065624	0.0643	0.932	1.000079	1.000092	0.999986
2		3250	135	135.59	46.15	24.5	0.004196	327.30	1322.91	0.065407	0.0641	0.930	0.996297	0.995649	1.000651
3		3250	134	135.72	46.19	24.3	0.004226	329.33	1320.95	0.065359	0.0647	0.937	0.989202	0.987313	1.001914
4	step 2	2750	140	142.02	40.90	25.7	0.003541	311.67	980.69	0.056315	0.0629	0.911	0.987923	0.985810	1.002144
5		2750	140	141.23	40.67	25.7	0.003524	311.93	988.51	0.056539	0.0623	0.903	0.992612	0.991319	1.001304
6		2750	139	139.55	40.19	25.6	0.003490	312.65	973.85	0.056118	0.0622	0.901	0.996624	0.996033	1.000593
7	step 3	2900	41	41.23	12.52	18.7	0.001487	427.45	1076.51	0.059002	0.0252	0.365	0.995263	0.994434	1.000834
8		2900	38	38.23	11.61	17.5	0.001477	457.93	1073.58	0.058922	0.0251	0.363	0.994939	0.994053	1.000891
9		2900	37	37.04	11.25	17.2	0.001453	465.21	1073.58	0.058922	0.0247	0.357	0.999164	0.999017	1.000146
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000233	-	129.06	0.020430	0.0114	0.165	1.001388	1.001630	0.999758
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000228	-	129.06	0.020430	0.0112	0.162	1.004676	1.005494	0.999186
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000226	-	129.06	0.020430	0.0110	0.160	1.006859	1.008059	0.998809

ตารางที่ ๑-3 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 3 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operatio point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	135	32.5	30.3	765.0	113	88	81	784	41	57	48	486	135.9	194.3	1.99	1.99	2.00
2		3250	135	34.1	31.1	765.1	113	88	81	778	42	57	49	487	135.3	193.1	2.00	2.00	2.00
3		3250	135	35.0	32.1	765.3	113	88	81	776	42	58	49	488	135.1	193.1	2.00	2.00	2.00
4	step 2	2750	138	34.8	32.5	765.5	109	88	81	724	43	59	49	457	100.0	141.2	2.41	2.41	2.40
5		2750	140	35.0	32.4	765.8	109	88	81	722	42	59	48	458	100.0	140.7	2.41	2.40	2.40
6		2750	139	34.2	32.4	765.5	109	88	81	722	43	59	49	458	100.3	141.0	2.40	2.40	2.40
7	step 3	2900	38	33.4	32.0	765.5	104	87	85	303	42	57	52	485	109.7	156.0	5.71	5.72	5.72
8		2900	40	32.6	31.0	765.5	104	88	84	305	41	55	52	486	109.7	156.2	5.57	5.58	5.58
9		2900	40	32.4	31.0	765.2	103	87	85	307	40	55	51	485	109.9	156.2	5.55	5.54	5.55
10	step 4	900	0	32.4	31.0	765.2	89	87	86	98	40	56	47	171	13.2	18.2	36.55	36.52	36.54
11		900	0	32.2	31.0	765.2	88	86	85	95	39	59	47	175	13.1	18.2	36.47	36.44	36.50
12		900	0	31.4	30.4	765.1	88	87	85	96	38	59	46	175	13.1	18.2	36.67	36.64	36.67

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	135	134.83	45.89	24.4	0.004190	328.67	1328.77	0.065552	0.0639	0.926	1.001060	1.001246	0.999815
2		3250	135	135.64	46.16	24.5	0.004197	327.28	1322.91	0.065407	0.0642	0.930	0.995977	0.995273	1.000707
3		3250	135	136.07	46.31	24.5	0.004208	327.13	1320.95	0.065359	0.0644	0.933	0.993328	0.992160	1.001177
4	step 2	2750	138	138.94	40.01	25.5	0.003494	314.35	977.76	0.056231	0.0621	0.900	0.994233	0.993223	1.001016
5		2750	140	141.00	40.60	25.8	0.003500	310.27	977.76	0.056231	0.0622	0.902	0.993977	0.992923	1.001062
6		2750	139	139.63	40.21	25.6	0.003497	313.06	980.69	0.056315	0.0621	0.900	0.996174	0.995504	1.000673
7	step 3	2900	38	38.05	11.56	17.5	0.001464	456.10	1072.60	0.058895	0.0249	0.360	0.998773	0.998559	1.000215
8		2900	40	39.93	12.13	18.0	0.001497	444.38	1072.60	0.058895	0.0254	0.368	1.001387	1.001629	0.999758
9		2900	40	39.92	12.12	17.9	0.001505	446.80	1074.56	0.058949	0.0255	0.370	1.001649	1.001938	0.999712
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000228	-	129.06	0.020430	0.0112	0.162	1.001649	1.001938	0.999712
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000229	-	128.09	0.020352	0.0112	0.163	1.002305	1.002709	0.999598
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000227	-	128.09	0.020352	0.0112	0.162	1.004807	1.005648	0.999163

ตารางที่ ๑ - แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 4 เมื่อน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operatio point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3247	134	34.0	31.8	765.0	113	88	81	786	41	57	49	487	135.3	192.2	2.06	2.07	2.06
2		3248	134	34.2	32.4	765.0	113	88	81	782	42	57	49	485	135.1	192.2	2.07	2.07	2.07
3		3247	134	35.6	33.8	764.9	113	88	81	784	44	58	50	485	134.7	191.2	2.08	2.08	2.07
4	step 2	2750	138	36.3	33.8	764.9	109	88	81	726	43	58	49	458	100.2	141.2	2.52	2.52	2.51
5		2750	138	36.4	34.6	764.9	110	88	81	725	43	59	50	458	100.1	141.2	2.54	2.54	2.54
6		2750	138	34.2	32.4	764.5	109	88	81	724	43	55	47	458	100.1	141.2	2.53	2.54	2.54
7	step 3	2900	34	32.5	31.4	764.5	104	87	85	292	41	56	51	486	109.5	155.8	6.21	6.22	6.23
8		2900	34	31.5	30.4	764.3	104	87	84	289	40	52	49	486	109.7	155.8	6.19	6.18	6.17
9		2900	35	31.2	29.7	764.1	103	87	84	291	40	55	51	486	109.7	155.7	6.17	6.18	6.18
10	step 4	900	0	31.0	29.8	764.0	91	87	86	99	39	59	49	172	13.0	18.2	37.01	37.42	37.23
11		900	0	30.8	29.6	764.0	88	87	86	96	38	55	44	175	13.0	18.2	36.88	37.00	37.01
12		900	0	30.5	29.4	764.0	88	87	85	96	38	57	45	175	13.0	18.2	37.72	37.74	37.44

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3247	134	134.61	45.77	25.0	0.004067	319.91	1322.91	0.065407	0.0622	0.901	0.996171	0.995501	1.000673
2		3248	134	134.71	45.82	25.1	0.004057	318.75	1320.95	0.065359	0.0621	0.900	0.995523	0.994740	1.000788
3		3247	134	135.45	46.06	25.2	0.004063	317.56	1317.04	0.065262	0.0623	0.902	0.990879	0.989283	1.001613
4	step 2	2750	138	139.87	40.28	26.6	0.003360	300.31	979.71	0.056287	0.0597	0.865	0.988638	0.986650	1.002015
5		2750	138	139.92	40.29	26.9	0.003330	297.53	978.74	0.056259	0.0592	0.858	0.988319	0.986274	1.002073
6		2750	138	138.84	39.98	26.8	0.003313	298.27	978.74	0.056259	0.0589	0.853	0.994872	0.993975	1.000903
7	step 3	2900	34	33.98	10.32	17.1	0.001344	468.64	1070.64	0.058841	0.0228	0.331	1.000406	1.000477	0.999929
8		2900	34	33.86	10.28	17.0	0.001348	471.93	1072.60	0.058895	0.0229	0.332	1.003427	1.004027	0.999403
9		2900	35	34.83	10.58	17.4	0.001348	458.75	1072.60	0.058895	0.0229	0.332	1.004153	1.004880	0.999277
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	127.11	0.020274	0.0110	0.160	1.004682	1.005501	0.999185
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000225	-	127.11	0.020274	0.0111	0.161	1.005343	1.006278	0.999071
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	127.11	0.020274	0.0109	0.158	1.006336	1.007445	0.998899

ตารางที่ ๑ - 5 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 5 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operatio point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3249	135	33.6	31.0	761.4	113	88	82	788	40	56	47	498	134.1	191.7	2.09	2.09	2.10
2		3248	134	37.6	32.4	761.5	113	88	81	792	43	58	49	495	133.5	191.1	2.09	2.10	2.11
3		3248	131	38.8	34.9	761.7	113	88	81	788	45	60	51	493	133.5	190.5	2.10	2.11	2.10
4	step 2	2750	137	39.2	34.2	762.0	109	88	82	723	45	62	52	468	100.1	141.8	2.53	2.53	2.54
5		2750	137	38.4	34.6	762.0	109	87	82	722	45	62	52	467	99.5	141.6	2.54	2.54	2.54
6		2750	138	37.5	34.5	762.1	109	88	82	726	43	59	51	466	98.5	140.5	2.51	2.51	2.52
7	step 3	2900	36	36.5	32.0	762.1	104	88	85	301	43	58	54	485	109.0	153.0	6.03	6.04	6.04
8		2900	36	34.8	31.7	762.1	104	87	85	296	42	57	54	485	109.1	155.4	6.04	6.05	6.06
9		2900	36	35.0	31.6	762.2	104	88	85	300	42	57	53	485	109.1	154.9	5.99	5.94	6.04
10	step 4	900	0	33.9	31.1	762.3	90	87	86	99	42	61	51	171	13.0	18.0	37.73	37.83	37.98
11		900	0	33.0	30.8	762.3	88	87	86	95	41	61	49	175	13.0	18.0	38.00	38.01	38.15
12		900	0	33.0	30.3	762.3	88	87	86	96	40	60	48	175	13.0	18.0	37.97	37.99	37.90

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P Power (kW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3249	135	136.16	46.32	25.6	0.004023	312.61	1311.17	0.065116	0.0618	0.895	0.992776	0.991512	1.001275
2		3248	134	137.20	46.67	25.5	0.004062	313.33	1305.31	0.064970	0.0625	0.906	0.980126	0.976648	1.003561
3		3248	131	134.70	45.82	25.0	0.004070	319.79	1305.31	0.064970	0.0626	0.908	0.976612	0.972519	1.004209
4	step 2	2750	137	141.02	40.61	26.7	0.003382	299.81	978.74	0.056259	0.0601	0.871	0.975745	0.971501	1.004369
5		2750	137	140.59	40.49	26.8	0.003365	299.16	972.87	0.056090	0.0600	0.869	0.978251	0.974445	1.003906
6		2750	138	141.11	40.64	26.7	0.003390	300.30	963.09	0.055808	0.0607	0.880	0.981214	0.977926	1.003362
7	step 3	2900	36	36.67	11.14	17.6	0.001407	454.75	1065.76	0.058707	0.0240	0.347	0.984383	0.981650	1.002784
8		2900	36	36.44	11.07	17.6	0.001396	454.19	1066.73	0.058734	0.0238	0.344	0.989817	0.988035	1.001804
9		2900	36	36.46	11.07	17.4	0.001411	458.70	1066.73	0.058734	0.0240	0.348	0.989304	0.987432	1.001896
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	127.11	0.020274	0.0110	0.159	0.992979	0.991750	1.001239
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	127.11	0.020274	0.0109	0.158	0.995898	0.995180	1.000721
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	127.11	0.020274	0.0109	0.158	0.995898	0.995180	1.000721

ตารางที่ ๑ - 6 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 6 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operatio point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)		
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	134	35.8	32.0	762.8	113	88	82	788	44	59	52	488	131.9	189.9	2.09	2.07	2.10
2		3248	132	35.4	31.8	763.0	113	88	81	787	45	60	52	490	132.7	189.2	2.09	2.10	2.11
3		3248	133	35.8	32.5	763.2	113	87	81	789	45	59	51	490	132.7	189.2	2.10	2.10	2.08
4	step 2	2750	138	36.2	33.4	763.2	110	87	81	728	44	59	49	460	99.9	141.4	2.49	2.50	2.47
5		2750	138	35.9	33.5	763.5	110	87	81	724	44	59	49	460	99.9	141.4	2.44	2.46	2.46
6		2750	139	35.6	33.4	763.9	109	87	81	726	44	59	49	458	99.9	141.4	2.47	2.46	2.47
7	step 3	2900	38	34.8	32.6	764.0	104	87	84	302	43	54	49	485	109.3	155.4	5.85	5.86	5.89
8		2900	38	34.5	31.8	764.0	104	87	85	298	42	52	49	485	109.5	155.6	5.92	5.93	5.95
9		2900	38	34.4	32.2	764.0	104	87	85	298	42	55	51	486	109.0	155.6	5.86	5.87	5.89
10	step 4	900	0	33.8	32.0	764.1	90	86	85	98	41	57	47	172	12.5	18.0	37.44	37.45	37.45
11		900	0	32.3	30.5	764.1	88	88	87	95	40	59	47	175	12.5	18.0	37.67	37.66	37.69
12		900	0	32.0	30.6	764.1	88	87	87	95	40	59	46	176	12.5	18.0	37.84	37.33	37.49

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	134	135.99	46.26	25.3	0.004057	315.75	1289.66	0.064580	0.0628	0.910	0.987519	0.985335	1.002217
2		3248	132	133.72	45.48	25.1	0.004025	318.59	1297.48	0.064775	0.0621	0.901	0.989059	0.987144	1.001940
3		3248	133	134.90	45.88	25.2	0.004042	317.14	1297.48	0.064775	0.0624	0.904	0.988037	0.985944	1.002123
4	step 2	2750	138	140.18	40.37	26.3	0.003407	303.83	976.78	0.056203	0.0606	0.879	0.986759	0.984442	1.002354
5		2750	138	139.96	40.30	26.0	0.003449	308.03	976.78	0.056203	0.0614	0.889	0.988106	0.986024	1.002111
6		2750	139	140.72	40.53	26.3	0.003425	304.24	976.78	0.056203	0.0609	0.883	0.989584	0.987761	1.001845
7	step 3	2900	38	38.35	11.65	18.0	0.001436	443.93	1068.69	0.058787	0.0244	0.354	0.992285	0.990934	1.001363
8		2900	38	38.30	11.63	18.2	0.001419	439.02	1070.64	0.058841	0.0241	0.349	0.993252	0.992071	1.001190
9		2900	38	38.29	11.63	18.0	0.001433	443.53	1065.76	0.058707	0.0244	0.354	0.993575	0.992451	1.001133
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	122.22	0.019881	0.0113	0.163	0.995648	0.994886	1.000766
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	122.22	0.019881	0.0112	0.162	1.000537	1.000631	0.999906
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	122.22	0.019881	0.0112	0.162	1.001521	1.001787	0.999734

ตารางที่ ๑-7 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 7 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3246	135	33.8	31.6	764.7	113	88	80	784	42	53	46	488	134.3	191.1	2.06	2.05	2.04
2		3246	135	34.4	31.1	763.9	113	88	80	781	43	57	49	487	134.3	191.1	2.04	2.05	2.07
3		3246	135	34.5	31.6	763.9	113	87	81	779	43	57	49	487	134.3	191.1	2.04	2.05	2.05
4	step 2	2750	140	34.6	31.5	763.9	110	88	80	728	43	58	47	458	100.1	141.4	2.45	2.45	2.45
5		2750	140	33.9	32.1	764.4	110	88	80	725	43	58	47	458	100.1	141.4	2.47	2.46	2.46
6		2750	141	33.9	31.2	764.1	110	88	81	728	42	58	47	458	99.9	141.4	2.47	2.46	2.46
7	step 3	2901	38	33.0	30.4	764.1	104	88	85	296	41	56	49	485	110.3	155.2	6.05	6.04	6.05
8		2901	36	32.4	30.1	764.0	104	88	84	292	40	55	49	485	110.5	155.9	6.02	6.02	6.03
9		2900	37	32.0	30.2	764.0	104	88	85	293	40	55	49	486	110.5	155.9	5.99	6.00	6.01
10	step 4	900	0	31.3	28.9	763.9	89	87	86	96	39	59	47	173	13.0	18.0	36.75	36.90	37.05
11		900	0	31.0	29.0	763.8	88	88	85	94	39	58	45	176	13.0	18.0	37.49	37.38	37.37
12		900	0	31.0	28.8	763.7	88	88	87	95	38	58	44	176	12.5	18.0	37.98	37.48	37.87

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3246	135	135.57	46.08	25.0	0.004093	319.72	1313.13	0.065165	0.0628	0.910	0.996429	0.995805	1.000627
2		3246	135	136.05	46.25	25.1	0.004098	319.03	1313.13	0.065165	0.0629	0.911	0.993445	0.992298	1.001156
3		3246	135	136.10	46.26	25.0	0.004113	320.05	1313.13	0.065165	0.0631	0.915	0.993122	0.991919	1.001213
4	step 2	2750	140	141.19	40.66	26.3	0.003437	304.30	978.74	0.056259	0.0611	0.885	0.992799	0.991539	1.001271
5		2750	140	140.71	40.52	26.4	0.003408	302.81	978.74	0.056259	0.0606	0.878	0.995714	0.994964	1.000754
6		2750	141	141.78	40.83	26.6	0.003410	300.64	976.78	0.056203	0.0607	0.879	0.995323	0.994505	1.000823
7	step 3	2901	38	38.08	11.57	18.6	0.001385	431.02	1078.47	0.059056	0.0235	0.340	0.998249	0.997943	1.000307
8		2901	36	36.00	10.94	17.5	0.001388	456.88	1080.42	0.059109	0.0235	0.340	1.000079	1.000092	0.999986
9		2900	37	36.94	11.22	17.9	0.001391	446.51	1080.42	0.059109	0.0235	0.341	1.001390	1.001633	0.999757
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000226	-	127.11	0.020274	0.0111	0.161	1.003561	1.004184	0.999379
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	127.11	0.020274	0.0110	0.159	1.004419	1.005192	0.999231
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000220	-	122.22	0.019881	0.0111	0.161	1.004287	1.005038	0.999253

ตารางที่ ๑-8 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 8 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3246	137	32.0	29.8	763.2	113	88	81	789	40	55	46	492	134.5	191.2	2.05	2.06	2.06
2		3247	136	32.8	30.4	763.3	113	88	80	783	41	56	47	492	134.1	190.6	2.06	2.07	2.07
3		3247	135	33.0	30.8	763.2	113	88	80	786	42	56	47	490	133.9	190.6	2.05	2.06	2.06
4	step 2	2750	141	32.9	30.7	763.2	110	88	81	731	42	57	47	465	99.9	141.2	2.45	2.46	2.47
5		2750	140	32.0	30.4	763.1	110	87	81	729	42	57	47	464	99.5	141.0	2.46	2.46	2.46
6		2750	142	31.8	29.6	763.0	110	87	81	731	42	57	47	463	99.5	140.5	2.46	2.46	2.47
7	step 3	2900	37	31.4	29.5	763.0	104	87	85	296	40	55	49	488	109.3	155.2	6.07	6.06	6.05
8		2900	38	30.6	28.3	763.0	104	87	85	296	40	51	47	489	109.3	155.2	6.01	6.03	5.97
9		2900	38	30.5	28.6	763.0	104	87	84	295	39	50	46	488	109.3	155.2	5.93	5.93	5.96
10	step 4	900	0	30.2	28.8	762.9	89	86	85	96	38	57	45	179	12.5	18.2	37.43	37.52	37.68
11		900	0	30.0	28.6	762.9	88	87	85	95	38	57	44	181	12.4	18.0	37.67	37.60	37.70
12		900	0	29.4	27.5	762.8	88	87	86	95	38	57	43	182	12.4	18.0	37.90	37.94	38.00

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3246	137	136.95	46.55	25.5	0.004063	314.25	1315.08	0.065213	0.0623	0.903	1.000341	1.000401	0.999940
2		3247	136	136.34	46.36	25.4	0.004054	314.79	1311.17	0.065116	0.0623	0.902	0.997856	0.997481	1.000376
3		3247	135	135.47	46.06	25.1	0.004077	318.62	1309.22	0.065068	0.0627	0.908	0.997073	0.996561	1.000514
4	step 2	2750	141	141.43	40.73	26.6	0.003407	301.16	976.78	0.056203	0.0606	0.879	0.997399	0.996944	1.000457
5		2750	140	139.97	40.31	26.4	0.003398	303.46	972.87	0.056090	0.0606	0.878	1.000210	1.000247	0.999963
6		2750	142	141.88	40.86	26.8	0.003391	298.81	972.87	0.056090	0.0605	0.876	1.000735	1.000863	0.999872
7	step 3	2900	37	36.91	11.21	18.1	0.001377	442.14	1068.69	0.058787	0.0234	0.339	1.002049	1.002408	0.999642
8		2900	38	37.79	11.48	18.4	0.001386	434.77	1068.69	0.058787	0.0236	0.342	1.004688	1.005509	0.999184
9		2900	38	37.78	11.47	18.2	0.001400	439.43	1068.69	0.058787	0.0238	0.345	1.005019	1.005897	0.999127
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	122.22	0.019881	0.0111	0.161	1.005881	1.006910	0.998978
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	121.24	0.019801	0.0111	0.161	1.006545	1.007690	0.998863
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000218	-	121.24	0.019801	0.0110	0.160	1.008409	1.009880	0.998543

ตารางที่ ๑-9 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 9 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3247	135	31.0	29.3	762.9	113	88	81	779	41	56	47	491	133.9	183.0	2.04	2.03	2.01
2		3246	136	30.8	28.6	763.0	113	88	81	778	41	56	48	490	133.5	190.2	2.06	2.05	2.07
3		3245	136	31.0	28.8	763.1	114	88	81	778	41	56	48	492	133.5	190.2	2.09	2.04	2.05
4	step 2	2750	141	31.4	29.8	763.1	110	88	82	722	41	56	47	463	100.1	141.4	2.45	2.44	2.45
5		2750	141	30.8	28.7	763.1	110	88	81	724	41	56	47	462	99.9	141.4	2.41	2.46	2.45
6		2750	141	30.6	28.8	763.1	110	87	82	722	41	56	47	463	99.9	141.4	2.45	2.45	2.44
7	step 3	2900	36	30.4	28.7	763.2	104	87	84	291	39	53	50	488	109.9	156.0	6.03	6.05	6.08
8		2900	35	30.2	28.7	763.2	104	87	84	290	38	53	50	486	109.9	156.0	6.22	6.13	6.19
9		2900	34	30.2	28.4	763.2	103	87	85	291	38	53	51	487	109.9	156.0	6.11	6.16	6.13
10	step 4	900	0	29.9	29.2	763.5	88	87	86	96	37	57	45	178	12.3	17.8	36.35	36.25	36.39
11		900	0	29.9	29.2	763.5	88	87	86	96	37	57	45	178	13.3	17.8	36.35	36.25	36.39
12		900	0	29.9	29.2	763.5	88	87	86	96	37	57	45	178	14.3	17.8	36.35	36.25	36.39

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3247	135	134.49	45.73	24.7	0.004112	323.69	1309.22	0.065068	0.0632	0.916	1.003235	1.003802	0.999436
2		3246	136	135.36	46.01	25.3	0.004042	316.25	1305.31	0.064970	0.0622	0.902	1.004027	1.004732	0.999299
3		3245	136	135.44	46.03	25.3	0.004044	316.32	1305.31	0.064970	0.0622	0.902	1.003498	1.004111	0.999390
4	step 2	2750	141	140.64	40.50	26.4	0.003409	303.05	978.74	0.056259	0.0606	0.878	1.002180	1.002562	0.999619
5		2750	141	140.31	40.41	26.3	0.003412	303.99	976.78	0.056203	0.0607	0.880	1.004159	1.004887	0.999276
6		2750	141	140.21	40.38	26.4	0.003401	303.19	976.78	0.056203	0.0605	0.877	1.004820	1.005663	0.999161
7	step 3	2900	36	35.76	10.86	17.6	0.001373	455.21	1074.56	0.058949	0.0233	0.338	1.005614	1.006596	0.999024
8		2900	35	34.74	10.55	17.4	0.001344	458.67	1074.56	0.058949	0.0228	0.331	1.006277	1.007375	0.998910
9		2900	34	33.75	10.25	16.8	0.001355	475.75	1074.56	0.058949	0.0230	0.333	1.006277	1.007375	0.998910
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000228	-	120.26	0.019721	0.0116	0.168	1.007669	1.009011	0.998670
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000228	-	130.04	0.020507	0.0111	0.161	1.007669	1.009011	0.998670
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000228	-	139.82	0.021264	0.0107	0.156	1.007669	1.009011	0.998670

ตารางที่ ๑ -10 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วิจัยการทดสอบที่ 10 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	132	32.4	29.2	761.1	110	87	82	801	39	54	47	506	134.3	190.4	2.25	2.26	2.29
2		3247	132	33.0	30.0	760.9	110	88	81	802	41	55	47	504	133.8	190.2	2.41	2.40	2.38
3		3247	133	33.4	30.2	760.9	110	88	81	800	41	57	48	503	133.8	189.8	2.21	2.24	2.25
4	step 2	2751	134	33.0	30.4	760.9	107	88	81	742	42	58	48	476	99.4	141.0	2.84	2.84	2.86
5		2751	138	33.6	31.0	760.7	107	88	81	741	41	58	48	476	99.5	141.0	2.96	3.03	3.00
6		2751	135	33.3	30.9	760.8	108	87	81	743	41	58	48	475	100.1	141.4	2.73	2.70	2.67
7	step 3	2900	30	32.7	30.1	760.8	102	88	84	301	40	55	50	499	111.9	156.2	6.67	6.63	6.68
8		2900	37	32.4	30.0	760.7	101	87	83	294	39	55	50	500	111.5	156.0	6.59	6.57	6.54
9		2900	35	32.4	29.9	760.8	101	87	85	295	39	54	50	500	111.7	156.1	6.95	7.05	7.03
10	step 4	900	0	32.0	30.0	760.8	89	87	85	100	39	59	47	174	12.9	18.0	47.35	47.53	47.01
11		900	0	31.8	29.8	760.8	87	87	86	96	39	59	46	179	12.9	18.0	48.62	46.57	45.34
12		900	0	31.8	29.8	760.8	87	87	86	96	39	59	46	179	12.9	18.0	48.62	46.57	45.34

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	132	132.58	45.09	27.1	0.003702	295.54	1313.13	0.065165	0.0568	0.823	0.996283	0.995632	1.000653
2		3247	132	132.93	45.20	28.6	0.003509	279.49	1308.24	0.065043	0.0539	0.782	0.994069	0.993031	1.001045
3		3247	133	134.14	45.61	26.9	0.003771	297.60	1308.24	0.065043	0.0580	0.840	0.992772	0.991507	1.001276
4	step 2	2751	134	134.94	38.87	29.3	0.002954	273.59	971.89	0.056062	0.0527	0.764	0.994069	0.993031	1.001045
5		2751	138	139.33	40.14	31.7	0.002813	252.26	972.87	0.056090	0.0501	0.727	0.991864	0.990440	1.001438
6		2751	135	136.13	39.22	28.0	0.003118	286.26	978.74	0.056259	0.0554	0.803	0.992965	0.991734	1.001241
7	step 3	2900	30	30.18	9.17	16.1	0.001262	495.56	1094.11	0.059483	0.0212	0.307	0.994913	0.994023	1.000896
8		2900	37	37.19	11.29	19.6	0.001279	407.58	1090.20	0.059376	0.0215	0.312	0.995759	0.995017	1.000746
9		2900	35	35.17	10.68	19.8	0.001198	403.63	1092.16	0.059429	0.0202	0.292	0.995890	0.995171	1.000723
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000177	-	126.13	0.020196	0.0088	0.127	0.997195	0.996704	1.000492
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000179	-	126.13	0.020196	0.0089	0.128	0.997849	0.997473	1.000377
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000179	-	126.13	0.020196	0.0089	0.128	0.997849	0.997473	1.000377

ตารางที่ จ-11 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 11 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	133	33.0	30.4	761.0	111	88	81	792	41	57	46	503	133.5	189.8	2.19	2.21	2.22
2		3250	134	33.8	31.6	761.2	111	87	81	791	42	57	46	502	133.7	189.2	2.20	2.21	2.21
3		3250	133	34.8	31.8	761.2	111	88	81	791	42	58	47	500	133.5	189.2	2.19	2.19	2.20
4	step 2	2750	140	34.2	31.6	761.6	108	87	81	729	42	58	47	476	99.9	141.2	2.60	2.59	2.61
5		2750	140	33.6	31.2	761.8	108	87	81	728	42	58	47	475	99.9	141.0	2.63	2.62	2.64
6		2750	140	33.8	31.2	762.1	108	87	81	728	42	58	48	475	99.9	141.0	2.66	2.64	2.62
7	step 3	2900	36	32.8	31.3	762.3	103	88	84	294	48	56	51	499	109.3	155.0	6.48	6.50	6.52
8		2900	36	31.0	30.2	762.6	103	88	84	294	40	55	51	498	109.3	155.0	6.34	6.34	6.36
9		2900	35	32.2	30.1	762.6	103	87	85	293	39	55	51	498	109.3	155.0	6.33	6.34	6.38
10	step 4	943	0	31.7	29.5	762.7	89	88	87	99	39	60	49	174	13.7	17.6	39.88	39.84	40.01
11		944	0	30.2	29.0	762.8	87	86	85	95	39	60	46	179	12.7	17.6	40.69	40.73	40.81
12		947	0	30.8	28.6	762.9	87	87	87	96	38	59	45	179	12.7	17.6	40.10	40.12	40.27

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	133	133.91	45.58	26.6	0.003811	301.00	1305.31	0.064970	0.0587	0.850	0.994199	0.993184	1.001022
2		3250	134	135.29	46.05	26.8	0.003820	298.63	1307.26	0.065019	0.0587	0.851	0.991869	0.990446	1.001437
3		3250	133	134.80	45.88	26.5	0.003855	302.53	1305.31	0.064970	0.0593	0.860	0.988648	0.986661	1.002013
4	step 2	2750	140	141.48	40.74	27.9	0.003244	286.66	976.78	0.056203	0.0577	0.837	0.991098	0.989541	1.001574
5		2750	140	141.11	40.64	28.2	0.003200	283.50	976.78	0.056203	0.0569	0.825	0.993298	0.992125	1.001182
6		2750	140	141.15	40.65	28.3	0.003189	282.41	976.78	0.056203	0.0567	0.822	0.993042	0.991824	1.001228
7	step 3	2900	36	36.15	10.98	18.9	0.001291	423.26	1068.69	0.058787	0.0220	0.318	0.996549	0.995945	1.000606
8		2900	36	35.88	10.90	18.4	0.001313	433.96	1068.69	0.058787	0.0223	0.324	1.002841	1.003338	0.999504
9		2900	35	35.05	10.64	18.0	0.001318	445.82	1068.69	0.058787	0.0224	0.325	0.998900	0.998707	1.000193
10	step 4	943	0	0.00	0.00	-	0.000209	-	133.95	0.020813	0.0101	0.146	1.000669	1.000787	0.999883
11		944	0	0.00	0.00	-	0.000204	-	124.18	0.020039	0.0102	0.148	1.005749	1.006755	0.999001
12		947	0	0.00	0.00	-	0.000207	-	124.18	0.020039	0.0103	0.150	1.003896	1.004577	0.999321

ตารางที่ ๑-12 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 12 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)		
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	135	32.5	30.2	763.1	112	87	81	795	40	57	47	497	134.1	189.4	2.13	2.12	2.14
2		3248	135	33.8	30.0	763.4	113	87	81	786	41	57	48	495	135.2	189.0	2.15	2.15	2.16
3		3248	133	34.5	31.6	763.7	113	87	81	786	42	58	49	495	133.7	189.2	2.09	2.09	2.09
4	step 2	2750	140	33.7	31.6	764.0	110	87	81	726	42	58	48	474	100.3	141.6	2.51	2.55	2.55
5		2750	140	33.6	31.4	764.0	110	88	81	725	41	58	48	473	100.3	141.6	2.62	2.63	2.66
6		2750	140	33.0	31.1	764.0	110	88	81	724	41	58	48	473	100.3	141.6	2.64	2.65	2.66
7	step 3	2900	35	32.5	30.4	763.9	104	88	84	294	40	55	51	493	110.3	154.8	6.40	6.48	6.58
8		2900	34	31.9	29.6	763.8	104	88	84	293	39	54	50	493	110.3	154.8	6.52	6.60	6.64
9		2900	35	31.5	29.4	763.8	104	88	85	294	39	55	51	493	110.3	155.0	6.55	6.58	6.59
10	step 4	900	0	31.2	29.2	763.6	89	88	87	101	39	59	49	175	12.7	18.0	38.49	38.66	38.72
11		900	0	30.8	29.2	763.5	87	86	86	96	38	59	46	180	12.7	18.0	39.66	39.27	38.94
12		900	0	31.0	29.2	763.5	87	87	86	96	38	59	46	180	12.7	18.0	39.40	39.85	39.91

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	135	135.23	45.99	26.0	0.003930	307.64	1311.17	0.065116	0.0604	0.875	0.998574	0.998324	1.000250
2		3248	135	135.84	46.20	26.3	0.003903	304.10	1321.93	0.065383	0.0597	0.865	0.994735	0.993814	1.000927
3		3248	133	134.12	45.62	25.2	0.004029	317.92	1307.26	0.065019	0.0620	0.898	0.992862	0.991613	1.001260
4	step 2	2750	140	140.69	40.52	27.2	0.003309	294.06	980.69	0.056315	0.0588	0.852	0.995842	0.995114	1.000731
5		2750	140	140.63	40.50	28.3	0.003183	282.93	980.69	0.056315	0.0565	0.819	0.996166	0.995495	1.000674
6		2750	140	140.31	40.41	28.4	0.003161	281.60	980.69	0.056315	0.0561	0.813	0.998119	0.997789	1.000330
7	step 3	2900	35	35.02	10.63	18.3	0.001289	436.48	1078.47	0.059056	0.0218	0.316	0.999621	0.999554	1.000066
8		2900	34	33.94	10.31	18.1	0.001267	442.64	1078.47	0.059056	0.0215	0.311	1.001456	1.001710	0.999746
9		2900	35	34.89	10.59	18.6	0.001268	430.96	1078.47	0.059056	0.0215	0.311	1.002770	1.003255	0.999517
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000216	-	124.18	0.020039	0.0108	0.156	1.003496	1.004108	0.999391
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000212	-	124.18	0.020039	0.0106	0.153	1.004685	1.005505	0.999185
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000210	-	124.18	0.020039	0.0105	0.152	1.004024	1.004729	0.999299

ตารางที่ จ-13 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วิจัยการทดสอบที่ 13 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	135	31.8	30.2	763.4	113	87	81	800	40	56	47	495	134.1	189.0	2.18	2.22	2.19
2		3248	133	32.8	31.0	763.2	113	88	80	790	41	57	48	496	133.7	189.0	2.17	2.19	2.21
3		3248	134	32.8	31.0	763.0	113	87	81	787	41	57	49	493	133.5	188.4	2.06	2.07	2.08
4	step 2	2750	140	32.3	30.2	762.6	110	87	81	732	41	57	48	468	100.3	141.0	2.48	2.48	2.49
5		2750	140	32.0	30.0	762.4	110	87	81	731	41	57	47	468	100.3	141.0	2.48	2.49	2.49
6		2750	140	31.6	29.8	762.3	110	87	81	730	41	57	47	469	100.3	141.0	2.46	2.46	2.48
7	step 3	2900	36	31.2	29.2	762.2	104	88	83	295	39	54	50	490	109.3	154.6	6.20	6.21	6.23
8		2900	36	31.0	29.2	762.1	104	87	83	295	39	54	50	490	109.3	154.6	6.17	6.17	6.21
9		2900	35	30.7	28.8	762.0	104	87	83	294	38	53	50	490	109.3	154.6	6.21	6.24	6.26
10	step 4	900	0	30.6	29.7	761.9	89	88	87	99	38	58	48	175	12.5	18.0	38.18	38.19	38.28
11		900	0	30.5	29.5	761.9	87	87	86	96	38	58	45	181	12.5	17.9	38.54	38.61	38.65
12		900	0	30.4	28.7	761.8	88	88	87	97	38	57	44	179	12.5	17.9	38.70	38.71	38.74

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	135	134.80	45.85	26.8	0.003801	298.44	1311.17	0.065116	0.0584	0.846	1.001259	1.001480	0.999780
2		3248	133	133.36	45.36	26.4	0.003826	303.67	1307.26	0.065019	0.0588	0.853	0.997725	0.997327	1.000399
3		3248	134	134.40	45.71	25.1	0.004049	318.86	1305.31	0.064970	0.0623	0.903	0.997464	0.997020	1.000445
4	step 2	2750	140	140.24	40.38	26.6	0.003371	300.52	980.69	0.056315	0.0599	0.868	0.998573	0.998323	1.000250
5		2750	140	140.12	40.35	26.7	0.003364	300.16	980.69	0.056315	0.0597	0.866	0.999292	0.999169	1.000124
6		2750	140	139.92	40.29	26.4	0.003388	302.65	980.69	0.056315	0.0602	0.872	1.000473	1.000556	0.999917
7	step 3	2900	36	35.93	10.91	18.1	0.001343	443.18	1068.69	0.058787	0.0228	0.331	1.001656	1.001946	0.999711
8		2900	36	35.91	10.90	18.0	0.001349	445.37	1068.69	0.058787	0.0229	0.333	1.002183	1.002566	0.999619
9		2900	35	34.88	10.59	17.6	0.001336	454.25	1068.69	0.058787	0.0227	0.329	1.003041	1.003574	0.999470
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000218	-	122.22	0.019881	0.0110	0.159	1.003240	1.003807	0.999435
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000216	-	122.22	0.019881	0.0109	0.157	1.003570	1.004195	0.999378
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000215	-	122.22	0.019881	0.0108	0.157	1.003769	1.004429	0.999343

ตารางที่ จ-14 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 14 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3247	135	31.2	29.1	761.5	113	87	80	793	40	55	47	464	133.7	188.2	2.14	2.14	2.16
2		3246	134	30.4	29.4	761.5	113	87	81	791	40	56	47	461	134.0	188.2	2.22	2.24	2.23
3		3246	134	0.0	0.0	761.5	114	87	81	791	40	0	47	461	0.0	0.0	2.13	2.13	2.13
4	step 2	2750	140	31.4	29.6	761.5	110	87	81	727	40	57	47	467	99.9	140.6	2.52	2.54	2.52
5		2750	139	31.6	29.8	761.6	110	87	80	726	40	57	47	467	99.9	140.2	2.58	2.56	2.54
6		2750	140	31.4	29.6	761.6	110	87	81	725	40	57	47	467	99.9	140.2	2.58	2.56	2.54
7	step 3	2899	36	31.0	29.8	761.8	104	87	84	296	39	54	49	490	109.1	154.2	6.25	6.24	6.26
8		2904	36	30.8	29.3	761.8	104	87	84	294	38	53	49	488	109.0	154.2	6.26	6.32	6.22
9		2900	36	30.8	29.0	761.8	104	87	84	295	38	54	49	488	109.0	154.2	6.23	6.31	6.31
10	step 4	929	0	30.2	28.2	761.8	90	86	85	98	37	58	46	476	12.4	17.5	37.89	37.84	38.23
11		932	0	29.8	28.0	761.8	88	87	85	96	37	58	44	179	12.4	17.4	38.29	38.23	38.58
12		934	0	29.8	28.6	761.9	88	87	86	96	37	58	44	179	12.6	17.6	38.81	39.15	38.58

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3247	135	134.88	45.86	26.2	0.003892	305.46	1307.26	0.065019	0.0599	0.867	1.000736	1.000865	0.999871
2		3246	134	133.47	45.37	27.0	0.003736	296.47	1310.20	0.065092	0.0574	0.832	1.003374	1.003964	0.999412
3		3246	134	118.04	40.13	25.3	0.003520	315.80	0.00	0.000000	#DIV/0!	#DIV/0!	1.115043	1.135176	0.982265
4	step 2	2750	140	139.99	40.31	27.1	0.003308	295.45	976.78	0.056203	0.0589	0.853	1.000079	1.000093	0.999986
5		2750	139	139.07	40.05	27.3	0.003267	293.67	976.78	0.056203	0.0581	0.842	0.999554	0.999476	1.000078
6		2750	140	139.97	40.31	27.4	0.003265	291.61	976.78	0.056203	0.0581	0.842	1.000210	1.000247	0.999963
7	step 3	2899	36	35.92	10.91	18.2	0.001335	440.74	1066.73	0.058734	0.0227	0.329	1.001789	1.002102	0.999688
8		2904	36	35.90	10.92	18.2	0.001331	438.86	1065.76	0.058707	0.0227	0.329	1.002448	1.002877	0.999573
9		2900	36	35.90	10.90	18.3	0.001327	438.30	1065.76	0.058707	0.0226	0.328	1.002448	1.002877	0.999573
10	step 4	929	0	0.00	0.00	-	0.000219	-	121.24	0.019801	0.0111	0.160	1.004431	1.005206	0.999229
11		932	0	0.00	0.00	-	0.000217	-	121.24	0.019801	0.0109	0.159	1.005757	1.006765	0.998999
12		934	0	0.00	0.00	-	0.000214	-	123.20	0.019960	0.0107	0.155	1.005889	1.006920	0.998976

ตารางที่ จ-15 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 15 เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)		
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	136	31.0	28.2	761.5	111	88	81	779	40	56	46	509	134.3	189.4	2.08	2.08	2.08
2		3250	135	33.0	29.4	761.1	111	88	80	775	41	57	48	507	133.7	188.6	2.08	2.08	2.08
3		3250	135	33.8	30.4	761.0	112	88	80	773	42	58	48	506	133.7	188.0	2.08	2.10	2.09
4	step 2	2751	140	34.0	31.2	760.9	108	88	80	720	42	59	48	476	100.2	139.8	2.51	2.50	2.50
5		2751	140	34.1	30.6	760.8	108	88	80	720	42	59	48	476	100.1	139.8	2.48	2.49	2.51
6		2751	139	33.9	30.8	760.7	108	87	80	723	42	59	48	475	100.1	139.8	2.50	2.51	2.51
7	step 3	2901	38	32.6	29.8	70.6	102	87	84	301	42	57	52	500	109.1	153.4	5.99	5.99	5.98
8		2902	37	32.3	30.2	760.5	102	88	84	298	41	56	52	500	109.1	153.8	5.96	5.96	5.93
9		2901	37	32.2	30.3	760.5	102	87	85	288	41	56	52	499	109.1	153.6	6.00	6.01	5.96
10	step 4	936	3	31.7	29.6	760.4	88	88	87	100	40	60	49	174	11.3	16.8	38.36	38.29	38.30
11		941	2	31.3	29.6	760.3	87	88	85	96	40	57	44	178	11.3	16.8	38.71	38.59	38.62
12		939	3	31.2	29.0	760.3	86	87	87	97	39	59	45	179	11.4	16.8	38.65	38.34	38.52

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (kW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	136	135.78	46.21	25.6	0.004014	312.68	1313.13	0.065165	0.0616	0.893	1.001394	1.001638	0.999756
2		3250	135	135.91	46.25	25.4	0.004042	314.61	1307.26	0.065019	0.0622	0.901	0.994330	0.993338	1.000999
3		3250	135	136.34	46.40	25.6	0.004034	312.95	1307.26	0.065019	0.0620	0.899	0.991608	0.990140	1.001483
4	step 2	2751	140	141.52	40.77	26.9	0.003370	297.60	979.71	0.056287	0.0599	0.868	0.990832	0.989228	1.001622
5		2751	140	141.60	40.79	26.8	0.003386	298.77	978.74	0.056259	0.0602	0.872	0.990380	0.988696	1.001703
6		2751	139	140.50	40.48	26.7	0.003366	299.35	978.74	0.056259	0.0598	0.867	0.990894	0.989301	1.001611
7	step 3	2901	38	-571.58	-173.64	-25.5	0.015120	-313.48	1066.73	0.058734	0.2574	3.731	0.092355	-0.066483	-1.389162
8		2902	37	37.18	11.30	17.8	0.001411	449.52	1066.73	0.058734	0.0240	0.348	0.995823	0.995092	1.000735
9		2901	37	37.17	11.29	17.9	0.001401	446.69	1066.73	0.058734	0.0239	0.346	0.996149	0.995475	1.000677
10	step 4	936	3	3.01	0.29	-	0.000219	-	110.49	0.018902	0.0116	0.168	0.997652	0.997241	1.000412
11		941	2	2.00	0.20	-	0.000217	-	110.49	0.018902	0.0115	0.166	0.998831	0.998627	1.000205
12		939	3	3.00	0.30	-	0.000217	-	111.46	0.018986	0.0114	0.166	0.999159	0.999012	1.000147

ตารางที่ จ-16 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 16 เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	135	32.4	29.7	760.2	112	88	80	775	41	57	48	503	134.2	188.4	2.10	2.10	2.10
2		3249	135	32.9	30.2	760.6	112	87	81	774	42	58	48	502	133.7	188.0	2.09	2.09	2.09
3		3249	135	33.2	30.9	760.7	112	88	80	772	43	59	49	502	133.7	188.0	2.06	2.06	2.06
4	step 2	2750	140	31.2	29.6	761.7	106	86	80	714	40	52	42	489	100.6	140.0	2.61	2.60	2.61
5		2751	139	32.0	29.8	762.1	109	87	81	719	41	57	47	480	100.5	139.8	2.62	2.63	2.63
6		2750	140	32.5	30.8	762.5	109	87	81	721	41	58	47	480	100.5	140.0	2.60	2.61	2.62
7	step 3	2900	39	31.9	29.8	762.5	104	87	84	302	40	55	50	504	109.1	153.2	6.21	6.21	6.20
8		2900	38	32.0	29.8	762.6	104	87	83	302	40	55	50	504	109.5	153.4	6.21	6.21	6.20
9		2900	38	31.4	29.6	762.7	104	87	85	0	39	54	49	504	109.7	153.8	6.23	6.22	6.18
10	step 4	900	0	30.8	29.1	763.1	89	86	84	99	39	59	47	177	13.0	17.6	38.98	38.87	38.75
11		900	0	29.6	28.5	763.4	87	88	86	96	38	58	44	180	13.1	17.6	38.78	38.50	38.35
12		900	0	28.9	27.8	763.7	87	86	85	95	37	58	42	182	13.1	17.6	38.74	39.02	39.23

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	135	135.78	46.21	25.7	0.004001	311.65	1312.15	0.065140	0.0614	0.890	0.995104	0.994248	1.000862
2		3249	135	135.96	46.26	25.6	0.004024	313.18	1307.26	0.065019	0.0619	0.897	0.994001	0.992952	1.001057
3		3249	135	136.09	46.30	25.2	0.004086	317.69	1307.26	0.065019	0.0628	0.911	0.993159	0.991961	1.001207
4	step 2	2750	140	139.84	40.27	27.9	0.003204	286.42	983.62	0.056399	0.0568	0.823	1.000999	1.001174	0.999825
5		2751	139	139.18	40.10	28.0	0.003186	286.08	982.65	0.056371	0.0565	0.819	0.998899	0.998707	1.000193
6		2750	140	140.36	40.42	28.0	0.003210	285.90	982.65	0.056371	0.0569	0.825	0.997789	0.997402	1.000388
7	step 3	2900	39	39.01	11.85	19.5	0.001347	409.39	1066.73	0.058734	0.0229	0.332	0.999751	0.999708	1.000044
8		2900	38	38.02	11.55	19.0	0.001348	420.15	1070.64	0.058841	0.0229	0.332	0.999555	0.999477	1.000078
9		2900	38	37.93	11.52	19.1	0.001344	420.08	1072.60	0.058895	0.0228	0.331	1.001655	1.001945	0.999711
10	step 4	900	0	2.99	0.28	-	0.000214	-	127.11	0.020274	0.0106	0.153	1.004159	1.004887	0.999276
11		900	0	2.97	0.28	-	0.000215	-	128.09	0.020352	0.0106	0.153	1.008535	1.010029	0.998521
12		900	0	2.96	0.28	-	0.000212	-	128.09	0.020352	0.0104	0.151	1.011270	1.013242	0.998054

ตารางที่ จ-17 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 17 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3249	136	29.5	28.2	763.4	112	88	81	776	39	54	46	502	135.5	190.4	2.10	2.11	2.12
2		3248	135	29.8	28.8	763.7	113	88	80	778	40	55	46	501	135.1	190.2	2.09	2.08	2.09
3		3248	137	28.4	27.3	764.5	110	87	81	760	36	51	43	507	136.4	191.0	2.04	2.06	2.06
4	step 2	2750	141	28.7	27.6	764.3	109	87	81	724	37	54	43	474	100.4	140.2	2.46	2.47	2.46
5		2750	142	29.5	28.1	764.2	110	88	80	727	38	54	43	473	100.3	140.0	2.41	2.42	2.42
6		2750	140	29.8	28.8	764.2	110	88	80	727	39	55	44	473	100.2	140.0	2.41	2.42	2.44
7	step 3	2900	39	29.7	28.5	764.2	104	87	85	301	38	52	46	497	109.6	153.6	5.83	5.81	5.84
8		2901	39	29.5	28.4	764.0	104	87	85	301	37	52	46	496	109.7	153.8	5.80	5.81	5.84
9		2900	39	29.6	28.6	764.0	104	87	85	300	37	52	46	497	109.7	153.8	5.86	5.86	5.85
10	step 4	900	0	28.8	27.9	763.9	88	88	85	100	36	57	43	178	13.4	18.0	37.91	37.93	37.68
11		900	0	28.5	27.4	763.9	87	86	85	97	36	56	41	183	13.2	17.6	37.51	37.58	37.62
12		900	0	28.3	27.2	763.9	87	86	86	97	36	56	41	183	13.3	17.7	38.05	38.09	37.99

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3249	136	134.60	45.79	25.9	0.003927	308.73	1324.86	0.065455	0.0600	0.870	1.008868	1.010420	0.998464
2		3248	135	133.70	45.48	25.4	0.003974	314.56	1320.95	0.065359	0.0608	0.881	1.008266	1.009712	0.998567
3		3248	137	134.78	45.84	25.4	0.004015	315.31	1333.66	0.065672	0.0611	0.886	1.014008	1.016459	0.997588
4	step 2	2750	141	138.92	40.01	26.5	0.003351	301.55	981.67	0.056343	0.0595	0.862	1.012735	1.014963	0.997804
5		2750	142	140.36	40.42	26.2	0.003425	305.06	980.69	0.056315	0.0608	0.882	1.009926	1.011663	0.998283
6		2750	140	138.55	39.90	25.9	0.003419	308.52	979.71	0.056287	0.0607	0.880	1.008926	1.010488	0.998454
7	step 3	2900	39	38.58	11.72	18.3	0.001422	436.81	1071.62	0.058868	0.0241	0.350	1.009259	1.010879	0.998397
8		2901	39	38.56	11.71	18.3	0.001423	437.44	1072.60	0.058895	0.0242	0.350	1.009661	1.011352	0.998328
9		2900	39	38.58	11.72	18.4	0.001414	434.58	1072.60	0.058895	0.0240	0.348	1.009328	1.010960	0.998385
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000218	-	131.02	0.020584	0.0106	0.154	1.011870	1.013947	0.997951
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000220	-	129.06	0.020430	0.0108	0.156	1.012876	1.015129	0.997780
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000217	-	130.04	0.020507	0.0106	0.153	1.013548	1.015919	0.997666

ตารางที่ จ-18 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 18 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	135	29.2	27.7	763.8	113	88	80	778	38	53	45	498	135.1	189.4	2.04	2.04	2.04
2		3249	134	30.0	28.8	763.6	114	87	80	785	39	54	46	496	134.7	189.0	2.10	2.11	2.12
3		3249	132	30.0	29.0	763.5	114	88	81	788	40	54	46	495	134.7	189.0	2.07	2.07	2.07
4	step 2	2750	135	30.5	28.8	763.6	110	88	81	733	39	55	45	476	100.6	141.0	2.58	2.60	2.59
5		2751	138	29.8	28.4	763.3	110	87	81	739	39	55	45	476	100.6	141.0	2.51	2.52	2.53
6		2750	138	29.8	28.4	763.0	110	88	80	732	39	55	44	474	100.6	140.6	2.50	2.51	2.51
7	step 3	2900	40	29.4	28.1	762.9	104	87	85	307	38	52	47	494	109.7	153.8	6.08	6.09	6.06
8		2900	39	29.0	27.9	762.9	104	87	83	304	37	52	47	495	109.7	154.2	5.92	5.93	5.91
9		2900	40	28.6	27.4	762.9	104	87	84	305	36	55	46	497	109.8	154.2	6.08	6.10	6.08
10	step 4	900	0	28.4	27.6	763.0	89	87	85	100	36	57	43	179	13.2	18.0	39.35	39.01	38.58
11		900	0	28.3	27.4	762.9	87	87	86	97	36	56	41	182	13.2	17.6	40.10	39.53	39.14
12		900	0	28.3	27.4	762.9	87	87	86	97	36	56	41	182	13.2	17.6	40.10	39.53	39.14

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	135	133.37	45.36	24.9	0.004056	321.87	189.40	0.024749	0.1639	2.375	1.010399	1.012218	0.998202
2		3249	134	132.83	45.19	25.5	0.003933	313.26	189.00	0.024722	0.1591	2.305	1.007468	1.008775	0.998704
3		3249	132	130.87	44.53	24.7	0.004009	324.15	189.00	0.024722	0.1622	2.350	1.007336	1.008620	0.998727
4	step 2	2750	135	134.08	38.61	26.7	0.003209	299.19	141.00	0.021353	0.1503	2.178	1.005809	1.006826	0.998990
5		2751	138	136.76	39.40	26.6	0.003292	300.81	141.00	0.021353	0.1542	2.234	1.007737	1.009091	0.998658
6		2750	138	136.82	39.40	26.5	0.003311	302.50	140.60	0.021323	0.1553	2.250	1.007341	1.008626	0.998726
7	step 3	2900	40	39.60	12.03	19.6	0.001364	408.32	153.80	0.022302	0.0612	0.886	1.008541	1.010036	0.998520
8		2900	39	38.55	11.71	18.6	0.001398	429.97	154.20	0.022331	0.0626	0.908	1.009876	1.011604	0.998292
9		2900	40	39.48	11.99	19.6	0.001358	407.84	154.20	0.022331	0.0608	0.882	1.011215	1.013177	0.998063
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000212	-	18.00	0.007629	0.0278	0.403	1.012018	1.014121	0.997926
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000209	-	17.60	0.007544	0.0277	0.401	1.012221	1.014360	0.997892
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000209	-	17.60	0.007544	0.0000	0.000	1.012221	1.014360	0.997892

ตารางที่ ๑ -19 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 19 เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	136	28.8	27.6	762.4	114	87	81	778	38	53	43	496	134.5	189.0	2.04	2.04	2.03
2		3247	135	29.6	28.6	762.4	114	87	81	781	39	54	45	495	133.5	189.0	2.05	2.04	2.05
3		3248	137	30.2	29.2	762.5	114	88	81	779	39	51	43	495	133.5	188.6	2.04	2.05	2.05
4	step 2	2750	138	30.3	28.6	762.5	110	87	81	724	39	55	45	472	100.4	139.2	2.30	2.29	2.34
5		2750	136	30.2	28.8	762.6	110	88	81	733	39	51	42	473	100.4	139.2	2.15	2.16	2.20
6		2750	135	30.2	28.9	762.9	110	88	80	735	39	51	42	472	100.4	139.1	2.24	2.22	2.21
7	step 3	2900	38	29.8	28.6	763.0	104	87	83	304	38	52	47	490	112.3	155.2	6.22	6.23	6.10
8		2900	38	29.4	28.2	763.0	104	87	83	303	37	49	45	491	112.3	155.4	5.92	5.93	5.90
9		2900	38	29.2	28.0	763.1	104	88	84	301	37	52	47	491	112.3	155.4	5.93	6.03	5.95
10	step 4	900	0	28.8	27.8	763.1	90	86	85	99	36	53	42	178	13.0	17.6	39.57	38.33	39.71
11		900	0	28.5	27.4	763.3	89	88	87	98	36	53	42	179	13.0	17.6	37.30	37.30	37.33
12		900	0	28.5	27.4	763.5	89	87	84	97	36	56	41	180	13.0	17.6	37.35	37.26	37.63

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	136	134.44	45.73	25.0	0.004065	320.00	189.40	0.024749	0.1642	2.380	1.009883	1.011612	0.998290
2		3247	135	133.87	45.52	25.0	0.004055	320.75	189.40	0.024749	0.1639	2.375	1.007214	1.008477	0.998748
3		3248	137	136.14	46.31	25.3	0.004063	315.86	189.40	0.024749	0.1642	2.379	1.005354	1.006291	0.999069
4	step 2	2750	138	137.19	39.51	24.4	0.003601	328.12	189.40	0.024749	0.1455	2.109	1.005022	1.005901	0.999126
5		2750	136	135.13	38.91	22.6	0.003832	354.46	189.40	0.024749	0.1548	2.244	1.005486	1.006446	0.999046
6		2750	135	134.07	38.61	23.0	0.003738	348.54	189.40	0.024749	0.1510	2.189	1.005881	1.006910	0.998978
7	step 3	2900	38	37.68	11.44	19.0	0.001342	422.31	189.40	0.024749	0.0542	0.786	1.007341	1.008626	0.998726
8		2900	38	37.62	11.42	18.1	0.001401	441.44	189.40	0.024749	0.0566	0.820	1.008673	1.010191	0.998498
9		2900	38	37.58	11.41	18.3	0.001387	437.56	189.40	0.024749	0.0561	0.812	1.009473	1.011130	0.998361
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000211	-	189.40	0.024749	0.0085	0.124	1.010810	1.012702	0.998132
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	189.40	0.024749	0.0089	0.130	1.012080	1.014194	0.997916
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	189.40	0.024749	0.0089	0.129	1.012346	1.014506	0.997870

ตารางที่ ๑ -20 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 20 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	135	28.2	26.3	762.9	108	88	82	789	32	47	37	503	135.9	190.6	2.04	2.04	2.04
2		3250	133	29.6	28.8	762.7	109	88	82	790	36	51	42	496	135.1	190.0	2.05	2.06	2.07
3		3250	128	31.7	29.2	762.5	109	88	82	806	38	53	44	501	134.7	189.4	2.03	2.03	2.05
4	step 2	2750	131	31.4	29.4	762.5	105	88	81	758	39	55	45	468	101.1	141.0	2.46	2.50	2.52
5		2750	135	31.1	29.4	762.3	105	88	82	775	40	55	45	475	101.1	141.0	2.66	2.67	2.68
6		2751	131	31.4	29.5	762.1	105	87	82	751	40	56	45	471	101.6	141.0	2.57	2.59	2.61
7	step 3	2900	40	30.8	29.2	761.9	101	88	85	312	39	53	48	493	111.3	155.4	6.43	6.47	6.49
8		2900	37	30.6	28.7	761.9	100	88	85	311	38	53	49	494	111.3	155.4	5.49	5.50	5.55
9		2900	37	30.7	28.7	761.9	100	88	85	306	38	53	49	494	111.1	155.4	5.55	5.54	5.57
10	step 4	900	0	30.5	28.9	761.3	88	87	85	100	38	58	46	174	12.8	17.2	39.76	40.20	39.28
11		900	0	30.4	28.4	762.0	86	87	87	97	38	58	45	179	12.8	17.2	37.24	37.28	37.58
12		900	0	30.0	28.0	762.0	86	87	86	97	37	58	44	180	12.8	17.2	36.76	36.94	36.96

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	135	133.04	45.28	24.9	0.004047	321.79	190.40	0.024814	0.1631	2.364	1.012557	1.014755	0.997834
2		3250	133	131.82	44.86	24.8	0.004028	323.19	191.40	0.024879	0.1619	2.346	1.007610	1.008942	0.998680
3		3250	128	127.94	43.54	23.6	0.004103	339.23	192.40	0.024944	0.1645	2.384	1.000407	1.000478	0.999929
4	step 2	2750	131	130.79	37.66	25.0	0.003348	320.04	194.40	0.025073	0.1335	1.935	1.001392	1.001636	0.999757
5		2750	135	134.67	38.78	27.6	0.003124	290.04	195.40	0.025137	0.1243	1.801	1.002117	1.002487	0.999630
6		2751	131	130.87	37.70	26.0	0.003225	307.95	196.40	0.025202	0.1280	1.855	1.000867	1.001019	0.999848
7	step 3	2900	40	39.88	12.11	20.9	0.001290	383.50	198.40	0.025330	0.0509	0.738	1.002580	1.003031	0.999550
8		2900	37	36.86	11.19	16.5	0.001511	486.08	199.40	0.025393	0.0595	0.863	1.003240	1.003807	0.999435
9		2900	37	36.87	11.20	16.6	0.001501	482.56	200.40	0.025457	0.0590	0.855	1.002910	1.003419	0.999493
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000210	-	202.40	0.025584	0.0082	0.119	1.002780	1.003266	0.999515
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000223	-	203.40	0.025647	0.0087	0.126	1.004033	1.004738	0.999298
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000225	-	204.40	0.025710	0.0088	0.127	1.005357	1.006295	0.999068

ตารางที่ จ-21 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 21 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	125	31.5	29.3	762.1	109	88	81	828	40	55	46	489	135.3	189.4	1.92	1.95	1.99
2		3248	126	32.2	29.6	762.0	105	88	81	-	41	55	46	493	135.1	189.4	1.87	1.95	1.91
3		3248	123	32.8	31.2	762.0	109	88	81	-	42	56	47	487	135.1	189.4	1.98	1.94	1.96
4	step 2	2750	130	33.3	31.3	762.2	105	87	81	-	42	57	47	464	101.6	141.0	2.63	2.63	2.65
5		2750	130	32.8	30.6	762.3	105	88	81	-	42	57	47	463	101.3	141.0	2.55	2.55	2.53
6		2750	131	32.8	31.6	762.5	105	88	82	-	42	57	47	463	101.3	141.0	2.57	2.57	2.56
7	step 3	2900	42	32.6	30.2	762.5	101	87	85	-	41	55	50	488	109.5	153.8	5.60	5.55	5.56
8		2900	41	31.7	30.0	762.5	101	87	85	-	39	54	49	487	109.7	153.8	5.71	5.69	5.67
9		2900	40	31.2	29.6	762.5	100	87	85	-	39	54	50	486	109.7	153.8	5.70	5.68	5.64
10	step 4	900	0	30.4	28.7	762.8	89	86	85	-	38	59	47	176	12.9	17.8	38.21	38.38	38.67
11		900	0	29.8	28.3	762.8	87	87	86	-	38	58	47	179	12.9	17.8	37.97	37.91	37.79
12		900	0	29.8	28.4	762.9	87	88	87	-	37	58	44	178	12.8	17.6	38.38	38.50	38.95

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	125	124.92	42.49	22.1	0.004278	362.43	1322.91	0.065407	0.0654	0.948	1.000539	1.000633	0.999906
2		3248	126	126.28	42.95	21.8	0.004385	367.55	1320.95	0.065359	0.0671	0.972	0.998114	0.997784	1.000331
3		3248	123	123.56	42.03	42.03	21.8	0.004282	366.78	1320.95	0.065359	0.0655	0.949	0.996157	0.995484
4	step 2	2750	130	130.80	37.67	26.3	0.003187	304.61	993.40	0.056679	0.0562	0.815	0.994792	0.993881	1.000917
5		2750	130	130.53	37.59	25.3	0.003298	315.89	990.47	0.056595	0.0583	0.845	0.996549	0.995945	1.000606
6		2750	131	131.49	37.87	37.87	25.8	0.003268	310.64	990.47	0.056595	0.0577	0.837	0.996810	0.996252
7	step 3	2900	42	42.13	12.79	18.9	0.001505	423.43	1070.64	0.058841	0.0256	0.371	0.997462	0.997018	1.000445
8		2900	41	40.98	12.45	18.8	0.001469	424.83	1072.60	0.058895	0.0249	0.361	1.000407	1.000478	0.999929
9		2900	40	39.90	12.12	12.12	18.3	0.001471	436.86	1072.60	0.058895	0.0250	0.362	1.002051	1.002409
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000216	-	126.13	0.020196	0.0107	0.155	1.005087	1.005977	0.999115
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000219	-	126.13	0.020196	0.0108	0.157	1.007077	1.008316	0.998772
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000215	-	125.15	0.020118	0.0107	0.155	1.007209	1.008471	0.998749

ตารางที่ ๑ - 22 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 22 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	132	30.7	29.2	763.5	108	88	81	0	40	54	46	487	135.5	189.8	1.95	1.95	1.95
2		3248	129	31.4	29.2	763.8	109	88	81	0	41	55	46	489	135.3	189.6	2.02	2.02	2.01
3		3248	129	31.4	29.3	763.8	109	88	81	0	41	55	46	488	135.3	189.6	1.98	1.97	1.97
4	step 2	2750	141	30.2	29.8	764.0	106	88	82	0	40	56	46	464	101.1	140.6	2.46	2.46	2.46
5		2750	140	31.0	29.1	764.5	105	88	81	0	41	56	46	460	101.1	140.4	2.46	2.46	2.45
6		2750	141	31.2	29.4	764.9	106	88	81	0	40	56	46	464	101.1	140.4	2.46	2.46	2.47
7	step 3	2900	41	30.4	28.4	764.8	101	88	84	0	39	54	49	485	109.7	153.8	5.92	5.95	6.05
8		2900	40	30.0	28.4	765.0	101	88	84	0	38	53	48	486	109.9	154.0	5.98	6.04	6.06
9		2900	40	29.8	28.2	765.0	100	88	84	0	37	53	48	485	109.9	154.0	5.96	5.97	6.06
10	step 4	900	0	29.6	27.8	765.0	89	89	86	0	37	58	45	171	13.0	17.8	38.64	38.36	38.94
11		900	0	29.4	27.8	765.0	86	87	86	0	37	57	43	177	13.0	17.8	37.78	37.94	38.16
12		900	0	29.4	28.2	765.0	86	87	86	0	37	57	43	177	13.0	17.8	37.91	37.94	38.01

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	132	131.23	44.63	23.3	0.004266	344.06	1324.86	0.065455	0.0652	0.945	1.005016	1.005894	0.999127
2		3248	129	128.53	43.72	23.5	0.004133	340.31	1322.91	0.065407	0.0632	0.916	1.003100	1.003642	0.999460
3		3248	129	128.53	43.72	43.72	23.0	0.004223	347.78	1322.91	0.065407	0.0646	0.936	1.003100	1.003642
4	step 2	2750	141	139.80	40.26	26.5	0.003374	301.68	988.51	0.056539	0.0597	0.865	1.007332	1.008615	0.998728
5		2750	140	139.13	40.07	26.3	0.003385	304.14	988.51	0.056539	0.0599	0.868	1.005339	1.006274	0.999071
6		2750	141	140.14	40.36	40.36	26.6	0.003376	301.16	988.51	0.056539	0.0597	0.865	1.005205	1.006115
7	step 3	2900	41	40.63	12.34	19.8	0.001389	405.19	1072.60	0.058895	0.0236	0.342	1.007722	1.009073	0.998661
8		2900	40	39.57	12.02	19.4	0.001374	411.76	1074.56	0.058949	0.0233	0.338	1.009315	1.010946	0.998387
9		2900	40	39.54	12.01	12.01	19.3	0.001380	413.87	1074.56	0.058949	0.0234	0.339	1.009982	1.011729
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000214	-	127.11	0.020274	0.0106	0.153	1.010649	1.012513	0.998159
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000218	-	127.11	0.020274	0.0107	0.156	1.011317	1.013298	0.998045
12		900	0	0.00	0.00	0.00	-	0.000218	-	127.11	0.020274	0.0107	0.156	1.011317	1.013298

ตารางที่ จ - 23 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 23 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)		
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water		exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	137	30.0	28.0	765.0	109	88	81	0	38	54	45	488	135.7	189.8	2.03	2.05	2.05
2		3250	138	29.4	27.8	764.9	108	88	81	0	37	53	44	495	135.9	189.2	2.07	2.06	2.08
3		3250	137	30.0	28.4	764.8	109	87	81	0	39	54	45	493	135.3	189.8	2.06	2.05	2.05
4	step 2	2750	142	30.0	28.6	764.6	106	87	81	0	38	55	44	465	100.6	140.6	2.47	2.45	2.46
5		2750	142	29.7	28.0	764.8	105	88	81	0	40	55	44	463	100.8	140.6	2.44	2.44	2.47
6		2750	142	30.2	28.5	764.2	105	88											

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ - 24 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 24 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3251	137	29.0	27.8	764.0	109	88	80	0	38	53	44	488	135.3	189.8	2.03	2.03	2.05
2		3249	137	29.7	28.3	764.0	109	87	81	0	39	54	45	489	135.1	189.9	2.10	2.11	2.10
3		3250	137	30.2	28.6	764.0	109	87	81	0	39	54	45	489	135.1	189.4	2.06	2.06	2.06
4	step 2	2750	142	29.7	28.3	764.0	106	88	81	0	39	55	44	462	100.6	140.2	2.46	2.47	2.45
5		2750	142	30.2	29.0	764.0	106	88	82	0	39	55	45	462	100.6	140.2	2.52	2.53	2.51
6		2750	142	30.2	28.8	763.8	106	88	81	0	39	55	44	462	100.6	139.9	2.46	2.47	2.51
7	step 3	2900	39	29.6	28.7	763.8	101	88	85	0	37	52	47	487	109.5	153.8	6.20	6.23	6.27
8		2900	38	29.0	28.0	763.8	101	88	85	0	37	52	47	487	109.7	153.8	6.20	6.23	6.23
9		2900	37	29.2	28.0	763.8	101	88	84	0	36	52	47	487	109.8	154.1	6.31	6.32	6.34
10	step 4	900	0	28.8	27.8	764.0	90	88	87	0	36	57	45	174	12.8	17.4	38.23	39.07	38.77
11		900	0	28.7	27.8	763.9	87	87	87	0	36	57	44	178	12.8	17.4	38.96	39.07	38.60
12		900	0	28.8	27.8	763.9	86	87	86	0	35	57	42	179	12.8	17.4	39.89	38.69	38.63

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3251	137	135.20	46.03	25.2	0.004059	317.45	1322.91	0.065407	0.0621	0.899	1.011332	1.013315	0.998043
2		3249	137	135.57	46.12	26.0	0.003939	307.45	1320.95	0.065359	0.0603	0.873	1.008995	1.010569	0.998442
3		3250	137	135.83	46.23	25.5	0.004029	313.73	1320.95	0.065359	0.0616	0.893	1.007332	1.008615	0.998728
4	step 2	2750	142	140.51	40.47	26.7	0.003368	299.64	983.62	0.056399	0.0597	0.865	1.008995	1.010569	0.998442
5		2750	142	140.79	40.54	27.4	0.003293	292.42	983.62	0.056399	0.0584	0.846	1.007332	1.008615	0.998728
6		2750	142	140.83	40.56	26.9	0.003347	297.13	983.62	0.056399	0.0594	0.860	1.007068	1.008305	0.998773
7	step 3	2900	39	38.59	11.72	19.6	0.001329	408.30	1070.64	0.058841	0.0226	0.327	1.009064	1.010650	0.998431
8		2900	38	37.51	11.39	19.1	0.001329	420.09	1072.60	0.058895	0.0226	0.327	1.011067	1.013004	0.998088
9		2900	37	36.55	11.10	18.9	0.001308	424.34	1073.58	0.058922	0.0222	0.322	1.010399	1.012218	0.998202
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000214	-	125.15	0.020118	0.0106	0.154	1.012002	1.014102	0.997929
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000212	-	125.15	0.020118	0.0106	0.153	1.012205	1.014341	0.997894
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000211	-	125.15	0.020118	0.0105	0.152	1.011870	1.013947	0.997951

ตารางที่ ๑ - 25 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 25 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	137	30.6	27.6	764.1	108	88	81	785	36	52	43	528	132.5	188.4	2.01	2.02	2.02
2		3250	136	32.6	29.6	764.1	110	88	82	783	39	54	45	524	132.5	188.6	2.06	2.06	2.07
3		3250	136	32.6	30.0	764.0	111	88	82	780	39	54	45	523	132.6	188.6	2.03	2.03	2.04
4	step 2	2750	140	32.7	30.2	763.8	107	88	81	725	40	55	43	485	100.3	140.2	2.47	2.47	2.46
5		2750	140	33.0	31.0	763.6	107	88	82	723	40	56	43	485	100.2	140.0	2.52	2.50	2.51
6		2750	140	32.9	31.2	763.5	107	88	81	717	41	56	46	483	100.2	140.2	2.49	2.46	2.47
7	step 3	2900	36	31.2	29.0	763.4	101	88	84	284	39	54	48	505	109.1	153.3	6.26	6.28	6.23
8		2900	36	30.7	28.5	763.5	101	88	84	283	38	53	49	505	109.3	153.8	6.28	6.30	6.30
9		2900	36	30.7	28.6	763.3	101	88	85	282	38	53	48	502	109.3	153.8	6.27	6.27	6.29
10	step 4	900	0	30.0	27.6	763.2	90	87	87	95	39	58	48	175	13.2	17.6	38.00	38.03	38.37
11		900	0	29.9	27.8	763.2	88	86	84	87	37	57	45	180	12.7	16.4	38.59	38.71	38.95
12		900	0	29.7	27.6	763.2	86	87	86	88	37	57	44	184	12.7	16.4	38.88	38.90	39.10

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	137	136.02	46.29	25.0	0.004120	320.41	1295.53	0.064727	0.0637	0.923	1.006137	1.007211	0.998934
2		3250	136	136.07	46.31	25.4	0.004053	315.10	1295.53	0.064727	0.0626	0.908	0.999555	0.999477	1.000078
3		3250	136	136.09	46.32	25.0	0.004114	319.75	1296.51	0.064751	0.0635	0.921	0.999424	0.999324	1.000101
4	step 2	2750	140	140.19	40.37	26.5	0.003393	302.57	980.69	0.056315	0.0603	0.873	0.998836	0.998632	1.000204
5		2750	140	140.40	40.43	26.9	0.003339	297.28	979.71	0.056287	0.0593	0.860	0.997596	0.997175	1.000422
6		2750	140	140.36	40.42	26.5	0.003388	301.70	979.71	0.056287	0.0602	0.872	0.997791	0.997405	1.000388
7	step 3	2900	36	35.86	10.89	18.2	0.001332	440.23	1066.73	0.058734	0.0227	0.329	1.003233	1.003799	0.999436
8		2900	36	35.79	10.87	18.3	0.001322	437.80	1068.69	0.058787	0.0225	0.326	1.005016	1.005894	0.999127
9		2900	36	35.80	10.87	18.2	0.001326	438.94	1068.69	0.058787	0.0225	0.327	1.004753	1.005584	0.999173
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000218	-	129.06	0.020430	0.0107	0.154	1.006941	1.008155	0.998795
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000214	-	124.18	0.020039	0.0107	0.155	1.007273	1.008546	0.998738
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000213	-	124.18	0.020039	0.0106	0.154	1.007938	1.009327	0.998624

ตารางที่ จ - 26 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 26 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	135	31.6	28.8	763.2	110	88	81	774	39	54	45	503	134.9	189.4	2.05	2.06	2.06
2		3250	135	32.3	30.1	763.0	111	88	81	774	41	55	46	498	134.5	189.0	2.06	2.07	2.06
3		3250	135	32.4	30.3	763.0	111	88	81	774	41	55	47	498	134.5	189.0	2.07	2.07	2.09
4	step 2	2750	140	32.2	30.4	763.0	109	88	81	713	41	53	44	469	100.2	140.4	2.49	2.49	2.50
5		2750	140	32.4	30.2	763.0	106	88	81	715	41	57	47	469	100.2	140.2	2.48	2.49	2.50
6		2750	140	32.8	30.1	762.9	106	88	81	713	41	57	47	461	100.2	140.0	2.48	2.49	2.50
7	step 3	2900	36	32.9	30.1	763.0	101	88	84	280	40	54	49	491	109.1	153.6	6.27	6.29	6.33
8		2900	36	31.6	29.6	763.1	101	87	85	278	39	54	49	492	109.1	153.6	6.35	6.34	6.34
9		2900	36	31.4	29.5	763.1	101	87	85	280	38	53	49	491	109.1	153.6	6.17	6.19	6.19
10	step 4	900	0	31.2	29.5	763.0	88	87	86	89	38	59	47	179	12.7	17.6	37.84	38.04	38.22
11		900	0	30.5	28.8	763.1	87	87	86	88	38	58	45	181	12.7	17.6	38.81	38.83	38.88
12		900	0	30.6	28.8	763.1	87	87	86	88	38	58	44	180	12.7	17.6	38.16	38.28	38.29

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	135	134.74	45.86	25.1	0.004058	318.58	1319.00	0.065310	0.0621	0.901	1.001654	1.001943	0.999711
2		3250	135	135.14	45.99	25.2	0.004055	317.41	1315.08	0.065213	0.0622	0.901	0.999097	0.998939	1.000158
3		3250	135	135.20	46.01	25.4	0.004031	315.36	1315.08	0.065213	0.0618	0.896	0.998770	0.998554	1.000216
4	step 2	2750	140	140.09	40.34	26.7	0.003355	299.36	979.71	0.056287	0.0596	0.864	0.999424	0.999323	1.000101
5		2750	140	140.20	40.38	26.7	0.003362	299.73	979.71	0.056287	0.0597	0.866	0.998770	0.998554	1.000216
6		2750	140	140.44	40.44	26.7	0.003366	299.65	979.71	0.056287	0.0598	0.867	0.997333	0.996866	1.000468
7	step 3	2900	36	36.12	10.97	18.3	0.001331	436.97	1066.73	0.058734	0.0227	0.329	0.997138	0.996637	1.000503
8		2900	36	35.94	10.91	18.4	0.001316	434.09	1066.73	0.058734	0.0224	0.325	1.001523	1.001789	0.999734
9		2900	36	35.91	10.90	18.0	0.001349	445.37	1066.73	0.058734	0.0230	0.333	1.002180	1.002562	0.999619
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000219	-	124.18	0.020039	0.0109	0.159	1.002708	1.003181	0.999528
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000214	-	124.18	0.020039	0.0107	0.155	1.005151	1.006052	0.999104
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000218	-	124.18	0.020039	0.0109	0.157	1.004820	1.005663	0.999161

ตารางที่ จ -27 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 27 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3246	136	31.8	29.4	763.5	110	88	80	775	40	55	46	491	134.5	189.0	2.05	2.05	2.05
2		3247	136	31.5	29.2	763.8	110	88	81	768	41	55	47	491	134.2	188.6	2.06	2.05	2.05
3		3248	135	32.4	30.4	764.0	110	88	81	770	42	55	47	492	134.2	188.4	2.06	2.06	2.05
4	step 2	2750	140	32.8	30.4	764.2	107	88	81	710	41	56	47	465	100.2	140.0	2.48	2.47	2.51
5		2750	140	32.2	30.2	764.2	107	87	8	711	41	56	46	466	100.2	140.0	2.46	2.46	2.46
6		2750	140	32.2	30.0	764.4	107	87	81	713	41	56	46	465	100.2	140.0	2.47	2.49	2.49
7	step 3	2900	36	31.4	29.5	764.5	103	87	85	281	39	53	48	489	109.2	153.6	6.28	6.28	6.29
8		2900	36	31.1	29.4	764.5	102	87	85	281	38	53	49	491	109.1	153.4	6.33	6.36	6.36
9		2900	36	31.2	29.8	764.5	102	88	84	280	38	53	49	491	109.2	153.6	6.20	6.20	6.26
10	step 4	900	0	30.8	28.8	764.7	91	88	86	94	38	58	48	173	12.6	17.6	37.95	38.13	38.27
11		900	0	30.6	28.8	764.8	87	87	86	88	37	58	45	179	12.6	17.6	37.63	37.65	37.76
12		900	0	30.2	28.7	764.8	87	87	86	88	37	57	44	181	12.6	17.6	38.10	38.20	38.29

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3246	136	135.78	46.15	25.2	0.004072	317.65	1315.08	0.065213	0.0624	0.905	1.001391	1.001634	0.999757
2		3247	136	135.56	46.09	25.2	0.004060	317.11	1312.15	0.065140	0.0623	0.903	1.002770	1.003255	0.999517
3		3248	135	134.99	45.91	45.91	25.1	0.004065	318.69	1312.15	0.065140	0.0624	0.904	1.000079	1.000092
4	step 2	2750	140	140.16	40.36	26.7	0.003365	300.14	979.71	0.056287	0.0598	0.866	0.999033	0.998863	1.000169
5		2750	140	139.84	40.27	26.4	0.003395	303.50	979.71	0.056287	0.0603	0.874	1.000996	1.001170	0.999826
6		2750	140	139.79	40.26	40.26	26.6	0.003362	300.66	979.71	0.056287	0.0597	0.866	1.001258	1.001478
7	step 3	2900	36	35.83	10.88	18.3	0.001325	438.42	1067.71	0.058761	0.0226	0.327	1.004019	1.004722	0.999300
8		2900	36	35.79	10.87	18.4	0.001310	433.89	1066.73	0.058734	0.0223	0.323	1.005009	1.005886	0.999129
9		2900	36	35.80	10.87	10.87	18.1	0.001338	442.94	1067.71	0.058761	0.0228	0.330	1.004679	1.005498
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000218	-	123.20	0.019960	0.0109	0.158	1.006264	1.007360	0.998912
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000220	-	123.20	0.019960	0.0110	0.160	1.007058	1.008294	0.998775
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000217	-	123.20	0.019960	0.0109	0.158	1.008386	1.009854	0.998547

ตารางที่ ๑ -28 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 28 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	136	30.6	28.9	765.0	111	87	82	771	39	54	46	491	134.9	189.0	2.04	2.05	2.05
2		3249	136	31.0	29.6	765.4	111	87	82	769	40	50	43	493	134.5	189.0	2.05	2.05	2.05
3		3250	136	31.0	29.2	765.5	111	88	80	769	40	54	46	493	134.5	189.0	2.03	2.03	2.03
4	step 2	2750	140	31.0	29.3	765.8	109	88	81	711	40	55	45	465	100.4	140.2	2.46	2.47	2.47
5		2750	141	30.9	29.2	765.8	109	88	81	713	40	55	45	465	100.2	140.2	2.46	2.46	2.47
6		2750	141	31.5	29.7	765.8	109	88	81	711	40	55	45	465	100.2	140.2	2.44	2.44	2.45
7	step 3	2900	35	30.8	29.3	765.8	104	87	84	275	38	52	48	493	109.1	153.8	6.29	6.28	6.29
8		2900	35	30.4	28.8	765.8	104	88	85	275	37	52	47	491	109.2	153.8	6.24	6.23	6.19
9		2900	35	30.2	28.6	765.8	104	87	85	276	37	52	47	493	109.2	153.8	6.13	6.16	6.18
10	step 4	900	0	29.7	28.1	765.7	88	87	86	89	37	57	46	179	12.6	17.8	39.31	39.44	39.39
11		900	0	29.6	28.0	765.8	88	87	86	888	36	57	43	182	12.6	17.8	38.16	38.22	38.22
12		900	0	29.4	27.8	765.8	87	87	87	88	36	56	43	184	12.6	17.8	38.62	38.66	38.76

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	136	134.84	45.89	25.2	0.004055	318.10	1319.00	0.065310	0.0621	0.900	1.007322	1.008603	0.998730
2		3249	136	134.97	45.92	25.2	0.004052	317.64	1315.08	0.065213	0.0621	0.900	1.006523	1.007665	0.998867
3		3250	136	134.94	45.93	25.0	0.004091	320.67	1315.08	0.065213	0.0627	0.909	1.006655	1.007819	0.998844
4	step 2	2750	140	138.85	39.99	26.4	0.003365	303.00	981.67	0.056343	0.0597	0.866	1.007049	1.008283	0.998777
5		2750	141	139.79	40.26	26.6	0.003369	301.27	979.71	0.056287	0.0599	0.867	1.007380	1.008672	0.998720
6		2750	141	140.11	40.35	26.4	0.003403	303.64	979.71	0.056287	0.0605	0.876	1.005396	1.006341	0.999062
7	step 3	2900	35	34.69	10.53	17.7	0.001320	451.00	1066.73	0.058734	0.0225	0.326	1.007712	1.009061	0.998663
8		2900	35	34.63	10.52	17.6	0.001332	455.94	1067.71	0.058761	0.0227	0.329	1.009040	1.010621	0.998435
9		2900	35	34.61	10.51	17.4	0.001345	460.68	1067.71	0.058761	0.0229	0.332	1.009705	1.011403	0.998321
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000210	-	123.20	0.019960	0.0105	0.152	1.011240	1.013207	0.998059
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000216	-	123.20	0.019960	0.0108	0.157	1.011706	1.013754	0.997979
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000213	-	123.20	0.019960	0.0107	0.155	1.012375	1.014540	0.997865

ตารางที่ จ-29 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 29 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3249	137	31.0	28.8	765.8	112	88	80	774	39	53	44	492	134.9	189.4	2.04	2.04	2.04
2		3249	136	30.9	29.2	765.8	112	88	80	767	40	54	45	493	134.9	189.4	2.04	2.05	2.06
3		3249	136	31.0	28.8	765.8	113	88	81	768	40	54	46	495	134.9	189.4	2.03	2.03	2.03
4	step 2	2750	142	31.6	29.2	765.5	110	88	80	716	40	55	45	466	100.6	140.2	2.44	2.44	2.42
5		2750	142	31.2	29.0	765.5	110	88	80	712	40	55	45	466	100.6	140.2	2.45	2.45	2.44
6		2750	141	31.0	29.2	765.2	110	88	80	714	40	55	45	466	100.6	140.2	2.43	2.43	2.44
7	step 3	2900	37	30.6	28.9	765.1	104	87	84	276	38	53	47	491	108.6	153.4	6.06	6.00	6.03
8		2900	35	30.6	29.0	765.0	104	87	85	277	37	52	47	490	108.6	153.8	6.16	6.18	6.18
9		2900	36	30.2	29.0	764.9	104	87	85	275	37	52	47	491	108.6	153.8	6.13	6.13	6.08
10	step 4	900	0	29.8	28.8	764.8	89	87	86	89	37	57	45	180	12.5	17.4	39.54	39.57	40.21
11		900	0	29.3	27.8	764.8	88	88	86	88	36	57	44	182	12.5	17.4	39.34	39.26	38.76
12		900	0	29.2	27.8	764.8	87	87	86	88	36	57	43	183	12.5	17.4	39.20	39.16	39.25

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3249	137	135.87	46.23	25.3	0.004069	316.89	1319.00	0.065310	0.0623	0.903	1.007049	1.008283	0.998777
2		3249	136	134.83	45.87	25.2	0.004048	317.68	1319.00	0.065310	0.0620	0.898	1.007380	1.008672	0.998720
3		3249	136	134.88	45.89	24.9	0.004089	320.79	1319.00	0.065310	0.0626	0.907	1.007049	1.008283	0.998777
4	step 2	2750	142	141.22	40.67	26.4	0.003420	302.70	983.62	0.056399	0.0606	0.879	1.004673	1.005490	0.999187
5		2750	142	141.01	40.61	26.6	0.003397	301.12	983.62	0.056399	0.0602	0.873	1.005993	1.007042	0.998959
6		2750	141	139.97	40.31	26.2	0.003414	304.93	983.62	0.056399	0.0605	0.877	1.006260	1.007356	0.998912
7	step 3	2900	37	36.68	11.14	18.0	0.001376	444.76	1061.85	0.058599	0.0235	0.340	1.007453	1.008758	0.998707
8		2900	35	34.70	10.54	17.4	0.001344	459.25	1061.85	0.058599	0.0229	0.332	1.007322	1.008603	0.998730
9		2900	36	35.64	10.82	17.7	0.001356	450.97	1061.85	0.058599	0.0231	0.335	1.008518	1.010009	0.998524
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000208	-	122.22	0.019881	0.0105	0.152	1.009718	1.011418	0.998319
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000211	-	122.22	0.019881	0.0106	0.154	1.011387	1.013380	0.998034
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000211	-	122.22	0.019881	0.0106	0.154	1.011722	1.013773	0.997977

ตารางที่ ๑-30 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วิจัยการทดสอบที่ 30 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3249	137	30.6	28.0	763.8	111	88	80	777	36	51	42	510	134.9	189.4	2.06	2.06	2.05
2		3250	135	32.7	29.4	763.8	111	88	82	767	36	54	45	509	133.9	188.2	2.05	2.05	2.04
3		3248	135	34.5	30.8	764.0	112	88	81	772	41	55	46	509	133.4	188.2	2.05	2.05	2.04
4	step 2	2752	141	33.9	30.2	763.9	109	88	81	712	41	56	46	478	100.4	140.6	2.44	2.45	2.45
5		2752	139	34.7	31.0	763.8	109	87	82	708	41	57	46	477	100.4	140.2	2.48	2.48	2.47
6		2752	140	33.6	30.8	763.5	109	88	81	710	42	57	47	475	100.2	140.2	2.46	2.47	2.45
7	step 3	2901	34	33.0	31.1	763.6	102	88	85	274	40	54	50	498	108.9	153.2	6.20	6.22	6.22
8		2902	33	32.5	30.3	763.5	103	88	85	271	40	54	51	498	108.9	153.2	6.28	6.26	6.25
9		2901	32	32.1	30.0	763.5	102	88	84	270	39	54	51	497	108.9	153.4	6.27	6.31	6.31
10	step 4	900	0	31.6	29.6	763.4	89	87	86	88	39	59	48	181	12.9	17.2	39.63	39.77	40.20
11		900	0	31.4	29.2	763.3	87	87	85	87	38	59	46	183	12.9	17.2	39.39	39.96	39.71
12		900	0	30.8	28.8	763.2	87	86	86	87	38	58	45	184	12.9	17.2	38.81	38.51	38.91

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3249	137	136.08	46.30	25.5	0.004042	314.25	1319.00	0.065310	0.0619	0.897	1.005742	1.006746	0.999002
2		3250	135	135.18	46.01	25.0	0.004089	319.98	1309.22	0.065068	0.0628	0.911	0.998836	0.998632	1.000204
3		3248	135	136.08	46.28	25.0	0.004112	319.86	1304.33	0.064946	0.0633	0.918	0.993252	0.992071	1.001190
4	step 2	2752	141	141.82	40.87	26.5	0.003434	302.45	981.67	0.056343	0.0609	0.883	0.995063	0.994199	1.000869
5		2752	139	140.26	40.42	26.4	0.003402	302.94	981.67	0.056343	0.0604	0.875	0.992347	0.991008	1.001351
6		2752	140	140.74	40.56	26.4	0.003414	302.99	979.71	0.056287	0.0606	0.879	0.995514	0.994729	1.000789
7	step 3	2901	34	34.10	10.36	17.1	0.001349	468.75	1064.78	0.058680	0.0230	0.333	0.997596	0.997175	1.000422
8		2902	33	33.04	10.04	16.7	0.001336	479.07	1064.78	0.058680	0.0228	0.330	0.999097	0.998939	1.000158
9		2901	32	31.98	9.72	16.3	0.001327	491.70	1064.78	0.058680	0.0226	0.328	1.000406	1.000477	0.999929
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000209	-	126.13	0.020196	0.0104	0.150	1.001916	1.002252	0.999665
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000210	-	126.13	0.020196	0.0104	0.151	1.002443	1.002871	0.999574
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000215	-	126.13	0.020196	0.0106	0.154	1.004290	1.005041	0.999253

ตารางที่ จ-31 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 31 เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	136	31.8	30.0	763.0	111	88	80	772	41	56	47	504	133.9	187.4	2.05	2.04	2.04
2		3248	136	33.3	30.4	763.0	112	88	80	773	42	56	48	500	133.1	187.0	2.05	2.04	2.04
3		3248	135	33.8	30.9	763.1	112	88	80	770	42	57	49	500	133.1	186.6	2.05	2.04	2.06
4	step 2	2752	140	34.3	31.4	763.2	109	87	81	708	42	58	48	479	100.4	141.0	2.45	2.45	2.46
5		2752	139	34.2	31.4	763.1	109	88	81	708	41	58	49	477	101.3	140.6	2.45	2.45	2.44
6		2752	141	34.0	31.4	763.0	109	88	81	708	40	57	49	477	102.0	140.6	2.44	2.45	2.47
7	step 3	2900	33	33.6	31.6	763.0	104	87	85	267	39	55	51	497	109.1	153.4	6.25	6.25	6.26
8		2900	32	33.1	31.2	762.8	103	87	85	267	38	54	52	497	108.6	153.4	6.25	6.25	6.26
9		2901	32	32.8	30.4	762.8	103	87	85	268	38	54	52	497	108.6	153.4	6.31	6.37	6.26
10	step 4	900	0	32.3	30.6	762.8	89	87	86	89	38	59	48	179	13.0	17.6	38.62	38.55	38.69
11		900	0	32.0	29.9	762.8	87	87	86	89	38	59	48	183	13.0	17.6	39.84	39.33	39.08
12		900	0	31.8	29.6	762.9	87	87	86	89	37	59	46	183	13.0	17.2	38.62	38.39	38.08

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	136	135.88	46.22	25.1	0.004088	318.45	1309.22	0.065068	0.0628	0.911	1.000735	1.000863	0.999872
2		3248	136	136.67	46.49	25.2	0.004108	318.18	1301.40	0.064873	0.0633	0.918	0.995836	0.995108	1.000732
3		3248	135	135.90	46.22	25.1	0.004101	319.41	1301.40	0.064873	0.0632	0.916	0.994345	0.993355	1.000996
4	step 2	2752	140	141.18	40.69	26.4	0.003432	303.67	981.67	0.056343	0.0609	0.883	0.992858	0.991608	1.001261
5		2752	139	140.14	40.39	26.1	0.003441	306.70	990.47	0.056595	0.0608	0.881	0.993050	0.991834	1.001226
6		2752	141	142.07	40.94	26.5	0.003430	301.55	997.31	0.056790	0.0604	0.875	0.993567	0.992441	1.001134
7	step 3	2900	33	33.20	10.08	16.7	0.001344	479.80	1066.73	0.058734	0.0229	0.332	0.994862	0.993963	1.000905
8		2900	32	32.14	9.76	16.2	0.001342	494.92	1061.85	0.058599	0.0229	0.332	0.996226	0.995565	1.000663
9		2901	32	32.11	9.75	16.3	0.001328	490.13	1061.85	0.058599	0.0227	0.328	0.997202	0.996713	1.000491
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000217	-	127.11	0.020274	0.0107	0.155	0.998835	0.998631	1.000204
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000212	-	127.11	0.020274	0.0105	0.152	0.999817	0.999785	1.000032
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000218	-	127.11	0.020274	0.0107	0.156	1.000604	1.000709	0.999894

ตารางที่ จ-32 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 32 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	137	32.7	30.6	763.0	112	87	81	773	38	55	49	500	134.1	188.0	2.02	2.02	2.03
2		3248	135	33.7	31.0	763.4	113	87	81	768	39	56	50	500	13.5	187.4	2.04	2.04	2.06
3		3248	136	34.0	30.6	763.8	113	87	81	768	39	56	50	499	133.5	187.4	2.05	2.06	2.07
4	step 2	2751	140	33.8	30.7	764.2	110	87	81	714	40	56	49	473	100.4	140.6	2.45	2.45	2.46
5		2751	140	33.4	30.4	764.2	110	87	81	714	40	57	50	473	100.4	140.2	2.44	2.44	2.44
6		2751	140	33.2	31.0	764.3	110	87	81	708	40	57	50	473	100.4	140.6	2.44	2.44	2.44
7	step 3	2900	34	32.8	30.0	764.5	104	87	85	275	39	55	52	494	108.4	154.0	6.21	6.37	6.20
8		2900	33	32.4	29.8	764.5	104	87	85	272	38	54	52	494	108.9	154.0	6.27	6.24	6.24
9		2900	33	32.0	29.8	764.6	104	87	85	269	38	54	52	494	109.1	153.8	6.19	6.21	6.20
10	step 4	900	0	31.9	29.6	764.8	88	86	85	89	38	59	48	183	12.9	17.6	37.99	38.04	38.03
11		900	0	31.7	29.5	764.9	88	87	86	89	37	58	47	183	12.8	17.6	38.62	38.50	38.42
12		900	0	31.8	29.5	764.9	88	87	86	88	37	58	46	185	12.8	17.6	38.09	38.55	38.39

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	137	137.36	46.72	25.1	0.004141	319.09	1311.17	0.065116	0.0636	0.922	0.997790	0.997403	1.000388
2		3248	135	135.79	46.19	25.0	0.004105	319.97	132.00	0.020661	0.1987	2.880	0.995060	0.994195	1.000870
3		3248	136	136.87	46.55	25.4	0.004080	315.53	1305.31	0.064970	0.0628	0.910	0.994609	0.993665	1.000950
4	step 2	2751	140	140.70	40.53	26.3	0.003422	303.94	981.67	0.056343	0.0607	0.880	0.995778	0.995039	1.000743
5		2751	140	140.48	40.47	26.2	0.003436	305.67	981.67	0.056343	0.0610	0.884	0.997077	0.996566	1.000513
6		2751	140	140.35	40.43	26.2	0.003434	305.71	981.67	0.056343	0.0609	0.883	0.997859	0.997484	1.000376
7	step 3	2900	34	34.02	10.33	17.2	0.001336	465.57	1059.89	0.058545	0.0228	0.331	0.999425	0.999324	1.000101
8		2900	33	32.97	10.01	16.7	0.001337	480.56	1064.78	0.058680	0.0228	0.330	1.000733	1.000861	0.999872
9		2900	33	32.92	10.00	16.5	0.001345	484.55	1066.73	0.058734	0.0229	0.332	1.002176	1.002557	0.999620
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000219	-	126.13	0.020196	0.0109	0.157	1.002767	1.003251	0.999517
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000216	-	125.15	0.020118	0.0108	0.156	1.003556	1.004178	0.999380
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000217	-	125.15	0.020118	0.0108	0.157	1.003227	1.003791	0.999437

ตารางที่ จ-33 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 33 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	136	32.4	30.8	765.0	113	88	81	768	38	55	49	498	134.1	188.0	2.05	2.05	2.04
2		3248	135	33.3	31.2	765.0	113	88	81	765	39	55	50	498	134.1	187.8	2.06	2.06	2.06
3		3248	135	33.4	31.0	765.1	113	88	81	766	39	56	50	497	134.1	187.8	2.05	2.04	2.03
4	step 2	2750	141	33.5	30.9	765.2	110	87	81	705	39	56	49	472	100.4	140.0	2.47	2.47	2.47
5		2750	140	33.0	30.7	765.2	110	87	81	709	39	56	49	472	100.4	140.6	2.44	2.44	2.45
6		2750	140	33.5	31.2	765.2	110	87	81	705	39	56	48	471	100.4	140.6	2.44	2.44	2.45
7	step 3	2900	34	32.7	30.6	765.2	104	87	84	276	38	54	50	494	108.7	153.8	6.12	6.12	6.13
8		2900	35	32.2	30.2	765.3	104	87	84	270	38	54	51	494	108.6	154.0	6.13	6.14	6.15
9		2900	32	32.0	30.4	765.2	104	87	85	270	38	54	51	493	109.1	154.0	6.23	6.22	6.21
10	step 4	900	0	31.2	29.0	765.1	89	86	84	89	37	58	47	183	12.8	17.6	37.63	37.52	37.59
11		900	0	31.0	29.2	765.1	88	88	85	89	37	58	45	183	12.8	17.6	35.95	35.90	35.85
12		900	0	30.7	28.7	765.1	88	87	87	90	37	56	44	186	12.8	17.6	38.39	38.62	38.65

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	136	135.78	46.18	25.2	0.004079	317.97	1311.17	0.065116	0.0626	0.908	1.001388	1.001630	0.999758
2		3248	135	135.25	46.00	25.2	0.004065	318.09	1311.17	0.065116	0.0624	0.905	0.998447	0.998175	1.000272
3		3248	135	135.28	46.01	24.9	0.004105	321.19	1311.17	0.065116	0.0630	0.914	0.998251	0.997945	1.000307
4	step 2	2750	141	141.32	40.70	26.7	0.003391	299.97	981.67	0.056343	0.0602	0.872	0.998056	0.997716	1.000341
5		2750	140	140.05	40.33	26.2	0.003423	305.50	981.67	0.056343	0.0607	0.880	0.999686	0.999631	1.000055
6		2750	140	140.32	40.41	26.2	0.003428	305.41	981.67	0.056343	0.0608	0.882	0.998056	0.997716	1.000341
7	step 3	2900	34	33.97	10.32	16.8	0.001364	476.06	1062.82	0.058626	0.0233	0.337	1.000667	1.000784	0.999883
8		2900	35	34.90	10.60	17.3	0.001358	461.35	1061.85	0.058599	0.0232	0.336	1.002436	1.002863	0.999575
9		2900	32	31.89	9.68	16.1	0.001340	498.16	1066.73	0.058734	0.0228	0.331	1.002962	1.003481	0.999483
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	125.15	0.020118	0.0110	0.159	1.005467	1.006424	0.999049
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000231	-	125.15	0.020118	0.0115	0.167	1.006129	1.007201	0.998935
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000215	-	125.15	0.020118	0.0107	0.155	1.007122	1.008368	0.998764

ตารางที่ จ-34 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 34 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	135	31.5	29.6	765.1	113	87	81	770	38	54	47	496	133.9	187.4	2.06	2.05	2.08
2		3248	135	32.2	30.2	764.9	113	87	81	770	38	55	48	496	133.7	187.4	2.05	2.04	2.03
3		3248	135	32.7	30.8	764.8	113	87	81	765	39	55	49	495	133.7	187.4	2.06	2.05	2.04
4	step 2	2750	140	32.3	30.4	764.8	111	87	81	709	39	56	48	471	116.0	141.0	2.47	2.47	2.45
5		2752	142	32.0	30.0	764.9	111	87	81	707	38	56	48	471	114.0	141.0	2.45	2.45	2.43
6		2751	141	32.1	30.4	764.8	111	88	81	707	38	56	48	471	104.0	141.0	2.44	2.44	2.43
7	step 3	2900	35	31.7	29.9	764.8	104	87	85	273	37	54	50	493	109.1	153.4	6.05	6.07	6.05
8		2901	34	31.3	29.7	764.8	104	87	85	267	37	53	50	492	109.1	153.4	6.18	6.15	6.20
9		2900	33	31.2	29.9	764.8	104	87	85	266	37	53	50	494	109.1	153.4	6.19	6.16	6.23
10	step 4	900	0	30.6	28.6	764.8	89	87	86	89	36	58	47	184	13.2	18.0	37.01	37.18	37.17
11		900	0	30.4	28.4	764.8	88	87	86	89	36	58	45	186	13.2	18.0	38.28	38.36	38.42
12		900	0	30.3	28.2	764.8	89	87	85	89	36	58	36	187	13.2	18.0	38.44	38.55	38.34

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	135	134.29	45.68	25.2	0.004034	317.91	1309.22	0.065068	0.0620	0.898	1.004477	1.005261	0.999221
2		3248	135	134.70	45.81	24.9	0.004090	321.40	1307.26	0.065019	0.0629	0.912	1.001913	1.002247	0.999666
3		3248	135	134.98	45.91	25.0	0.004077	319.73	1307.26	0.065019	0.0627	0.909	1.000144	1.000169	0.999975
4	step 2	2750	140	139.76	40.25	26.4	0.003389	303.11	1134.20	0.060562	0.0560	0.811	1.001454	1.001708	0.999746
5		2752	142	141.57	40.80	26.6	0.003413	301.13	1114.64	0.060038	0.0568	0.824	1.002569	1.003019	0.999552
6		2751	141	140.65	40.52	26.3	0.003424	304.18	1016.87	0.057344	0.0597	0.865	1.002110	1.002479	0.999632
7	step 3	2900	35	34.86	10.59	17.1	0.001376	467.78	1066.73	0.058734	0.0234	0.339	1.003425	1.004024	0.999403
8		2901	34	33.81	10.27	17.0	0.001347	472.13	1066.73	0.058734	0.0229	0.332	1.004743	1.005573	0.999175
9		2900	33	32.80	9.96	16.5	0.001343	485.32	1066.73	0.058734	0.0229	0.331	1.005073	1.005961	0.999117
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	129.06	0.020430	0.0109	0.159	1.007058	1.008294	0.998775
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000216	-	129.06	0.020430	0.0106	0.153	1.007722	1.009073	0.998661
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000216	-	129.06	0.020430	0.0106	0.153	1.008054	1.009463	0.998604

ตารางที่ จ-35 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 35 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	138	29.8	26.6	765.1	112	88	81	772	33	50	42	513	135.5	190.4	2.01	2.02	2.00
2		3250	136	32.0	30.0	765.0	113	88	81	767	36	53	47	511	135.1	189.0	2.05	2.05	2.05
3		3250	136	33.1	30.5	765.0	114	88	81	765	38	51	46	511	135.1	189.6	2.06	2.06	2.04
4	step 2	2752	141	33.5	30.0	764.9	110	88	81	710	38	55	48	478	100.8	141.4	2.44	2.44	2.45
5		2751	141	33.8	30.7	764.8	110	88	81	704	39	56	48	477	101.0	141.4	2.45	2.45	2.45
6		2750	141	33.8	30.7	764.8	110	88	81	706	39	57	49	478	100.8	141.0	2.45	2.44	2.44
7	step 3	2900	32	33.4	30.3	764.5	104	88	85	261	39	51	50	501	109.7	154.8	6.40	6.41	6.41
8		2900	32	32.9	30.5	764.4	104	87	85	262	39	53	51	499	109.7	154.6	6.35	6.37	6.39
9		2900	33	33.1	30.4	764.2	104	88	85	261	38	53	51	499	109.7	154.6	6.29	6.29	6.28
10	step 4	900	0	32.7	29.6	764.1	88	88	87	87	38	59	48	181	13.4	18.5	36.84	36.93	36.98
11		900	0	32.5	30.1	764.1	88	87	86	87	38	59	47	184	13.4	18.6	37.69	37.76	37.84
12		900	0	33.0	30.1	763.9	87	87	86	87	38	59	46	185	13.4	18.6	38.30	38.39	38.43

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	138	136.38	46.42	25.1	0.004118	319.36	1324.86	0.065455	0.0629	0.912	1.010114	1.011884	0.998251
2		3250	136	135.57	46.14	25.2	0.004067	317.33	1320.95	0.065359	0.0622	0.902	1.002700	1.003173	0.999529
3		3250	136	136.14	46.34	25.3	0.004075	316.61	1320.95	0.065359	0.0623	0.904	0.999099	0.998941	1.000158
4	step 2	2752	141	141.39	40.75	26.4	0.003430	303.01	985.58	0.056455	0.0607	0.880	0.997665	0.997256	1.000410
5		2751	141	141.57	40.78	26.5	0.003424	302.23	987.54	0.056511	0.0606	0.878	0.996560	0.995958	1.000604
6		2750	141	141.57	40.77	26.4	0.003433	303.17	985.58	0.056455	0.0608	0.881	0.996560	0.995958	1.000604
7	step 3	2900	32	32.10	9.75	16.6	0.001308	483.18	1072.60	0.058895	0.0222	0.322	0.997469	0.997026	1.000444
8		2900	32	32.04	9.73	16.5	0.001314	486.09	1072.60	0.058895	0.0223	0.323	0.998968	0.998787	1.000181
9		2900	33	33.08	10.04	16.8	0.001332	477.53	1072.60	0.058895	0.0226	0.328	0.998054	0.997713	1.000341
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000227	-	131.02	0.020584	0.0110	0.160	0.999228	0.999093	1.000135
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	131.02	0.020584	0.0108	0.156	0.999882	0.999862	1.000021
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000218	-	131.02	0.020584	0.0106	0.154	0.997988	0.997636	1.000353

ตารางที่ จ-36 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 36 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	134	34.2	31.4	763.8	114	88	81	765	39	55	49	503	134.5	188.0	2.07	2.07	2.06
2		3249	135	34.9	31.0	763.5	114	88	81	764	40	56	50	504	135.2	188.0	2.07	2.07	2.06
3		3250	135	35.2	32.0	763.3	114	87	80	762	41	57	51	503	134.1	188.0	2.06	2.05	2.06
4	step 2	2750	140	35.4	31.5	763.0	110	87	82	702	41	58	51	476	100.8	141.8	2.48	2.49	2.47
5		2750	139	35.4	32.6	763.0	110	87	82	706	41	58	51	474	100.8	141.4	2.50	2.50	2.50
6		2750	140	34.8	32.3	763.0	110	88	81	700	41	58	52	473	100.8	141.4	2.51	2.51	2.50
7	step 3	2900	32	34.6	31.2	763.0	104	88	85	268	41	57	54	497	109.2	153.4	6.44	6.42	6.44
8		2900	30	33.6	34.8	762.9	104	88	84	258	39	56	54	498	109.1	153.4	6.46	6.44	6.44
9		2900	30	33.5	30.9	763.0	104	87	85	259	40	55	53	498	109.7	154.0	6.40	6.41	6.41
10	step 4	900	0	32.8	30.0	763.0	89	87	85	89	40	56	47	180	13.4	18.6	36.62	36.75	36.82
11		900	0	32.4	30.2	762.9	88	87	87	87	39	59	47	186	13.4	18.6	37.89	37.72	37.97
12		900	0	32.1	29.8	763.0	88	88	87	88	39	56	45	187	13.4	18.6	37.85	37.91	37.84

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	134	134.96	45.93	25.1	0.004070	318.98	1315.08	0.065213	0.0624	0.904	0.993961	0.992905	1.001064
2		3249	135	136.39	46.41	25.3	0.004081	316.56	1321.93	0.065383	0.0624	0.905	0.991313	0.989793	1.001536
3		3250	135	136.59	46.49	25.2	0.004106	317.93	1311.17	0.065116	0.0630	0.914	0.990089	0.988355	1.001755
4	step 2	2750	140	141.82	40.84	26.6	0.003408	300.42	985.58	0.056455	0.0604	0.875	0.989059	0.987144	1.001940
5		2750	139	140.81	40.55	26.7	0.003381	300.16	985.58	0.056455	0.0599	0.868	0.989059	0.987144	1.001940
6		2750	140	141.50	40.75	26.9	0.003365	297.32	985.58	0.056455	0.0596	0.864	0.990986	0.989408	1.001594
7	step 3	2900	32	32.32	9.81	16.6	0.001310	480.68	1067.71	0.058761	0.0223	0.323	0.991630	0.990165	1.001479
8		2900	30	30.19	9.17	15.6	0.001304	511.94	1066.73	0.058734	0.0222	0.322	0.994732	0.993810	1.000928
9		2900	30	30.17	9.16	15.5	0.001311	515.18	1072.60	0.058895	0.0223	0.323	0.995187	0.994345	1.000847
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000228	-	131.02	0.020584	0.0111	0.161	0.997464	0.997020	1.000445
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	131.02	0.020584	0.0107	0.156	0.998639	0.998400	1.000239
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	131.02	0.020584	0.0107	0.155	0.999751	0.999708	1.000044

ตารางที่ จ-37 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 37 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	135	32.8	30.2	763.5	114	88	81	769	39	56	49	500	134.1	188.8	2.06	2.04	2.04
2		3248	135	32.6	30.4	763.7	114	88	80	761	39	55	49	500	134.1	188.8	2.05	2.05	2.05
3		3248	135	32.4	30.2	763.7	114	88	81	762	39	55	48	499	134.1	188.8	2.06	2.07	2.08
4	step 2	2751	140	32.0	30.2	764.0	110	87	81	703	39	52	46	473	101.0	141.4	2.45	2.44	2.43
5		2751	140	32.2	30.2	764.1	110	87	82	703	39	56	47	474	100.8	141.4	2.45	2.46	2.45
6		2751	140	32.1	29.8	764.5	110	88	81	704	38	56	47	474	100.8	141.4	2.42	2.42	2.42
7	step 3	2900	34	31.5	29.9	764.5	104	87	84	266	37	53	50	498	109.8	154.4	6.08	6.11	6.04
8		2901	34	31.5	30.2	764.5	104	87	85	266	37	53	50	498	109.7	154.4	6.09	6.16	6.08
9		2901	35	31.1	29.4	764.5	104	87	85	265	37	53	50	497	109.7	154.4	6.12	6.13	6.18
10	step 4	900	0	30.6	28.6	764.6	89	87	87	88	36	58	47	190	12.5	17.8	37.25	37.40	37.56
11		900	0	30.5	29.4	764.6	89	88	87	89	36	58	45	189	13.4	18.8	36.73	36.88	36.99
12		900	0	30.6	28.8	764.5	88	86	85	89	36	57	45	191	13.4	18.8	37.67	37.59	37.78

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	135	135.30	46.02	25.0	0.004092	320.14	1311.17	0.065116	0.0628	0.911	0.998117	0.997788	1.000330
2		3248	135	135.15	45.97	25.0	0.004082	319.67	1311.17	0.065116	0.0627	0.909	0.999032	0.998863	1.000170
3		3248	135	135.05	45.93	25.3	0.004040	316.62	1311.17	0.065116	0.0620	0.899	0.999686	0.999631	1.000055
4	step 2	2751	140	139.77	40.27	26.2	0.003421	305.90	987.54	0.056511	0.0605	0.877	1.001390	1.001633	0.999757
5		2751	140	139.86	40.29	26.3	0.003405	304.21	985.58	0.056455	0.0603	0.874	1.000865	1.001016	0.999849
6		2751	140	139.72	40.25	25.9	0.003449	308.44	985.58	0.056455	0.0611	0.885	1.001717	1.002017	0.999700
7	step 3	2900	34	33.85	10.28	16.7	0.001371	479.97	1073.58	0.058922	0.0233	0.337	1.003690	1.004335	0.999357
8		2901	34	33.85	10.28	16.8	0.001363	477.19	1072.60	0.058895	0.0231	0.335	1.003690	1.004335	0.999357
9		2901	35	34.80	10.57	17.4	0.001354	461.15	1072.60	0.058895	0.0230	0.333	1.005009	1.005886	0.999129
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	122.22	0.019881	0.0112	0.162	1.006795	1.007984	0.998820
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000225	-	131.02	0.020584	0.0109	0.159	1.007127	1.008374	0.998763
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000220	-	131.02	0.020584	0.0107	0.155	1.006663	1.007829	0.998843

ตารางที่ จ-38 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 38 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3249	136	31.2	28.9	764.8	114	88	81	774	39	55	47	498	134.7	188.2	2.02	2.01	2.01
2		3248	136	32.0	29.7	765.0	114	88	80	770	39	55	47	497	134.3	187.4	2.02	2.02	2.02
3		3249	136	32.3	30.4	765.0	114	88	80	763	40	54	48	498	134.3	187.8	2.03	2.03	2.04
4	step 2	2751	141	32.3	31.3	765.0	110	87	82	705	38	55	47	472	101.0	141.4	2.46	2.46	2.45
5		2750	140	32.0	30.2	765.1	110	87	82	702	38	56	47	472	101.2	141.8	2.47	2.47	2.45
6		2750	141	31.9	29.6	765.1	110	87	82	706	39	56	47	472	101.6	141.2	2.46	2.46	2.46
7	step 3	2901	35	31.4	29.6	765.0	104	88	84	268	37	53	49	494	109.7	154.2	6.05	6.06	6.10
8		2900	34	31.3	29.8	765.0	104	88	84	265	37	53	49	494	109.7	154.2	6.08	6.04	6.09
9		2900	33	31.2	29.6	764.9	104	88	85	265	37	53	49	495	109.7	154.2	6.05	6.07	6.10
10	step 4	941	0	30.7	28.6	764.8	89	87	87	89	36	58	46	186	13.1	18.4	40.78	40.07	39.98
11		943	0	30.6	28.8	764.8	89	87	86	89	36	57	44	188	13.2	18.4	38.81	38.13	39.34
12		945	0	30.6	28.0	765.0	89	86	85	90	36	57	44	188	13.2	18.6	38.54	39.54	39.11

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3249	136	135.19	46.00	24.8	0.004131	323.34	1317.04	0.065262	0.0633	0.917	1.005073	1.005961	0.999117
2		3248	136	135.57	46.11	24.8	0.004127	322.24	1313.13	0.065165	0.0633	0.918	1.002700	1.003173	0.999529
3		3249	136	135.73	46.18	25.0	0.004104	319.97	1313.13	0.065165	0.0630	0.913	1.001715	1.002016	0.999700
4	step 2	2751	141	140.72	40.54	26.5	0.003397	301.69	987.54	0.056511	0.0601	0.871	1.001715	1.002016	0.999700
5		2750	140	139.54	40.18	26.4	0.003384	303.19	989.49	0.056567	0.0598	0.867	1.002831	1.003327	0.999506
6		2750	141	140.48	40.45	26.5	0.003388	301.46	993.40	0.056679	0.0598	0.866	1.003160	1.003713	0.999449
7	step 3	2901	35	34.81	10.57	17.1	0.001371	466.69	1072.60	0.058895	0.0233	0.337	1.004676	1.005494	0.999186
8		2900	34	33.80	10.26	16.7	0.001370	480.61	1072.60	0.058895	0.0233	0.337	1.005006	1.005882	0.999129
9		2900	33	32.80	9.96	16.2	0.001369	494.92	1072.60	0.058895	0.0233	0.337	1.005205	1.006115	0.999095
10	step 4	941	0	0.00	0.00	-	0.000206	-	128.09	0.020352	0.0101	0.147	1.006727	1.007904	0.998832
11		943	0	0.00	0.00	-	0.000214	-	129.06	0.020430	0.0105	0.152	1.007058	1.008294	0.998775
12		945	0	0.00	0.00	-	0.000212	-	129.06	0.020430	0.0104	0.151	1.007322	1.008603	0.998730

ตารางที่ จ-39 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 39 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	136	31.3	29.3	765.0	114	87	81	765	38	54	47	498	134.1	188.2	2.03	2.03	2.03
2		3250	136	31.7	29.3	764.9	114	88	81	764	39	55	47	497	133.9	188.0	2.03	2.03	2.03
3		3250	137	32.4	30.4	764.9	114	88	81	765	39	55	47	497	133.8	187.6	2.01	2.01	2.03
4	step 2	2750	142	31.5	29.9	764.7	111	88	81	702	38	55	46	474	101.0	142.6	2.43	2.43	2.42
5		2750	142	31.5	29.6	764.7	111	88	81	706	38	55	47	474	100.8	142.6	2.41	2.41	2.39
6		2750	142	31.6	29.8	764.7	111	87	81	702	38	56	46	474	100.8	142.2	2.44	2.44	2.46
7	step 3	2900	34	31.5	30.6	764.7	104	88	84	266	38	57	48	494	109.5	154.2	6.12	6.14	6.09
8		2900	34	31.6	29.6	764.8	104	87	85	262	37	57	45	494	109.5	154.2	6.02	6.10	6.09
9		2900	34	31.0	29.6	764.8	104	87	84	261	36	52	48	494	109.5	154.2	6.02	6.07	6.11
10	step 4	900	0	30.4	29.2	764.8	91	88	87	89	36	58	46	183	13.2	18.4	37.47	37.48	36.85
11		900	0	29.9	28.3	764.8	89	87	87	89	36	56	46	187	13.4	18.0	38.32	38.79	38.78
12		900	0	30.1	28.6	764.6	89	87	86	89	36	57	43	188	13.2	18.6	39.29	38.64	39.29

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (kW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	136	135.20	46.02	25.0	0.004098	320.58	1311.17	0.065116	0.0629	0.912	1.005006	1.005882	0.999129
2		3250	136	135.43	46.09	25.0	0.004104	320.50	1309.22	0.065068	0.0631	0.914	1.003556	1.004178	0.999380
3		3250	137	136.80	46.56	25.0	0.004140	320.14	1308.24	0.065043	0.0637	0.923	1.001257	1.001477	0.999780
4	step 2	2750	142	141.34	40.70	26.4	0.003431	303.49	987.54	0.056511	0.0607	0.880	1.003952	1.004644	0.999312
5		2750	142	141.34	40.70	26.1	0.003465	306.44	985.58	0.056455	0.0614	0.889	1.003952	1.004644	0.999312
6		2750	142	141.40	40.72	26.6	0.003405	300.99	985.58	0.056455	0.0603	0.874	1.003623	1.004257	0.999369
7	step 3	2900	34	33.84	10.28	16.8	0.001361	476.86	1070.64	0.058841	0.0231	0.335	1.003952	1.004644	0.999312
8		2900	34	33.85	10.28	16.7	0.001372	480.51	1070.64	0.058841	0.0233	0.338	1.003754	1.004411	0.999346
9		2900	34	33.77	10.26	16.6	0.001370	480.93	1070.64	0.058841	0.0233	0.337	1.005734	1.006737	0.999003
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000223	-	129.06	0.020430	0.0109	0.158	1.007722	1.009073	0.998661
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000214	-	131.02	0.020584	0.0104	0.151	1.009385	1.011027	0.998376
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000212	-	129.06	0.020430	0.0104	0.151	1.008455	1.009935	0.998535

ตารางที่ จ-40 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 40 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)		
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3251	139	31.4	28.4	765.8	109	88	81	768	37	53	45	507	134.9	189.8	2.29	2.30	2.30
2		3251	137	32.6	29.3	765.8	110	88	81	764	39	55	47	503	134.5	189.4	2.29	2.29	2.30
3		3250	137	33.2	30.4	765.8	109	88	81	761	40	55	47	500	134.5	189.4	2.30	2.30	2.29
4	step 2	2752	142	33.4	30.1	765.7	105	88	82	702	40	56	47	467	100.8	141.0	2.75	2.75	2.74
5		2752	142	33.4	30.2	765.5	105	88	82	701	40	57	48	464	100.4	141.0	2.72	2.72	2.73
6		2751	141	33.6	31.3	765.2	106	88	81	700	40	57	48	460	100.8	141.0	2.74	2.73	2.72
7	step 3	2900	33	33.0	30.6	765.0	100	88	84	255	39	54	51	484	109.3	153.8	6.69	6.68	6.67
8		2900	33	32.7	29.6	764.9	100	88	85	255	39	54	51	484	109.1	153.8	6.74	6.72	6.79
9		2900	33	32.4	30.0	764.9	100	87	84	255	38	54	51	484	109.2	153.6	6.62	6.59	6.79
10	step 4	900	0	32.2	29.8	764.7	87	87	86	88	38	59	48	172	13.0	17.4	38.20	37.93	38.22
11		900	0	32.2	29.2	764.6	86	87	87	88	38	59	47	175	13.0	17.4	37.30	37.84	38.33
12		900	0	32.1	28.7	764.6	86	87	87	88	38	59	47	175	12.9	18.2	39.87	39.86	40.16

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (kW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3251	139	138.07	47.01	28.9	0.003619	277.19	1319.00	0.065310	0.0554	0.803	1.005726	1.006728	0.999005
2		3251	137	136.71	46.54	28.4	0.003639	281.46	1315.08	0.065213	0.0558	0.809	1.001779	1.002090	0.999689
3		3250	137	137.03	46.64	28.5	0.003641	281.04	1315.08	0.065213	0.0558	0.809	0.999817	0.999785	1.000032
4	step 2	2752	142	142.16	40.97	29.9	0.003047	267.71	985.58	0.056455	0.0540	0.782	0.999034	0.998865	1.000169
5		2752	142	142.20	40.98	29.6	0.003074	269.99	981.67	0.056343	0.0546	0.791	0.998773	0.998559	1.000215
6		2751	141	141.38	40.73	29.5	0.003069	271.29	985.58	0.056455	0.0544	0.788	0.997731	0.997334	1.000398
7	step 3	2900	33	33.02	10.03	17.8	0.001252	449.52	1068.69	0.058787	0.0213	0.309	0.999425	0.999324	1.000101
8		2900	33	32.99	10.02	18.0	0.001238	444.92	1066.73	0.058734	0.0211	0.306	1.000275	1.000323	0.999952
9		2900	33	32.95	10.01	17.8	0.001252	450.56	1067.71	0.058761	0.0213	0.309	1.001257	1.001477	0.999780
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000219	-	127.11	0.020274	0.0108	0.157	1.001651	1.001939	0.999712
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	127.11	0.020274	0.0109	0.158	1.001520	1.001786	0.999735
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000209	-	126.13	0.020196	0.0103	0.150	1.001848	1.002171	0.999677

ตารางที่ จ-41 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 41 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	137	34.2	30.5	764.3	109	87	81	684	41	58	50	488	133.7	187.8	2.25	2.25	2.25
2		3248	137	34.5	29.8	764.3	109	87	81	677	42	58	49	488	133.5	188.0	2.26	2.27	2.26
3		3248	137	34.7	31.2	764.2	109	87	81	668	42	58	50	485	133.5	187.8	2.26	2.27	2.27
4	step 2	2751	140	34.7	32.2	763.8	106	87	81	546	42	59	50	460	101.0	143.0	2.69	2.69	2.70
5		2751	141	35.3	32.4	763.7	106	87	81	547	42	59	50	459	100.4	142.6	2.71	2.69	2.70
6		2752	140	34.8	31.3	763.5	106	87	81	545	42	59	50	458	100.6	142.8	2.70	2.69	2.70
7	step 3	2901	33	34.8	31.5	763.5	101	87	85	240	42	56	52	487	109.1	153.8	6.64	6.60	6.60
8		2901	32	34.3	32.9	763.3	100	87	85	234	41	56	53	485	109.1	153.8	6.69	6.68	6.75
9		2901	32	34.1	30.8	763.2	100	87	85	233	40	56	53	485	109.2	153.8	6.70	6.70	6.73
10	step 4	900	0	33.6	30.2	763.1	89	89	86	85	40	61	51	169	12.6	18.2	36.86	38.43	37.13
11		900	0	32.1	29.9	763.0	86	86	85	87	40	60	48	170	12.8	18.6	37.30	37.84	38.33
12		900	0	32.9	29.5	762.9	84	86	85	86	39	59	45	182	12.9	18.6	38.72	38.35	38.75

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	137	137.87	46.89	27.9	0.003736	286.78	1307.26	0.065019	0.0575	0.833	0.994612	0.993669	1.000949
2		3248	137	138.03	46.95	28.1	0.003717	285.04	1305.31	0.064970	0.0572	0.829	0.993642	0.992530	1.001121
3		3248	137	138.16	46.99	28.1	0.003715	284.58	1305.31	0.064970	0.0572	0.829	0.992867	0.991618	1.001259
4	step 2	2751	140	141.27	40.70	28.9	0.003128	276.68	987.54	0.056511	0.0553	0.802	0.992347	0.991008	1.001351
5		2751	141	142.63	41.09	29.2	0.003127	273.94	981.67	0.056343	0.0555	0.804	0.990287	0.988587	1.001719
6		2752	140	141.39	40.75	29.0	0.003126	276.21	983.62	0.056399	0.0554	0.803	0.991635	0.990171	1.001478
7	step 3	2901	33	33.33	10.12	17.7	0.001275	453.27	1066.73	0.058734	0.0217	0.315	0.991635	0.990171	1.001478
8		2901	32	32.27	9.80	17.4	0.001255	461.04	1066.73	0.058734	0.0214	0.310	0.992988	0.991760	1.001237
9		2901	32	32.25	9.80	17.4	0.001254	460.85	1067.71	0.058761	0.0213	0.309	0.993504	0.992367	1.001146
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	123.20	0.019960	0.0112	0.163	0.994993	0.994117	1.000881
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	125.15	0.020118	0.0110	0.159	0.999751	0.999708	1.000044
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000217	-	126.13	0.020196	0.0108	0.156	0.997007	0.996483	1.000526

ตารางที่ ๑ - 42 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 42 เมื่อน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3249	135	34.6	30.7	762.8	109	87	81	762	42	54	47	490	133.3	187.8	2.22	2.23	2.21
2		3248	135	35.8	32.1	762.8	109	87	81	760	43	58	50	488	133.2	187.8	2.25	2.23	2.24
3		3249	135	35.4	32.0	762.8	110	88	81	755	43	58	50	487	133.0	187.6	2.24	2.25	2.26
4	step 2	2751	140	35.4	30.8	762.7	106	87	81	701	43	59	50	457	100.7	141.8	2.65	2.67	2.67
5		2751	140	35.4	31.1	762.7	106	88	81	703	43	60	50	458	100.5	141.6	2.69	2.69	2.70
6		2751	140	34.8	31.1	762.8	106	87	81	702	43	59	49	458	100.0	141.4	2.66	2.66	2.67
7	step 3	2899	34	34.4	31.6	762.8	101	88	84	258	41	56	51	483	109.3	153.4	6.61	6.62	6.62
8		2899	33	33.9	30.0	762.8	100	88	85	252	41	53	50	485	109.3	153.4	6.78	6.79	6.80
9		2900	32	33.7	30.4	762.8	100	87	85	252	40	55	52	485	109.3	153.4	6.77	6.79	6.79
10	step 4	900	0	32.8	30.0	762.8	87	86	85	85	47	57	47	172	12.4	18.0	37.79	37.87	38.15
11		900	0	32.8	30.5	762.7	87	86	85	86	39	59	46	175	12.7	18.0	38.99	39.00	39.11
12		900	0	32.6	30.4	762.8	87	87	87	86	39	59	46	174	12.4	18.0	38.74	38.83	38.91

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3249	135	136.38	46.40	27.2	0.003799	294.70	1303.35	0.064922	0.0585	0.848	0.991370	0.989860	1.001526
2		3248	135	137.01	46.60	27.4	0.003779	291.96	1302.37	0.064897	0.0582	0.844	0.987519	0.985335	1.002217
3		3249	135	136.80	46.54	27.5	0.003758	290.64	1300.42	0.064849	0.0579	0.840	0.988799	0.986839	1.001986
4	step 2	2751	140	141.89	40.88	28.6	0.003175	279.62	984.60	0.056427	0.0563	0.815	0.988670	0.986687	1.002010
5		2751	140	141.89	40.88	28.9	0.003140	276.50	982.65	0.056371	0.0557	0.807	0.988670	0.986687	1.002010
6		2751	140	141.54	40.78	28.6	0.003168	279.72	977.76	0.056231	0.0563	0.817	0.990726	0.989103	1.001641
7	step 3	2899	34	34.32	10.42	18.2	0.001274	440.05	1068.69	0.058787	0.0217	0.314	0.992015	0.990617	1.001411
8		2899	33	33.25	10.09	18.1	0.001239	441.94	1068.69	0.058787	0.0211	0.305	0.993630	0.992515	1.001123
9		2900	32	32.22	9.78	17.5	0.001240	456.09	1068.69	0.058787	0.0211	0.306	0.994278	0.993276	1.001008
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	121.24	0.019801	0.0112	0.162	0.997202	0.996713	1.000491
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000215	-	124.18	0.020039	0.0107	0.155	0.997072	0.996559	1.000514
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000216	-	121.24	0.019801	0.0109	0.158	0.997855	0.997479	1.000376

ตารางที่ ๑ - 43 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 43 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	135	33.6	30.8	762.9	109	87	81	760	42	57	49	488	132.9	187.6	2.22	2.22	2.22
2		3248	134	34.6	32.4	763.0	109	87	81	755	43	58	50	486	132.1	187.8	2.22	2.22	2.23
3		3248	135	35.4	32.6	763.2	109	87	81	759	43	58	50	486	132.3	187.6	2.22	2.22	2.23
4	step 2	2751	140	35.2	32.2	763.6	106	87	81	697	43	59	49	457	101.0	141.8	2.67	2.67	2.64
5		2750	140	34.6	32.4	763.7	106	87	81	699	42	59	49	458	100.0	141.8	2.63	2.64	2.65
6		2750	140	34.6	32.4	763.9	106	87	81	696	42	59	49	457	100.0	141.8	2.63	2.64	2.66
7	step 3	2901	32	34.4	32.4	764.0	101	87	84	247	41	56	51	482	109.3	153.4	6.60	6.68	6.66
8		2900	31	33.6	31.6	764.0	100	87	85	240	40	55	51	484	109.3	153.4	6.85	6.89	6.83
9		2901	30	33.2	30.6	764.1	100	87	84	237	40	55	51	484	109.3	153.4	6.93	6.94	6.95
10	step 4	900	0	32.7	31.1	764.1	88	86	84	85	39	60	48	171	12.4	18.0	39.35	39.20	39.50
11		900	0	32.4	30.6	764.1	87	86	84	84	39	57	45	174	12.3	18.0	39.76	39.96	39.90
12		900	0	32.0	29.7	764.1	87	88	86	85	39	59	46	172	12.2	18.0	38.86	39.12	38.95

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	135	135.84	46.20	27.1	0.003786	294.97	1299.44	0.064824	0.0584	0.846	0.994732	0.993810	1.000928
2		3248	134	135.33	46.03	27.0	0.003792	296.56	1291.62	0.064629	0.0587	0.850	0.991630	0.990165	1.001479
3		3248	135	136.72	46.50	27.2	0.003801	294.24	1293.57	0.064678	0.0588	0.852	0.989318	0.987449	1.001893
4	step 2	2751	140	141.58	40.79	28.6	0.003173	280.06	987.54	0.056511	0.0561	0.814	0.990478	0.988812	1.001685
5		2750	140	141.24	40.67	28.3	0.003190	282.39	977.76	0.056231	0.0567	0.822	0.992540	0.991234	1.001317
6		2750	140	141.19	40.66	28.4	0.003186	282.04	977.76	0.056231	0.0567	0.821	0.992799	0.991539	1.001271
7	step 3	2901	32	32.24	9.80	17.2	0.001266	465.25	1068.69	0.058787	0.0215	0.312	0.993575	0.992451	1.001133
8		2900	31	31.14	9.46	17.2	0.001224	465.92	1068.69	0.058787	0.0208	0.302	0.996166	0.995495	1.000674
9		2901	30	30.08	9.14	16.8	0.001208	475.63	1068.69	0.058787	0.0205	0.298	0.997598	0.997177	1.000422
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000213	-	121.24	0.019801	0.0107	0.156	0.999228	0.999093	1.000135
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000210	-	120.26	0.019721	0.0106	0.154	1.000210	1.000246	0.999963
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000214	-	119.29	0.019641	0.0109	0.158	1.001521	1.001787	0.999734

ตารางที่ ๑ - 44 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 44 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)		
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	136	33.4	31.2	764.3	109	88	82	758	41	57	48	488	132.9	187.4	2.19	2.19	2.18
2		3248	135	34.4	32.2	764.5	109	87	81	759	42	57	49	488	132.9	187.6	2.20	2.21	2.20
3		3249	135	34.2	31.8	764.5	109	88	80	755	43	58	49	488	132.7	187.4	2.21	2.20	2.22
4	step 2	2750	140	34.8	31.8	764.5	106	87	82	698	42	58	48	459	132.9	141.8	2.63	2.64	2.64
5		2750	140	34.2	31.2	764.2	106	87	82	697	42	59	48	459	100.1	141.8	2.62	2.64	2.64
6		2750	141	34.7	31.6	764.1	106	88	81	704	42	58	48	458	100.0	141.8	2.63	2.63	2.64
7	step 3	2900	31	33.8	31.1	764.1	101	87	84	248	41	53	49	484	109.3	153.2	6.82	6.83	6.79
8		2900	30	32.6	30.4	764.1	101	88	85	241	40	55	51	485	109.3	153.4	6.70	6.68	6.65
9		2900	30	32.9	30.6	764.1	101	87	85	237	40	55	51	487	109.3	153.2	6.94	6.94	6.94
10	step 4	900	0	32.4	30.5	764.0	88	87	86	85	39	56	46	172	12.2	18.0	38.46	38.51	38.70
11		900	0	32.2	29.9	763.9	87	87	86	85	39	59	46	173	12.2	18.0	38.97	39.11	39.21
12		900	0	32.1	30.2	763.9	87	87	85	85	39	56	44	175	12.2	18.0	39.20	39.50	39.53

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (kW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	136	136.45	46.41	26.9	0.003834	297.39	1299.44	0.064824	0.0591	0.857	0.997208	0.996719	1.000490
2		3248	135	135.92	46.23	26.9	0.003816	297.17	1299.44	0.064824	0.0589	0.853	0.994225	0.993215	1.001017
3		3249	135	135.82	46.21	46.21	27.0	0.003802	296.22	1297.48	0.064775	0.0587	0.851	0.994872	0.993975
4	step 2	2750	140	141.17	40.65	28.3	0.003193	282.76	1299.44	0.064824	0.0493	0.714	0.992934	0.991697	1.001247
5		2750	140	140.91	40.58	28.3	0.003192	283.20	978.74	0.056259	0.0567	0.822	0.994482	0.993516	1.000972
6		2750	141	142.21	40.95	40.95	28.5	0.003198	281.10	977.76	0.056231	0.0569	0.824	0.992737	0.991466
7	step 3	2900	31	31.16	9.46	17.1	0.001232	468.84	1068.69	0.058787	0.0210	0.304	0.995648	0.994886	1.000766
8		2900	30	30.02	9.12	16.2	0.001253	494.73	1068.69	0.058787	0.0213	0.309	0.999555	0.999477	1.000078
9		2900	30	30.05	9.13	9.13	16.8	0.001206	475.88	1068.69	0.058787	0.0205	0.297	0.998575	0.998326
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000217	-	119.29	0.019641	0.0110	0.160	1.000079	1.000092	0.999986
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000214	-	119.29	0.019641	0.0109	0.158	1.000603	1.000708	0.999895
12		900	0	0.00	0.00	0.00	-	0.000212	-	119.29	0.019641	0.0108	0.156	1.000930	1.001093

ตารางที่ ๑ - 45 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 45 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	135	34.0	30.7	761.2	113	87	81	770	41	53	46	515	131.3	187.0	2.17	2.17	2.16
2		3248	135	35.0	31.0	761.1	113	87	81	765	42	57	49	512	131.4	187.0	2.16	2.16	2.15
3		3249	135	35.4	33.0	761.0	113	87	81	760	42	54	48	510	131.3	187.0	2.17	2.18	2.16
4	step 2	2750	139	35.5	32.5	760.8	109	87	81	704	42	59	50	471	96.0	139.4	2.54	2.54	2.56
5		2750	140	34.8	31.9	760.7	109	87	81	704	43	59	50	467	98.2	139.4	2.56	2.58	2.58
6		2750	140	35.2	31.7	760.8	109	87	81	704	43	59	50	463	98.2	138.8	2.55	2.55	2.53
7	step 3	2900	33	35.0	33.8	760.9	104	87	85	251	42	57	53	488	108.3	152.2	6.38	6.36	6.42
8		2900	32	34.6	31.6	760.9	104	87	85	246	41	56	53	488	108.3	152.6	6.48	6.50	6.52
9		2900	32	34.4	31.5	760.9	104	87	85	246	41	56	53	488	108.3	152.6	6.39	6.41	6.45
10	step 4	900	0	33.8	31.4	761.0	91	88	87	86	40	61	51	170	11.6	18.0	39.19	38.93	38.83
11		900	0	33.6	30.8	760.9	88	88	87	85	40	61	49	176	11.6	18.0	39.67	39.16	38.92
12		900	0	33.4	31.4	761.0	88	88	87	85	40	61	48	176	11.6	18.0	39.30	39.43	39.42

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	135	137.26	46.69	26.4	0.003854	297.15	1283.80	0.064433	0.0598	0.867	0.991223	0.983543	1.007808
2		3248	135	138.14	46.99	26.4	0.003884	297.63	1284.77	0.064457	0.0603	0.873	0.987876	0.977268	1.010855
3		3249	135	138.51	47.13	26.6	0.003866	295.33	1283.80	0.064433	0.0600	0.870	0.986466	0.974624	1.012150
4	step 2	2750	139	142.78	41.12	27.2	0.003296	288.60	938.65	0.055095	0.0598	0.867	0.985887	0.973539	1.012684
5		2750	140	143.22	41.25	27.6	0.003255	284.12	960.16	0.055722	0.0584	0.847	0.987998	0.977497	1.010743
6		2750	140	143.54	41.34	27.3	0.003297	287.17	960.16	0.055722	0.0592	0.858	0.986847	0.975337	1.011800
7	step 3	2900	33	33.78	10.26	17.0	0.001312	460.38	1058.91	0.058518	0.0224	0.325	0.987617	0.976782	1.011093
8		2900	32	32.68	9.92	16.8	0.001288	467.03	1058.91	0.058518	0.0220	0.319	0.988901	0.979188	1.009918
9		2900	32	32.64	9.91	16.6	0.001303	473.37	1058.91	0.058518	0.0223	0.323	0.989544	0.980394	1.009332
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000214	-	113.42	0.019152	0.0112	0.162	0.991608	0.984265	1.007460
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000213	-	113.42	0.019152	0.0111	0.161	0.992124	0.985233	1.006995
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000212	-	113.42	0.019152	0.0111	0.160	0.992902	0.986691	1.006294

ตารางที่ จ - 46 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 46 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	136	34.3	31.7	761.1	113	87	81	760	42	57	49	494	132.7	188.6	2.15	2.15	2.16
2		3248	135	35.6	33.0	761.5	113	87	81	760	43	58	50	491	132.1	188.2	2.15	2.15	2.14
3		3249	136	35.5	32.6	761.6	113	88	81	758	43	59	50	491	132.0	188.2	2.15	2.15	2.14
4	step 2	2751	139	35.2	32.6	762.7	109	87	81	702	43	59	50	460	98.6	140.0	2.56	2.54	2.55
5		2751	139	35.2	33.4	761.9	109	87	81	702	43	59	50	460	97.8	140.0	2.56	2.56	2.54
6		2751	140	35.0	32.2	762.1	109	87	81	703	43	59	49	460	98.6	140.0	2.54	2.54	2.56
7	step 3	2900	34	34.2	32.5	762.1	104	87	85	248	41	56	51	488	107.5	152.6	6.47	6.47	6.46
8		2900	34	33.2	31.0	762.4	104	87	85	248	40	56	51	488	108.7	153.0	6.28	6.30	6.30
9		2900	34	33.2	30.8	762.5	104	87	85	245	40	55	51	488	108.7	153.0	6.43	6.44	6.40
10	step 4	900	0	32.8	31.0	762.8	90	88	87	85	40	60	48	171	11.7	18.4	38.41	38.12	38.47
11		900	0	32.4	30.7	762.9	88	88	87	85	39	60	47	175	11.7	18.4	38.82	38.95	39.36
12		900	0	32.2	30.4	762.9	88	88	87	85	39	60	46	177	11.7	18.4	39.55	39.05	39.32

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	136	138.57	47.13	26.5	0.003882	296.50	1297.48	0.064775	0.0599	0.868	0.990126	0.981486	1.008803
2		3248	135	138.51	47.11	26.3	0.003908	298.63	1291.62	0.064629	0.0605	0.876	0.986475	0.974640	1.012142
3		3249	136	139.42	47.43	26.5	0.003906	296.47	1290.64	0.064604	0.0605	0.876	0.986924	0.975483	1.011729
4	step 2	2751	139	141.84	40.86	27.1	0.003281	289.02	964.07	0.055836	0.0588	0.852	0.989311	0.979958	1.009544
5		2751	139	142.12	40.94	27.2	0.003280	288.37	956.25	0.055609	0.0590	0.855	0.988273	0.978013	1.010491
6		2751	140	142.90	41.17	27.3	0.003285	287.29	964.07	0.055836	0.0588	0.853	0.989174	0.979702	1.009669
7	step 3	2900	34	34.53	10.49	17.7	0.001290	442.96	1051.09	0.058301	0.0221	0.321	0.991749	0.984530	1.007333
8		2900	34	34.30	10.42	17.2	0.001321	456.63	1062.82	0.058626	0.0225	0.327	0.995378	0.991334	1.004080
9		2900	34	34.29	10.41	17.5	0.001294	447.44	1062.82	0.058626	0.0221	0.320	0.995509	0.991579	1.003963
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000217	-	114.40	0.019234	0.0113	0.163	0.997202	0.994754	1.002461
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000212	-	114.40	0.019234	0.0110	0.160	0.998639	0.997448	1.001194
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000211	-	114.40	0.019234	0.0110	0.159	0.999293	0.998674	1.000620

ตารางที่ จ-47 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 47 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	136	33.6	31.6	763.0	113	87	81	760	42	58	49	489	132.7	189.0	2.14	2.14	2.15
2		3250	135	34.8	32.6	763.2	113	87	81	760	42	58	49	489	132.5	188.6	2.14	2.14	2.14
3		3250	135	34.8	32.4	763.5	113	87	81	756	43	57	49	488	132.3	188.6	2.14	2.14	2.15
4	step 2	2750	139	34.5	32.3	763.8	110	88	81	697	42	58	49	461	98.5	140.2	2.55	2.55	2.54
5		2750	140	34.1	31.4	763.8	109	87	81	696	42	58	49	460	99.0	140.2	2.56	2.56	2.55
6		2750	141	33.5	30.9	763.8	110	87	81	697	42	54	47	460	99.0	140.2	2.55	2.55	2.54
7	step 3	2900	33	32.8	30.4	763.8	104	88	84	241	40	55	50	490	108.7	153.0	6.56	6.57	6.58
8		2901	33	32.6	30.6	763.8	104	88	84	239	40	55	50	489	108.7	153.0	6.55	6.56	6.57
9		2901	33	32.4	30.2	763.8	104	88	85	239	39	52	48	487	108.7	153.0	6.55	6.56	6.57
10	step 4	900	0	32.2	30.4	763.5	89	87	86	84	39	59	47	176	11.7	18.2	38.21	38.25	38.11
11		900	0	31.9	29.8	763.5	88	87	86	85	38	56	44	178	11.7	18.2	38.29	38.44	38.36
12		900	0	30.4	29.3	763.5	88	87	86	85	38	58	44	178	11.7	18.2	38.38	38.59	38.51

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	136	137.32	46.74	26.2	0.003881	298.96	1297.48	0.064775	0.0599	0.868	0.994862	0.990367	1.004539
2		3250	135	137.25	46.71	26.1	0.003901	300.67	1295.53	0.064727	0.0603	0.874	0.991245	0.983585	1.007788
3		3250	135	137.15	46.68	26.1	0.003894	300.31	1293.57	0.064678	0.0602	0.873	0.991635	0.984316	1.007436
4	step 2	2750	139	140.85	40.56	27.0	0.003273	290.46	963.09	0.055808	0.0586	0.850	0.992992	0.986860	1.006214
5		2750	140	141.52	40.75	27.3	0.003256	287.59	967.98	0.055949	0.0582	0.843	0.994285	0.989284	1.005055
6		2750	141	142.00	40.89	27.3	0.003262	287.16	967.98	0.055949	0.0583	0.845	0.996230	0.992932	1.003322
7	step 3	2900	33	33.09	10.05	17.4	0.001262	451.91	1062.82	0.058626	0.0215	0.312	0.998510	0.997206	1.001308
8		2901	33	33.05	10.04	17.3	0.001263	452.70	1062.82	0.058626	0.0215	0.312	0.999163	0.998430	1.000734
9		2901	33	33.01	10.03	17.3	0.001262	452.96	1062.82	0.058626	0.0215	0.312	0.999817	0.999657	1.000160
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000217	-	114.40	0.019234	0.0113	0.163	1.000079	1.000148	0.999931
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000215	-	114.40	0.019234	0.0112	0.162	1.001062	1.001992	0.999072
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000214	-	114.40	0.019234	0.0111	0.161	1.006009	1.011267	0.994801

ตารางที่ จ-48 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 48 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3246	137	32.4	30.0	763.2	113	87	81	752	39	56	48	490	133.1	189.4	2.13	2.13	2.12
2		3246	137	32.7	30.4	763.0	113	87	81	755	40	56	48	491	132.5	188.8	2.13	2.13	2.12
3		3247	137	33.0	30.4	762.9	113	87	81	75	41	53	46	490	132.5	188.6	2.12	2.13	2.12
4	step 2	2750	141	32.7	30.4	762.6	110	87	81	700	41	57	47	462	98.8	140.2	2.54	2.54	2.53
5		2750	141	32.3	30.4	762.6	110	88	82	699	40	57	47	462	98.5	139.8	2.53	2.52	2.53
6		2750	142	33.0	30.8	762.5	110	87	82	698	41	57	47	462	98.8	140.2	2.52	2.52	2.53
7	step 3	2901	33	32.0	30.2	762.3	104	88	84	245	39	55	49	488	108.8	153.0	6.41	6.41	6.45
8		2901	34	31.2	29.6	762.2	104	87	85	240	38	54	49	488	108.7	153.0	6.26	6.33	6.30
9		2901	33	31.0	29.4	762.2	104	87	85	239	38	54	49	490	108.9	153.0	6.42	6.42	6.43
10	step 4	900	0	30.8	29.4	762.0	89	86	85	84	37	58	46	177	11.7	18.4	38.24	38.27	38.07
11		900	0	30.8	30.0	762.0	88	87	86	85	37	58	45	178	11.7	18.4	38.32	38.37	37.96
12		900	0	30.4	30.4	761.9	88	88	86	85	37	58	44	180	11.7	18.4	37.90	37.86	38.13

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3246	137	137.25	46.65	26.1	0.003895	300.58	1301.40	0.064873	0.0600	0.870	0.999031	0.998184	1.000849
2		3246	137	137.57	46.76	26.1	0.003900	300.25	1295.53	0.064727	0.0603	0.873	0.997790	0.995856	1.001942
3		3247	137	137.86	46.88	26.1	0.003911	300.34	1295.53	0.064727	0.0604	0.876	0.996682	0.993778	1.002922
4	step 2	2750	141	141.73	40.81	27.2	0.003271	288.56	966.02	0.055892	0.0585	0.848	0.997267	0.994875	1.002404
5		2750	141	141.38	40.71	27.0	0.003280	290.04	963.09	0.055808	0.0588	0.852	0.998573	0.997324	1.001252
6		2750	142	143.03	41.19	27.3	0.003292	287.76	966.02	0.055892	0.0589	0.854	0.996159	0.992798	1.003385
7	step 3	2901	33	33.05	10.04	17.0	0.001290	462.33	1063.80	0.058653	0.0220	0.319	0.999161	0.998428	1.000735
8		2901	34	33.89	10.30	17.1	0.001312	458.76	1062.82	0.058626	0.0224	0.324	1.001656	1.003106	0.998555
9		2901	33	32.86	9.98	16.9	0.001285	463.61	1064.78	0.058680	0.0219	0.317	1.002315	1.004340	0.997983
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000216	-	114.40	0.019234	0.0112	0.163	1.002711	1.005084	0.997640
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000216	-	114.40	0.019234	0.0112	0.163	1.002711	1.005084	0.997640
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000217	-	114.40	0.019234	0.0113	0.164	1.003901	1.007314	0.996612

ตารางที่ ๑ -49 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 49 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3249	137	30.5	29.4	761.8	113	87	81	750	38	55	46	495	132.6	188.8	2.11	2.11	2.11
2		3248	138	31.8	29.7	761.8	113	87	80	754	40	55	47	491	132.5	188.6	2.11	2.11	2.11
3		3248	138	32.0	30.0	761.8	113	87	82	751	39	55	47	493	131.3	188.2	2.11	2.11	2.11
4	step 2	2750	142	31.7	30.2	761.8	110	88	81	696	39	56	46	463	98.6	141.0	2.52	2.52	2.51
5		2750	142	31.8	29.6	761.8	110	88	81	698	39	56	46	464	98.8	139.8	2.52	2.52	2.51
6		2750	142	31.6	29.9	761.9	110	87	81	697	39	56	46	462	98.0	139.4	2.50	2.50	2.51
7	step 3	2900	34	31.0	29.0	762.0	104	87	85	243	38	53	48	491	108.6	152.8	6.43	6.43	6.45
8		2900	34	30.7	29.2	761.9	104	87	85	240	36	53	48	488	108.6	152.8	6.39	6.37	6.34
9		2900	34	30.5	28.8	761.9	104	87	85	239	37	53	48	488	108.8	152.8	6.39	6.40	6.41
10	step 4	900	0	30.2	28.2	761.9	90	88	87	85	36	58	46	174	11.6	18.2	37.67	37.60	37.67
11		900	0	29.8	28.0	761.9	88	87	87	85	36	58	44	176	11.6	18.2	38.21	38.44	38.39
12		900	0	29.6	27.7	762.1	88	88	87	85	36	58	43	178	11.6	18.2	38.46	38.66	38.43

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3249	137	136.12	46.31	25.8	0.003909	303.84	1296.51	0.064751	0.0604	0.875	1.003438	1.006447	0.997011
2		3248	138	138.22	47.01	26.1	0.003926	300.61	1295.53	0.064727	0.0606	0.879	0.999161	0.998427	1.000735
3		3248	138	138.39	47.07	26.1	0.003928	300.43	1283.80	0.064433	0.0610	0.884	0.998506	0.997199	1.001311
4	step 2	2750	142	142.14	40.93	27.1	0.003290	289.37	964.07	0.055836	0.0589	0.854	0.999489	0.999041	1.000448
5		2750	142	142.22	40.96	27.1	0.003291	289.29	966.02	0.055892	0.0589	0.853	0.999161	0.998427	1.000735
6		2750	142	142.01	40.90	26.9	0.003306	291.03	958.20	0.055666	0.0594	0.861	0.999948	0.999902	1.000046
7	step 3	2900	34	33.87	10.29	17.5	0.001283	449.09	1061.85	0.058599	0.0219	0.317	1.002052	1.003847	0.998211
8		2900	34	33.82	10.27	17.3	0.001296	454.37	1061.85	0.058599	0.0221	0.321	1.002910	1.005456	0.997468
9		2900	34	33.77	10.26	17.3	0.001289	452.26	1063.80	0.058653	0.0220	0.318	1.003570	1.006694	0.996897
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000219	-	113.42	0.019152	0.0114	0.166	1.004563	1.008555	0.996042
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000215	-	113.42	0.019152	0.0112	0.162	1.005889	1.011042	0.994903
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000213	-	113.42	0.019152	0.0111	0.161	1.006818	1.012783	0.994110

ตารางที่ ๑-50 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วิจัยการทดสอบที่ 50 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	138	31.6	29.6	762.7	113	88	82	755	36	52	45	504	132.7	189.0	2.09	2.09	2.09
2		3249	138	32.2	30.0	762.8	113	87	81	751	38	54	47	504	132.7	189.0	2.09	2.10	2.10
3		3250	138	33.2	31.2	762.2	113	88	80	748	40	55	48	499	132.5	188.6	2.10	2.10	2.10
4	step 2	2750	141	33.4	31.0	762.0	110	88	81	690	40	57	48	475	98.2	139.8	2.53	2.51	2.52
5		2751	141	33.8	31.2	762.0	109	87	82	686	39	57	48	475	98.4	139.8	2.53	2.52	2.52
6		2751	141	34.0	31.0	761.7	110	88	81	688	40	57	48	473	98.2	139.4	2.52	2.52	2.51
7	step 3	2902	30	33.6	31.0	761.5	104	87	83	231	39	55	51	497	108.7	153.0	6.58	6.58	6.59
8		2902	31	33.6	31.0	761.5	104	88	84	231	40	55	52	495	108.8	153.0	6.54	6.54	6.55
9		2901	31	33.5	31.1	761.5	104	88	84	229	39	55	51	495	108.7	153.0	6.51	6.51	6.52
10	step 4	900	0	33.2	30.9	761.3	89	86	85	85	39	60	49	177	11.4	18.2	38.13	38.14	38.17
11		900	0	32.9	31.1	761.2	88	88	87	85	39	60	47	178	11.4	18.2	38.10	38.13	38.38
12		900	0	32.9	31.2	761.1	88	86	85	86	39	60	46	180	11.4	18.0	38.09	38.17	38.06

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	138	137.74	46.88	25.8	0.003956	303.78	1297.48	0.064775	0.0611	0.885	1.000998	1.001871	0.999129
2		3249	138	138.22	47.03	25.9	0.003951	302.42	1297.48	0.064775	0.0610	0.884	0.999162	0.998428	1.000735
3		3250	138	139.28	47.40	26.1	0.003960	300.78	1295.53	0.064727	0.0612	0.887	0.995117	0.990844	1.004312
4	step 2	2750	141	142.55	41.05	27.1	0.003303	289.68	960.16	0.055722	0.0593	0.859	0.994207	0.989138	1.005125
5		2751	141	142.90	41.17	27.2	0.003303	288.86	962.11	0.055779	0.0592	0.858	0.992911	0.986708	1.006286
6		2751	141	143.18	41.25	27.1	0.003315	289.36	960.16	0.055722	0.0595	0.862	0.991874	0.984764	1.007220
7	step 3	2902	30	30.40	9.24	15.9	0.001266	493.29	1062.82	0.058626	0.0216	0.313	0.992907	0.986700	1.006290
8		2902	31	31.42	9.55	16.3	0.001274	480.30	1063.80	0.058653	0.0217	0.315	0.992907	0.986700	1.006290
9		2901	31	31.40	9.54	16.2	0.001279	482.82	1062.82	0.058626	0.0218	0.316	0.993230	0.987307	1.006000
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000218	-	111.46	0.018986	0.0115	0.167	0.993942	0.988641	1.005362
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000218	-	111.46	0.018986	0.0115	0.166	0.994786	0.990223	1.004608
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000218	-	111.46	0.018986	0.0115	0.167	0.994655	0.989978	1.004724

ตารางที่ จ-51 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วิจัยการทดสอบที่ 51 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	136	34.0	32.0	761.0	112	87	81	742	41	57	49	499	132.3	188.6	2.10	2.10	2.11
2		3249	134	35.0	32.1	760.8	113	88	80	743	42	58	50	496	131.7	187.8	2.11	2.11	2.11
3		3248	135	35.4	32.8	760.7	113	88	80	740	42	58	50	495	131.5	187.8	2.11	2.11	2.11
4	step 2	2751	140	35.4	32.7	760.5	110	88	80	686	42	59	50	468	98.0	140.4	2.52	2.52	2.51
5		2751	141	36.0	33.8	760.1	110	88	82	689	43	59	50	469	99.4	140.0	2.51	2.51	2.51
6		2751	139	35.7	33.2	760.3	110	88	80	690	42	59	50	467	98.8	139.4	2.51	2.51	2.50
7	step 3	2901	32	34.8	32.2	760.2	104	87	84	232	41	56	52	490	108.7	152.8	6.48	6.47	6.47
8		2901	32	34.8	31.6	760.1	104	88	84	232	41	56	53	493	109.0	152.6	6.34	6.38	6.39
9		2900	32	34.3	31.2	760.0	104	87	85	230	40	56	52	491	109.2	152.6	6.34	6.35	6.33
10	step 4	900	0	34.3	31.0	759.8	89	87	86	84	41	62	51	177	12.6	18.0	37.72	37.77	38.09
11		900	0	33.8	30.7	759.8	88	87	86	85	40	61	49	179	12.6	17.2	38.19	38.17	37.97
12		900	0	33.6	31.9	759.8	88	88	87	86	40	61	48	179	12.7	18.0	38.40	38.03	38.13

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	136	137.46	46.75	25.9	0.004011	308.83	1293.57	0.064678	0.0620	0.899	0.990962	0.989381	1.001599
2		3249	134	136.00	46.27	25.6	0.004012	312.16	1287.71	0.064531	0.0622	0.901	0.987487	0.985297	1.002222
3		3248	135	137.25	46.68	25.8	0.004018	309.87	1285.75	0.064482	0.0623	0.903	0.986077	0.983641	1.002477
4	step 2	2751	140	142.37	41.02	27.1	0.003370	295.76	958.20	0.055666	0.0605	0.877	0.985818	0.983336	1.002524
5		2751	141	143.81	41.43	27.2	0.003387	294.31	971.89	0.056062	0.0604	0.876	0.983387	0.980480	1.002965
6		2751	139	141.56	40.78	26.8	0.003387	299.01	966.02	0.055892	0.0606	0.878	0.984601	0.981907	1.002744
7	step 3	2901	32	32.48	9.87	16.8	0.001308	477.18	1062.82	0.058626	0.0223	0.323	0.987349	0.985135	1.002247
8		2901	32	32.49	9.87	16.5	0.001329	484.91	1065.76	0.058707	0.0226	0.328	0.987219	0.984983	1.002271
9		2900	32	32.43	9.85	16.4	0.001334	487.50	1067.71	0.058761	0.0227	0.329	0.988695	0.986716	1.002005
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000223	-	123.20	0.019960	0.0112	0.162	0.988434	0.986410	1.002052
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	123.20	0.019960	0.0111	0.161	0.990045	0.988302	1.001763
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	124.18	0.020039	0.0110	0.160	0.990690	0.989061	1.001647

ตารางที่ จ-52 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 52 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	135	34.6	32.0	759.8	113	87	80	750	41	58	50	495	133.1	188.0	2.09	2.09	2.09
2		3248	134	35.6	32.4	759.7	113	87	81	748	43	58	51	491	132.9	189.0	2.10	2.10	2.10
3		3249	136	35.8	32.9	759.5	113	88	80	743	43	58	51	492	132.7	188.0	2.09	2.09	2.09
4	step 2	2752	139	36.6	34.0	759.5	110	87	81	693	45	60	51	466	99.2	140.0	2.51	2.51	2.51
5		2751	140	36.6	34.3	759.7	110	87	80	691	44	60	50	465	99.4	140.0	2.49	2.49	2.52
6		2751	139	36.0	34.0	759.7	110	87	80	693	44	60	50	464	99.2	140.0	2.49	2.51	2.50
7	step 3	2901	32	35.5	34.0	760.0	104	87	85	232	42	57	52	488	109.1	152.6	6.41	6.42	6.38
8		2901	31	35.2	33.6	760.0	104	87	85	227	41	56	52	490	109.1	152.6	6.36	6.39	6.40
9		2901	31	34.5	32.8	760.1	104	87	85	224	41	56	52	491	108.7	152.6	6.40	6.42	6.46
10	step 4	900	0	33.6	32.0	760.2	91	87	85	84	40	61	50	174	12.6	18.0	37.59	37.33	37.50
11		900	0	33.0	31.5	760.4	88	87	86	85	40	60	48	179	12.6	18.0	38.10	38.02	38.23
12		900	0	32.9	31.3	760.5	88	87	86	85	40	60	47	180	12.6	18.0	38.20	38.25	38.12

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	135	137.02	46.63	25.6	0.004051	312.72	1301.40	0.064873	0.0624	0.905	0.987471	0.985278	1.002225
2		3248	134	136.54	46.44	25.5	0.004045	313.56	1299.44	0.064824	0.0624	0.904	0.984143	0.981368	1.002828
3		3249	136	138.73	47.20	25.8	0.004068	310.28	1297.48	0.064775	0.0628	0.910	0.983247	0.980315	1.002991
4	step 2	2752	139	142.22	40.99	26.8	0.003396	298.29	969.94	0.056005	0.0606	0.879	0.980708	0.977331	1.003454
5		2751	140	143.20	41.25	26.9	0.003409	297.47	971.89	0.056062	0.0608	0.881	0.980966	0.977635	1.003407
6		2751	139	141.86	40.87	26.7	0.003402	299.71	969.94	0.056005	0.0607	0.880	0.982870	0.979872	1.003059
7	step 3	2901	32	32.58	9.90	16.6	0.001326	482.18	1066.73	0.058734	0.0226	0.327	0.984851	0.982200	1.002699
8		2901	31	31.53	9.58	16.0	0.001329	499.38	1066.73	0.058734	0.0226	0.328	0.985809	0.983325	1.002526
9		2901	31	31.44	9.55	16.1	0.001316	496.22	1062.82	0.058626	0.0225	0.325	0.988182	0.986114	1.002097
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000225	-	123.20	0.019960	0.0113	0.163	0.991212	0.989674	1.001554
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	123.20	0.019960	0.0111	0.160	0.993415	0.992263	1.001161
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000220	-	123.20	0.019960	0.0110	0.160	0.993871	0.992798	1.001080

ตารางที่ จ-53 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 53 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	135	34.6	32.2	760.7	113	87	81	748	42	58	50	493	133.3	188.0	2.07	2.07	2.07
2		3247	136	34.6	32.7	760.9	113	87	80	743	42	57	49	491	133.1	188.0	2.08	2.09	2.09
3		3247	136	35.4	33.1	761.2	113	87	81	745	43	58	50	490	133.0	188.0	2.08	2.08	2.08
4	step 2	2752	140	34.4	33.0	761.2	110	87	82	697	43	58	49	464	99.4	140.0	2.49	2.49	2.48
5		2752	140	34.7	33.0	761.5	110	87	80	698	43	59	49	464	99.2	140.0	2.47	2.47	2.48
6		2752	140	34.6	33.0	761.5	110	87	82	701	43	59	49	463	99.4	140.0	2.47	2.47	2.49
7	step 3	2902	30	32.8	31.6	762.1	102	87	84	220	39	54	49	485	110.5	153.0	6.44	6.42	6.43
8		2900	30	32.4	31.2	762.2	102	87	85	218	39	54	50	482	110.3	153.0	6.44	6.45	6.44
9		2902	30	32.3	31.1	762.2	102	88	84	218	38	54	50	482	110.5	153.0	6.44	6.45	6.48
10	step 4	900	0	31.9	31.0	762.5	88	86	85	86	38	59	47	182	12.8	18.2	37.28	37.44	37.51
11		900	0	31.8	31.0	762.5	88	86	85	87	38	59	46	181	12.9	18.0	37.70	37.60	37.67
12		900	0	31.5	30.3	762.5	88	87	85	88	38	59	45	181	12.9	18.0	37.77	37.94	37.88

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (kW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	135	136.83	46.54	25.3	0.004085	316.00	1303.35	0.064922	0.0629	0.912	0.988641	0.986653	1.002015
2		3247	136	137.80	46.85	25.7	0.004051	311.28	1301.40	0.064873	0.0625	0.905	0.988901	0.986958	1.001968
3		3247	136	138.15	46.98	25.6	0.004073	312.16	1300.42	0.064849	0.0628	0.910	0.986725	0.984402	1.002360
4	step 2	2752	140	141.68	40.83	26.7	0.003396	299.44	971.89	0.056062	0.0606	0.878	0.989934	0.988172	1.001783
5		2752	140	141.77	40.86	26.6	0.003416	301.03	969.94	0.056005	0.0610	0.884	0.989359	0.987497	1.001886
6		2752	140	141.72	40.84	26.6	0.003411	300.64	971.89	0.056062	0.0608	0.882	0.989680	0.987874	1.001828
7	step 3	2902	30	30.13	9.16	15.6	0.001305	513.06	1080.42	0.059109	0.0221	0.320	0.996287	0.995638	1.000653
8		2900	30	30.08	9.14	15.6	0.001300	512.48	1078.47	0.059056	0.0220	0.319	0.997722	0.997324	1.000400
9		2902	30	30.07	9.14	15.7	0.001297	511.10	1080.42	0.059109	0.0219	0.318	0.998049	0.997708	1.000342
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	125.15	0.020118	0.0111	0.161	0.999751	0.999708	1.000044
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	126.13	0.020196	0.0110	0.159	1.000079	1.000093	0.999986
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	126.13	0.020196	0.0109	0.158	1.001064	1.001250	0.999814

ตารางที่ จ-54 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 54 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	137	32.8	30.6	762.5	113	87	81	750	40	56	47	492	133.3	188.0	2.05	2.06	2.06
2		3248	136	33.0	31.2	762.6	113	87	81	74	41	56	48	491	133.1	188.4	2.08	2.06	2.07
3		3248	136	33.2	32.8	762.5	114	88	80	740	40	56	48	492	132.7	187.4	2.05	2.06	2.07
4	step 2	2752	142	32.8	30.9	762.5	110	88	81	688	40	57	47	466	100.0	141.0	2.45	2.45	2.45
5		2752	142	32.6	30.8	762.1	110	88	81	687	40	57	47	467	96.6	140.6	2.47	2.46	2.46
6		2752	142	32.6	30.9	761.9	110	88	81	689	40	56	47	465	99.8	140.6	2.45	2.46	2.46
7	step 3	2900	34	32.2	31.6	761.8	104	88	84	229	38	54	48	490	109.5	152.6	6.25	6.23	6.24
8		2900	34	32.0	30.7	761.8	104	87	84	227	38	54	48	490	109.5	152.6	6.22	6.22	6.23
9		2899	34	31.8	30.5	761.8	104	88	84	226	37	54	48	490	109.5	152.6	6.21	6.22	6.23
10	step 4	937	3	31.6	30.6	761.5	90	88	87	85	37	59	46	176	12.8	17.8	37.45	37.46	37.42
11		941	3	31.0	30.2	761.5	88	87	86	86	37	58	44	181	12.8	18.0	37.80	37.78	37.81
12		938	3	30.6	29.7	761.3	88	87	86	86	36	58	44	181	12.8	17.8	38.02	38.04	37.98

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	137	137.52	46.77	25.5	0.004078	313.86	1303.35	0.064922	0.0628	0.910	0.996810	0.996252	1.000560
2		3248	136	136.60	46.46	25.5	0.004054	314.10	1301.40	0.064873	0.0625	0.906	0.996290	0.995640	1.000652
3		3248	136	136.72	46.50	25.4	0.004077	315.58	1297.48	0.064775	0.0629	0.912	0.995509	0.994723	1.000790
4	step 2	2752	142	142.53	41.08	26.7	0.003423	300.01	977.76	0.056231	0.0609	0.882	0.996810	0.996252	1.000560
5		2752	142	142.51	41.07	26.8	0.003404	298.39	944.51	0.055267	0.0616	0.893	0.996939	0.996403	1.000538
6		2752	142	142.56	41.08	26.7	0.003414	299.19	975.80	0.056175	0.0608	0.881	0.996677	0.996096	1.000584
7	step 3	2900	34	34.09	10.35	17.1	0.001343	466.93	1070.64	0.058841	0.0228	0.331	0.997852	0.997476	1.000377
8		2900	34	34.06	10.34	17.1	0.001345	468.24	1070.64	0.058841	0.0229	0.331	0.998506	0.998245	1.000262
9		2899	34	34.03	10.33	17.1	0.001345	468.70	1070.64	0.058841	0.0229	0.331	0.999161	0.999014	1.000147
10	step 4	937	3	3.00	0.29	-	0.000223	-	125.15	0.020118	0.0111	0.161	0.999423	0.999322	1.000101
11		941	3	3.00	0.30	-	0.000221	-	125.15	0.020118	0.0110	0.159	1.001394	1.001638	0.999756
12		938	3	2.99	0.29	-	0.000219	-	125.15	0.020118	0.0109	0.158	1.002450	1.002878	0.999573

ตารางที่ จ-55 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 55 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3249	135	28.4	27.8	763.1	108	88	81	768	344	49	41	508	137.9	198.0	2.01	2.01	2.01
2		3248	133	29.7	28.7	763.1	109	88	82	766	37	53	43	506	136.5	196.4	2.02	2.02	2.02
3		3248	134	30.0	29.2	763.1	109	88	81	765	38	53	43	510	136.9	196.4	2.01	2.02	2.01
4	step 2	2751	139	30.0	29.2	762.9	105	88	81	708	38	54	43	475	102.6	147.4	2.41	2.41	2.41
5		2751	139	32.3	29.6	762.5	105	88	81	708	39	51	41	475	103.4	146.0	2.41	2.40	2.41
6		2751	138	30.4	29.5	762.3	105	88	81	707	39	55	43	475	102.2	147.0	2.42	2.42	2.42
7	step 3	2899	22	29.0	28.8	762.6	100	87	84	245	36	52	45	504	111.3	159.4	6.92	6.91	6.90
8		2900	24	28.2	27.8	762.5	100	88	85	247	36	51	45	503	111.3	159.8	6.80	6.81	6.79
9		2900	24	28.0	27.7	762.2	99	88	84	244	36	51	45	503	110.8	159.8	6.80	6.80	6.79
10	step 4	900	0	28.0	27.4	762.0	88	88	87	96	35	58	44	170	12.9	18.2	37.18	37.35	37.35
11		900	0	27.5	27.2	761.9	86	87	86	92	34	57	41	172	12.9	18.4	37.52	37.45	37.47
12		900	0	27.4	27.0	761.8	86	88	87	93	34	57	41	171	12.9	18.4	37.56	37.66	37.69

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3249	135	133.10	45.29	24.5	0.004109	326.67	1348.33	0.066032	0.0622	0.902	1.012151	1.014277	0.997904
2		3248	133	131.79	44.83	24.3	0.004107	329.80	1334.64	0.065696	0.0625	0.906	1.007806	1.009172	0.998646
3		3248	134	132.94	45.22	24.4	0.004124	328.37	1338.55	0.065793	0.0627	0.908	1.006809	1.008000	0.998818
4	step 2	2751	139	137.94	39.74	25.6	0.003446	312.21	1003.18	0.056957	0.0605	0.877	1.006545	1.007690	0.998863
5		2751	139	139.25	40.12	25.6	0.003479	312.21	1011.00	0.057179	0.0608	0.882	0.998442	0.998169	1.000273
6		2751	138	137.29	39.55	25.6	0.003439	313.06	999.27	0.056846	0.0605	0.877	1.004428	1.005203	0.999229
7	step 3	2899	22	21.76	6.61	12.3	0.001198	653.20	1088.24	0.059323	0.0202	0.293	1.009479	1.011138	0.998359
8		2900	24	23.67	7.19	13.2	0.001215	608.51	1088.24	0.059323	0.0205	0.297	1.012026	1.014131	0.997925
9		2900	24	23.66	7.18	13.1	0.001215	608.83	1083.36	0.059189	0.0205	0.298	1.012300	1.014452	0.997878
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	126.13	0.020196	0.0110	0.159	1.012034	1.014140	0.997923
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000220	-	126.13	0.020196	0.0109	0.158	1.013584	1.015961	0.997660
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000219	-	126.13	0.020196	0.0108	0.157	1.013788	1.016201	0.997626

ตารางที่ จ-56 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 56 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	134	28.7	28.0	761.8	109	88	80	766	37	52	42	498	136.7	195.8	2.02	2.02	2.02
2		3248	133	29.5	27.6	762.0	110	88	80	762	38	53	42	497	136.5	195.0	2.02	2.02	2.02
3		3248	133	29.7	28.9	761.8	109	88	81	758	38	53	42	495	136.5	194.6	2.02	2.02	2.02
4	step 2	2750	139	29.6	28.7	761.5	105	88	81	705	38	54	42	461	102.6	146.6	2.42	2.42	2.41
5		2750	139	29.3	28.6	761.5	105	88	81	704	38	54	42	461	102.6	146.6	2.43	2.43	2.43
6		2750	139	29.6	28.4	761.4	105	88	81	704	38	54	42	460	102.6	146.6	2.42	2.43	2.43
7	step 3	2900	24	29.0	28.2	761.5	100	87	84	246	36	52	45	487	110.7	158.2	6.81	6.82	6.79
8		2901	40	29.0	28.4	761.4	100	88	84	294	36	52	45	487	111.4	159.4	5.58	5.57	5.57
9		2901	40	28.6	27.8	761.5	100	87	85	296	36	52	45	485	111.5	159.6	5.55	5.54	5.55
10	step 4	900	0	28.5	27.8	761.6	88	86	83	96	35	58	44	169	13.2	18.4	37.17	37.17	37.11
11		900	0	28.4	27.4	761.6	87	87	86	93	35	58	43	172	13.0	18.4	37.34	37.24	37.38
12		900	0	28.3	27.5	761.6	86	88	87	94	35	58	41	173	13.2	18.2	37.02	37.02	37.15

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	134	132.53	45.08	24.4	0.004100	327.43	1336.60	0.065744	0.0624	0.904	1.009422	1.011071	0.998369
2		3248	133	131.91	44.87	24.3	0.004110	329.75	1334.64	0.065696	0.0626	0.907	1.007018	1.008247	0.998782
3		3248	133	132.06	44.92	24.3	0.004114	329.70	1334.64	0.065696	0.0626	0.907	1.006089	1.007155	0.998942
4	step 2	2750	139	138.02	39.75	25.7	0.003439	311.44	1003.18	0.056957	0.0604	0.875	1.006025	1.007080	0.998953
5		2750	139	137.86	39.70	25.8	0.003416	309.78	1003.18	0.056957	0.0600	0.869	1.007023	1.008252	0.998781
6		2750	139	138.04	39.75	25.8	0.003425	310.15	1003.18	0.056957	0.0601	0.871	1.005893	1.006924	0.998976
7	step 3	2900	24	23.78	7.22	13.2	0.001218	607.49	1082.38	0.059163	0.0206	0.298	1.008023	1.009427	0.998609
8		2901	40	39.63	12.04	18.0	0.001488	444.99	1089.22	0.059350	0.0251	0.363	1.007890	1.009271	0.998632
9		2901	40	39.56	12.02	17.9	0.001493	447.24	1090.20	0.059376	0.0251	0.364	1.009359	1.010997	0.998380
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000223	-	129.06	0.020430	0.0109	0.158	1.009826	1.011546	0.998300
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	127.11	0.020274	0.0109	0.159	1.010161	1.011939	0.998243
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000223	-	129.06	0.020430	0.0109	0.158	1.010496	1.012333	0.998186

ตารางที่ จ-57 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 57 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3247	134	28.8	28.0	761.5	110	87	81	769	38	50	41	496	136.9	194.2	2.03	2.02	2.02
2		3247	134	30.1	28.8	761.7	109	88	81	769	39	54	44	494	136.7	194.2	2.04	2.04	2.04
3		3248	134	30.4	29.0	762.0	109	88	80	761	39	45	44	494	136.7	193.8	2.04	2.04	2.04
4	step 2	2751	139	30.0	28.7	762.2	105	87	81	710	38	55	42	467	103.2	147.2	2.43	2.43	2.43
5		2751	139	30.0	29.0	762.2	105	87	81	706	39	55	43	468	103.2	147.4	2.45	2.45	2.44
6		2751	138	30.2	29.0	762.6	105	88	81	707	39	55	43	469	103.2	147.4	2.44	2.44	2.43
7	step 3	2901	23	29.6	28.6	762.7	100	87	85	246	38	53	46	491	111.3	159.0	6.92	6.91	6.93
8		2901	40	29.2	28.2	762.8	100	88	85	296	37	53	46	491	111.9	159.7	5.66	5.67	5.66
9		2901	40	29.0	28.0	762.8	100	87	84	297	37	53	46	491	111.9	159.8	5.61	5.59	5.58
10	step 4	900	0	28.4	27.6	762.8	87	87	85	94	36	59	44	173	13.0	18.4	37.99	37.85	38.02
11		900	0	28.2	27.2	763.0	85	87	86	92	36	58	43	175	13.0	18.4	37.95	38.00	38.06
12		900	0	28.0	27.2	763.1	85	87	87	93	36	58	42	174	13.0	18.4	38.08	38.11	38.10

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3247	134	132.65	45.10	24.5	0.004096	326.95	1338.55	0.065793	0.0623	0.902	1.008691	1.010211	0.998495
2		3247	134	133.27	45.32	24.7	0.004079	324.05	1336.60	0.065744	0.0620	0.899	1.004630	1.005440	0.999194
3		3248	134	133.37	45.36	24.7	0.004082	323.92	1336.60	0.065744	0.0621	0.900	1.004033	1.004738	0.999298
4	step 2	2751	139	138.09	39.78	25.9	0.003421	309.59	1009.05	0.057123	0.0599	0.868	1.005621	1.006605	0.999023
5		2751	139	138.09	39.78	26.0	0.003398	307.49	1009.05	0.057123	0.0595	0.862	1.005621	1.006605	0.999023
6		2751	138	137.12	39.50	25.7	0.003412	310.98	1009.05	0.057123	0.0597	0.866	1.005486	1.006446	0.999046
7	step 3	2901	23	22.80	6.93	12.8	0.001199	623.26	1088.24	0.059323	0.0202	0.293	1.007610	1.008942	0.998680
8		2901	40	39.58	12.02	18.3	0.001463	438.01	1094.11	0.059483	0.0246	0.356	1.009076	1.010664	0.998428
9		2901	40	39.55	12.01	18.0	0.001480	443.54	1094.11	0.059483	0.0249	0.361	1.009744	1.011449	0.998314
10	step 4	900	0	2.96	0.29	-	0.000218	-	127.11	0.020274	0.0107	0.156	1.011753	1.013810	0.997971
11		900	0	2.96	0.29	-	0.000217	-	127.11	0.020274	0.0107	0.155	1.012690	1.014910	0.997812
12		900	0	2.95	0.29	-	0.000217	-	127.11	0.020274	0.0107	0.155	1.013495	1.015857	0.997675

ตารางที่ จ-58 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 58 เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	134	29.1	28.6	763.1	109	87	80	770	38	54	43	495	136.9	194.8	2.04	2.04	2.03
2		3248	134	29.4	28.4	763.2	110	87	81	766	39	54	43	492	136.9	194.6	2.04	2.04	2.03
3		3248	135	30.8	29.2	763.3	111	87	81	763	40	54	44	490	136.9	194.2	2.04	2.04	2.04
4	step 2	2750	138	30.6	29.0	763.4	105	88	81	705	39	55	43	470	103.2	147.8	2.45	2.45	2.45
5		2751	138	30.6	29.2	763.5	106	87	81	706	39	56	43	468	103.4	147.8	2.44	2.44	2.44
6		2751	138	30.6	29.2	763.6	105	88	80	705	39	55	43	470	103.4	147.8	2.46	2.46	2.45
7	step 3	2901	40	30.2	29.2	763.7	101	87	85	300	38	54	46	490	111.7	160.0	5.60	5.61	5.60
8		2901	40	29.8	28.8	763.7	101	87	85	298	37	53	46	492	111.9	160.0	5.61	5.59	5.61
9		2901	40	29.6	28.8	763.7	101	87	85	300	37	53	46	491	111.9	160.0	5.59	5.59	5.58
10	step 4	900	0	29.4	28.6	763.7	88	87	86	96	37	59	46	172	13.0	18.4	37.82	37.79	37.63
11		900	0	29.2	28.1	763.7	86	87	87	93	36	59	44	174	13.0	18.4	37.57	37.57	37.55
12		900	0	29.4	28.2	763.7	86	87	86	93	36	58	42	175	13.0	18.4	37.97	37.93	37.93

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	134	132.47	45.06	24.6	0.004065	324.77	1338.55	0.065793	0.0618	0.895	1.009807	1.011523	0.998303
2		3248	134	132.61	45.10	24.6	0.004068	324.72	1338.55	0.065793	0.0618	0.896	1.008938	1.010502	0.998452
3		3248	135	134.30	45.68	24.9	0.004080	321.54	1338.55	0.065793	0.0620	0.899	1.004422	1.005196	0.999230
4	step 2	2750	138	137.16	39.50	25.9	0.003395	309.38	1009.05	0.057123	0.0594	0.861	1.005215	1.006128	0.999093
5		2751	138	137.14	39.51	25.8	0.003408	310.55	1011.00	0.057179	0.0596	0.864	1.005347	1.006282	0.999070
6		2751	138	137.12	39.50	25.9	0.003384	308.45	1011.00	0.057179	0.0592	0.858	1.005478	1.006437	0.999047
7	step 3	2901	40	39.68	12.05	18.1	0.001482	442.54	1092.16	0.059429	0.0249	0.361	1.006936	1.008150	0.998796
8		2901	40	39.62	12.03	18.1	0.001480	442.64	1094.11	0.059483	0.0249	0.361	1.008266	1.009712	0.998567
9		2901	40	39.58	12.03	18.0	0.001483	444.01	1094.11	0.059483	0.0249	0.361	1.008932	1.010495	0.998453
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000219	-	127.11	0.020274	0.0108	0.157	1.009599	1.011278	0.998339
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000220	-	127.11	0.020274	0.0109	0.157	1.010266	1.012063	0.998225
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000218	-	127.11	0.020274	0.0108	0.156	1.009599	1.011278	0.998339

ตารางที่ ๑ -59 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 59 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	135	30.1	29.2	763.6	110	88	81	769	38	54	44	493	137.3	194.6	2.03	2.06	2.04
2		3247	134	32.0	30.0	763.4	110	88	80	769	39	54	45	493	136.9	194.0	2.05	2.05	2.04
3		3247	133	32.0	30.2	763.3	110	87	81	767	40	55	45	492	136.9	193.8	2.05	2.05	2.04
4	step 2	2750	138	31.2	30.0	763.0	106	88	81	708	40	56	44	467	103.2	146.8	2.44	2.44	2.45
5		2750	138	31.2	30.5	762.9	106	88	82	708	40	56	44	466	103.2	147.8	2.44	2.44	2.45
6		2750	138	31.2	29.6	762.7	106	88	82	708	40	56	44	466	103.2	147.4	2.44	2.44	2.46
7	step 3	2901	40	31.0	30.0	762.8	102	87	83	304	39	54	46	488	111.5	158.4	5.62	5.62	5.61
8		2901	40	30.6	29.4	762.6	102	88	84	303	38	53	47	4887	111.5	159.4	5.60	5.58	5.59
9		2901	40	30.4	29.5	762.5	102	87	83	300	38	53	47	487	111.5	159.8	5.62	5.61	5.63
10	step 4	900	0	29.7	28.4	762.6	89	86	82	95	37	59	46	172	12.7	18.2	37.74	37.63	37.66
11		900	0	29.8	28.4	762.6	87	87	86	94	37	59	46	174	12.8	18.4	37.70	37.66	37.71
12		900	0	29.7	28.3	762.6	86	86	85	92	37	59	44	175	12.8	18.2	37.96	37.82	37.84

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	135	133.88	45.54	24.9	0.004062	321.17	1342.46	0.065889	0.0617	0.894	1.007136	1.008385	0.998762
2		3247	134	133.91	45.53	24.8	0.004082	322.77	1338.55	0.065793	0.0620	0.899	1.000603	1.000709	0.999895
3		3247	133	132.93	45.20	24.6	0.004083	325.19	1338.55	0.065793	0.0621	0.899	1.000472	1.000555	0.999917
4	step 2	2750	138	137.56	39.62	25.8	0.003412	310.09	1009.05	0.057123	0.0597	0.866	1.002708	1.003181	0.999528
5		2750	138	137.58	39.62	25.8	0.003413	310.09	1009.05	0.057123	0.0597	0.866	1.002576	1.003027	0.999551
6		2750	138	137.63	39.63	25.8	0.003409	309.65	1009.05	0.057123	0.0597	0.865	1.002313	1.002718	0.999596
7	step 3	2901	40	39.85	12.11	18.1	0.001484	441.19	1090.20	0.059376	0.0250	0.362	1.003104	1.003647	0.999459
8		2901	40	39.81	12.09	18.1	0.001489	443.38	1090.20	0.059376	0.0251	0.364	1.004162	1.004890	0.999275
9		2901	40	39.78	12.09	18.1	0.001481	441.05	1090.20	0.059376	0.0249	0.361	1.004691	1.005512	0.999184
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000220	-	124.18	0.020039	0.0110	0.159	1.007146	1.008396	0.998760
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000220	-	125.15	0.020118	0.0110	0.159	1.006813	1.008006	0.998817
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000219	-	125.15	0.020118	0.0109	0.158	1.007146	1.008396	0.998760

ตารางที่ ๑-60 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วิจัยการทดสอบที่ 60 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	136	27.3	25.8	764.1	109	88	81	776	32	47	38	502	137.9	196.4	2.02	2.02	2.02
2		3250	136	28.2	27.2	764.5	110	87	80	768	34	49	39	501	137.9	196.6	2.03	2.03	2.02
3		3250	136	28.6	27.5	764.7	110	87	81	765	35	50	41	499	137.3	196.2	2.03	2.03	2.03
4	step 2	2751	141	28.6	27.6	764.8	105	88	81	708	36	52	41	468	103.4	147.6	2.42	2.42	2.42
5		2750	140	28.8	27.8	764.5	105	88	81	710	37	53	42	467	103.4	147.4	2.43	2.43	2.42
6		2751	140	28.7	27.2	764.4	106	88	82	710	37	54	42	465	103.7	147.4	2.43	2.43	2.43
7	step 3	2901	42	28.4	26.9	764.7	101	88	84	306	36	52	45	489	111.7	160.2	5.55	5.55	5.56
8		2901	41	28.4	27.4	764.5	101	87	85	306	36	51	45	488	111.5	160.0	5.49	5.50	5.50
9		2901	43	28.2	26.7	764.6	101	87	84	308	35	51	44	489	111.5	160.0	5.46	5.45	5.45
10	step 4	900	0	28.0	27.1	764.7	88	86	85	96	35	57	43	176	13.2	199.4	36.88	36.90	36.89
11		900	0	27.5	26.4	764.6	86	87	85	94	35	57	41	180	13.2	19.2	36.89	36.97	36.95
12		900	0	27.4	26.2	764.6	86	87	85	94	34	54	39	181	13.1	19.0	37.04	37.03	37.06

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	136	133.31	45.37	24.8	0.004069	322.84	1348.33	0.066032	0.0616	0.893	1.017188	1.020195	0.997052
2		3250	136	133.69	45.50	24.9	0.004065	321.64	1348.33	0.066032	0.0616	0.892	1.014681	1.017250	0.997474
3		3250	136	133.86	45.56	24.9	0.004063	321.06	1342.46	0.065889	0.0617	0.894	1.013601	1.015981	0.997657
4	step 2	2751	141	138.76	39.97	26.1	0.003408	306.89	1011.00	0.057179	0.0596	0.864	1.013733	1.016137	0.997635
5		2750	140	137.95	39.73	26.0	0.003402	308.29	1011.00	0.057179	0.0595	0.862	1.012664	1.014881	0.997816
6		2751	140	137.91	39.73	26.0	0.003397	307.77	1013.93	0.057262	0.0593	0.860	1.012867	1.015119	0.997782
7	step 3	2901	42	41.31	12.55	18.8	0.001484	425.79	1092.16	0.059429	0.0250	0.362	1.014273	1.016771	0.997543
8		2901	41	40.34	12.25	18.2	0.001500	440.65	1090.20	0.059376	0.0253	0.366	1.014008	1.016459	0.997588
9		2901	43	42.26	12.84	18.9	0.001511	423.56	1090.20	0.059376	0.0254	0.369	1.014813	1.017406	0.997452
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000223	-	129.06	0.020430	0.0109	0.158	1.015620	1.018354	0.997316
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000223	-	129.06	0.020430	0.0109	0.158	1.017176	1.020182	0.997054
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	128.09	0.020352	0.0109	0.158	1.017515	1.020580	0.996997

ตารางที่ จ-61 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 61 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	135	28.8	27.4	764.4	111	87	81	771	37	52	42	492	137.5	195.0	2.02	2.02	2.02
2		3248	135	30.1	28.6	764.1	110	88	82	765	39	53	44	494	137.3	194.6	2.04	2.03	2.03
3		3248	135	30.2	28.6	764.9	110	88	81	767	39	54	44	492	137.1	194.4	2.04	2.03	2.02
4	step 2	2749	139	30.5	29.2	763.5	107	87	81	709	39	55	43	467	103.1	147.6	2.45	2.44	2.44
5		2749	138	30.4	28.7	763.3	107	88	82	707	39	55	43	466	103.3	147.6	2.45	2.44	2.45
6		2749	138	30.6	28.8	763.2	107	87	81	706	39	55	43	466	103.0	147.4	2.43	2.44	2.44
7	step 3	2901	41	29.5	28.0	763.2	103	88	83	305	38	53	46	488	111.6	161.0	5.59	5.58	5.59
8		2901	41	29.6	28.2	763.2	102	88	84	302	37	53	47	488	111.5	159.8	5.59	5.61	5.58
9		2901	40	29.6	28.2	763.3	102	88	85	302	37	52	47	489	111.5	159.8	5.60	5.58	5.57
10	step 4	900	0	29.4	28.1	763.3	88	86	85	97	36	58	46	176	12.9	18.8	37.04	37.01	36.98
11		900	0	28.9	27.5	763.2	87	87	85	94	36	58	44	179	12.9	18.8	37.01	37.01	36.97
12		900	0	28.9	27.4	763.3	86	88	86	94	36	58	43	179	13.1	18.2	37.21	37.19	37.09

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	135	133.04	45.25	24.6	0.004087	325.18	1344.42	0.065937	0.0620	0.898	1.012532	1.014725	0.997839
2		3248	135	133.77	45.50	24.8	0.004080	322.78	1342.46	0.065889	0.0619	0.897	1.007796	1.009160	0.998648
3		3248	135	133.66	45.46	24.8	0.004083	323.35	1340.51	0.065841	0.0620	0.899	1.008518	1.010009	0.998524
4	step 2	2749	139	138.08	39.75	26.0	0.003402	308.13	1008.07	0.057096	0.0596	0.864	1.005678	1.006671	0.999013
5		2749	138	137.07	39.46	25.8	0.003397	309.95	1010.02	0.057151	0.0594	0.862	1.005746	1.006751	0.999001
6		2749	138	137.20	39.50	25.7	0.003414	311.17	1007.09	0.057068	0.0598	0.867	1.004952	1.005818	0.999138
7	step 3	2901	41	40.59	12.33	18.5	0.001484	433.16	1091.18	0.059403	0.0250	0.362	1.008604	1.010110	0.998509
8		2901	41	40.61	12.34	18.5	0.001482	432.61	1090.20	0.059376	0.0250	0.362	1.008271	1.009718	0.998567
9		2901	40	39.61	12.03	18.0	0.001485	444.23	1090.20	0.059376	0.0250	0.362	1.008403	1.009874	0.998544
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	126.13	0.020196	0.0111	0.161	1.009070	1.010657	0.998430
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	126.13	0.020196	0.0111	0.160	1.010608	1.012464	0.998167
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000223	-	128.09	0.020352	0.0109	0.158	1.010740	1.012620	0.998144

ตารางที่ ๑ - 62 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 62 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3249	136	29.8	28.0	763.4	111	87	80	768	39	54	44	491	137.3	195.0	2.03	2.03	2.03
2		3250	135	31.0	29.8	763.3	111	87	81	765	39	54	45	491	137.1	194.4	2.03	2.03	2.02
3		3250	135	31.2	29.8	763.2	112	88	82	767	40	54	45	492	136.7	194.4	2.03	2.03	2.03
4	step 2	2750	139	30.8	29.2	763.1	109	88	81	710	40	55	44	465	103.1	148.0	2.43	2.43	2.43
5		2750	138	30.8	29.8	763.0	108	88	82	704	40	55	44	464	103.2	148.0	2.44	2.44	2.43
6		2750	138	31.0	29.6	762.9	109	88	81	706	40	56	44	463	103.0	147.8	2.44	2.42	2.43
7	step 3	2903	39	30.6	29.6	762.9	104	88	84	300	38	53	47	489	113.0	159.8	5.61	5.60	5.59
8		2903	39	30.3	29.3	762.9	103	87	85	300	38	53	47	489	113.0	160.0	5.58	5.58	5.57
9		2902	41	30.2	29.6	762.7	104	88	83	304	37	53	47	486	113.0	160.0	5.48	5.48	5.50
10	step 4	900	0	29.8	29.0	762.8	89	86	84	100	37	58	46	175	12.7	18.8	36.64	36.68	36.68
11		900	0	29.4	28.8	762.9	86	85	84	94	37	58	43	181	13.0	18.8	37.29	37.30	37.17
12		900	0	29.4	28.8	762.9	86	88	85	95	37	58	43	178	12.9	18.8	37.46	37.34	37.37

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3249	136	134.75	45.85	24.9	0.004086	320.84	1342.46	0.065889	0.0620	0.899	1.007869	1.009247	0.998635
2		3250	135	134.41	45.74	24.7	0.004110	323.42	1340.51	0.065841	0.0624	0.905	1.003761	1.004420	0.999345
3		3250	135	134.53	45.79	24.8	0.004106	322.84	1336.60	0.065744	0.0625	0.905	1.002970	1.003490	0.999482
4	step 2	2750	139	138.32	39.83	25.8	0.003426	309.63	1008.07	0.057096	0.0600	0.870	1.004159	1.004887	0.999276
5		2750	138	137.35	39.55	25.7	0.003417	311.01	1009.05	0.057123	0.0598	0.867	1.004027	1.004732	0.999299
6		2750	138	137.48	39.59	25.7	0.003429	311.82	1007.09	0.057068	0.0601	0.871	1.003235	1.003802	0.999436
7	step 3	2903	39	38.79	11.79	17.6	0.001486	453.65	1104.87	0.059774	0.0249	0.360	1.004557	1.005354	0.999207
8		2903	39	38.75	11.78	17.6	0.001491	455.63	1104.87	0.059774	0.0249	0.361	1.005550	1.006521	0.999035
9		2902	41	40.73	12.38	18.2	0.001515	440.67	1104.87	0.059774	0.0253	0.367	1.005617	1.006601	0.999023
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000226	-	124.18	0.020039	0.0113	0.164	1.007077	1.008316	0.998772
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000223	-	127.11	0.020274	0.0110	0.159	1.008541	1.010036	0.998520
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	126.13	0.020196	0.0110	0.159	1.008541	1.010036	0.998520

ตารางที่ ๑ - 63 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 63 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	135	30.2	29.0	763.0	112	88	81	770	39	54	44	490	137.1	194.2	2.02	2.01	2.02
2		3250	134	31.4	30.0	763.0	112	88	81	767	40	54	44	493	136.9	194.0	2.02	2.02	2.02
3		3250	134	31.8	30.4	763.1	112	87	81	768	40	53	43	490	136.7	194.2	2.02	2.01	2.02
4	step 2	2752	140	32.2	31.0	763.2	109	88	80	712	40	55	43	461	103.0	147.8	2.41	2.41	2.42
5		2752	140	31.3	30.0	763.6	109	87	81	711	40	55	43	462	103.0	148.2	2.41	2.41	2.42
6		2753	140	31.0	29.6	763.9	109	88	82	712	39	55	43	462	103.0	148.2	2.41	2.41	2.41
7	step 3	2900	41	30.8	29.4	764.0	104	87	84	308	38	53	45	486	113.1	160.6	5.53	5.53	5.53
8		2901	42	30.8	29.4	764.0	104	88	84	306	38	52	46	487	113.1	160.6	5.53	5.51	5.50
9		2902	42	30.2	29.2	764.0	104	88	84	305	37	53	46	488	113.3	160.6	5.49	5.48	5.49
10	step 4	900	0	30.0	29.2	764.1	89	89	88	99	37	58	44	173	12.8	18.8	36.86	36.83	36.85
11		900	0	29.8	29.2	764.1	87	87	85	95	37	58	42	180	13.0	19.0	37.17	37.07	36.97
12		900	0	28.8	27.9	764.1	87	87	84	94	37	57	42	180	13.0	19.0	37.14	37.22	37.18

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	135	134.05	45.62	24.6	0.004121	325.15	1340.51	0.065841	0.0626	0.907	1.006013	1.007065	0.998955
2		3250	134	133.68	45.50	24.5	0.004130	326.81	1338.55	0.065793	0.0628	0.910	1.002049	1.002408	0.999642
3		3250	134	133.86	45.56	24.5	0.004142	327.28	1336.60	0.065744	0.0630	0.913	1.000866	1.001017	0.999849
4	step 2	2752	140	140.05	40.36	25.9	0.003465	309.07	1007.09	0.057068	0.0607	0.880	0.999686	0.999631	1.000055
5		2752	140	139.48	40.20	25.9	0.003453	309.26	1007.09	0.057068	0.0605	0.877	1.003166	1.003721	0.999448
6		2753	140	139.26	40.15	25.8	0.003453	309.65	1007.09	0.057068	0.0605	0.877	1.004550	1.005347	0.999208
7	step 3	2900	41	40.74	12.37	18.3	0.001504	437.50	1105.84	0.059801	0.0251	0.364	1.005343	1.006278	0.999071
8		2901	42	41.74	12.68	18.7	0.001508	428.23	1105.84	0.059801	0.0252	0.366	1.005343	1.006278	0.999071
9		2902	42	41.64	12.65	18.6	0.001513	430.31	1107.80	0.059854	0.0253	0.366	1.007332	1.008615	0.998728
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000225	-	125.15	0.020118	0.0112	0.162	1.008128	1.009550	0.998591
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	127.11	0.020274	0.0110	0.160	1.008794	1.010332	0.998477
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	127.11	0.020274	0.0110	0.159	1.012135	1.014258	0.997906

ตารางที่ ๑ - 64 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 64 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	135	30.7	29.6	764.1	112	87	81	774	38	53	43	488	136.9	194.6	2.02	2.01	2.01
2		3250	135	31.4	30.6	764.2	113	88	80	774	39	54	43	488	136.9	194.2	2.01	2.01	2.01
3		3250	135	32.0	30.8	764.3	112	87	81	772	40	54	44	488	136.7	194.0	2.02	2.02	2.01
4	step 2	2752	140	31.8	30.4	764.6	109	87	81	715	39	55	43	462	103.2	148.0	2.41	2.41	2.41
5		2751	140	31.4	30.2	764.7	109	87	80	714	39	54	43	462	103.4	148.6	2.41	2.40	2.42
6		2753	139	31.4	30.0	764.9	110	88	80	711	39	55	43	461	103.0	148.2	2.42	2.41	2.41
7	step 3	2902	42	31.6	30.0	764.8	104	87	85	308	39	54	45	488	113.1	160.0	5.50	5.51	5.49
8		2902	40	31.2	30.0	765.0	104	88	84	303	38	53	45	487	113.3	159.8	5.55	5.56	5.56
9		2902	40	30.8	29.6	764.8	104	88	84	304	37	53	45	486	113.3	159.8	5.53	5.54	5.52
10	step 4	900	0	30.4	29.4	764.9	89	87	85	97	37	58	44	176	12.8	18.8	37.21	37.17	37.20
11		900	0	30.4	29.2	764.9	88	87	86	94	37	58	43	180	12.8	18.8	37.04	37.04	36.91
12		900	0	30.4	29.2	764.9	88	86	85	94	37	58	42	179	12.8	18.8	37.51	37.53	37.44

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	135	134.09	45.63	24.6	0.004128	325.68	1338.55	0.065793	0.0627	0.909	1.005806	1.006822	0.998991
2		3250	135	134.43	45.75	24.5	0.004144	326.09	1338.55	0.065793	0.0630	0.913	1.003625	1.004259	0.999368
3		3250	135	134.72	45.85	24.6	0.004138	324.91	1336.60	0.065744	0.0629	0.912	1.001783	1.002095	0.999689
4	step 2	2752	140	139.54	40.21	25.8	0.003459	309.67	1009.05	0.057123	0.0606	0.878	1.002833	1.003329	0.999506
5		2751	140	139.30	40.13	25.8	0.003454	309.86	1011.00	0.057179	0.0604	0.875	1.004282	1.005031	0.999254
6		2753	139	138.26	39.86	25.7	0.003448	311.45	1007.09	0.057068	0.0604	0.876	1.004544	1.005340	0.999209
7	step 3	2902	42	41.82	12.71	18.7	0.001514	429.00	1105.84	0.059801	0.0253	0.367	1.003754	1.004411	0.999346
8		2902	40	39.75	12.08	17.9	0.001497	445.98	1107.80	0.059854	0.0250	0.362	1.005336	1.006270	0.999072
9		2902	40	39.70	12.07	17.9	0.001502	448.21	1107.80	0.059854	0.0251	0.364	1.006396	1.007515	0.998889
10	step 4	900	0	2.97	0.29	-	0.000223	-	125.15	0.020118	0.0111	0.161	1.007854	1.009228	0.998638
11		900	0	2.97	0.29	-	0.000224	-	125.15	0.020118	0.0111	0.162	1.007854	1.009228	0.998638
12		900	0	2.97	0.29	-	0.000221	-	125.15	0.020118	0.0110	0.159	1.007854	1.009228	0.998638

ตารางที่ ๑ - 65 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 65 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	134	29.4	27.9	765.1	112	88	81	777	33	52	44	504	136.3	195.4	2.04	2.05	2.04
2		3250	136	30.2	29.0	765.0	112	87	81	768	37	51	42	505	136.4	195.4	2.02	2.01	2.02
3		3250	136	31.0	29.5	765.1	111	88	81	769	38	53	43	502	136.4	195.2	2.01	2.01	2.01
4	step 2	2750	141	30.0	28.8	765.3	108	88	81	711	37	53	42	472	103.3	148.6	2.41	2.41	2.40
5		2750	141	29.2	28.4	765.6	108	87	81	713	37	53	42	471	103.6	148.0	2.39	2.40	2.39
6		2750	141	29.0	28.0	765.3	108	87	81	707	37	53	42	470	103.6	147.6	2.39	2.40	2.39
7	step 3	2901	43	28.8	28.2	765.8	103	88	84	310	36	52	44	492	113.3	159.8	5.46	5.46	5.46
8		2901	41	28.8	28.2	765.3	103	88	84	304	35	51	44	493	113.3	160.0	5.49	5.49	5.50
9		2901	42	28.6	28.0	765.2	103	87	85	304	35	51	44	495	113.3	160.0	5.47	5.47	5.47
10	step 4	900	0	28.2	27.6	765.0	88	86	85	99	35	57	42	177	13.4	18.8	37.07	36.99	37.03
11		900	0	28.1	27.4	765.0	86	86	85	96	35	57	41	181	13.4	18.8	37.12	37.09	37.02
12		900	0	27.8	27.3	764.9	86	87	86	96	34	57	40	182	13.4	18.8	37.37	37.25	37.28

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	134	132.22	45.00	24.7	0.004045	323.60	1332.68	0.065648	0.0616	0.893	1.011449	1.013453	0.998023
2		3250	136	134.63	45.82	24.8	0.004110	322.91	1333.66	0.065672	0.0626	0.907	1.008650	1.010164	0.998501
3		3250	136	135.03	45.96	24.7	0.004134	323.84	1333.66	0.065672	0.0629	0.912	1.006129	1.007201	0.998935
4	step 2	2750	141	139.41	40.15	25.9	0.003440	308.49	1010.02	0.057151	0.0602	0.872	1.009711	1.011411	0.998320
5		2750	141	138.91	40.00	25.8	0.003449	310.37	1012.96	0.057234	0.0603	0.873	1.012780	1.015016	0.997797
6		2750	141	138.87	39.99	25.8	0.003448	310.39	1012.96	0.057234	0.0602	0.873	1.013053	1.015337	0.997750
7	step 3	2901	43	42.29	12.85	18.9	0.001509	423.01	1107.80	0.059854	0.0252	0.365	1.014386	1.016904	0.997524
8		2901	41	40.35	12.26	18.2	0.001501	440.90	1107.80	0.059854	0.0251	0.364	1.013724	1.016126	0.997636
9		2901	42	41.31	12.55	18.5	0.001507	432.28	1107.80	0.059854	0.0252	0.365	1.014263	1.016760	0.997545
10	step 4	900	0	1.96	0.19	-	0.000222	-	131.02	0.020584	0.0108	0.157	1.015344	1.018029	0.997362
11		900	0	2.95	0.29	-	0.000222	-	131.02	0.020584	0.0108	0.156	1.015681	1.018426	0.997305
12		900	0	2.94	0.29	-	0.000220	-	131.02	0.020584	0.0107	0.155	1.016561	1.019459	0.997157

ตารางที่ ๑ - 66 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 66 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	137	28.8	27.8	764.8	112	87	80	777	36	52	42	500	137.3	195.8	2.00	2.00	1.99
2		3250	137	29.3	28.4	764.9	112	88	81	772	37	52	42	499	137.1	195.2	2.00	1.99	1.99
3		3250	137	29.2	28.0	764.8	113	87	81	768	37	52	42	499	137.1	195.2	2.00	2.00	1.99
4	step 2	2751	142	29.8	28.8	764.7	109	88	81	715	37	54	41	474	103.6	148.0	2.39	2.39	2.39
5		2751	141	29.4	28.4	764.6	109	87	81	714	37	53	42	474	103.6	148.0	2.39	2.39	2.38
6		2751	142	29.8	29.0	764.4	109	88	82	715	37	54	42	473	103.5	147.8	2.39	2.39	2.39
7	step 3	2900	41	29.3	28.6	764.3	104	88	84	308	36	52	44	494	113.3	160.0	5.50	5.51	5.48
8		2900	41	29.8	27.8	764.2	104	87	84	305	36	52	44	495	113.3	159.8	5.50	5.50	5.50
9		2900	41	28.8	28.0	764.1	104	87	83	306	36	52	44	493	113.3	159.8	5.48	5.46	5.48
10	step 4	900	0	28.8	28.2	764.1	89	87	85	104	36	58	43	174	13.3	18.4	35.87	35.98	35.77
11		900	0	28.6	27.6	764.0	86	87	86	99	35	57	42	179	13.3	18.6	35.82	35.92	35.65
12		900	0	28.0	27.6	764.0	86	87	86	103	35	57	41	180	13.2	18.6	35.27	35.29	35.02

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	137	134.93	45.92	24.7	0.004133	324.00	1342.46	0.065889	0.0627	0.909	1.013062	1.015348	0.997749
2		3250	137	135.17	46.00	24.7	0.004146	324.46	1340.51	0.065841	0.0630	0.913	1.011519	1.013535	0.998011
3		3250	137	135.14	45.99	24.7	0.004138	323.93	1340.51	0.065841	0.0629	0.911	1.011722	1.013773	0.997977
4	step 2	2751	142	140.42	40.45	26.0	0.003465	308.34	1012.96	0.057234	0.0605	0.877	1.009586	1.011263	0.998341
5		2751	141	139.24	40.11	25.7	0.003465	311.02	1012.96	0.057234	0.0605	0.878	1.010788	1.012676	0.998136
6		2751	142	140.48	40.47	26.0	0.003466	308.32	1011.98	0.057206	0.0606	0.878	1.009190	1.010798	0.998409
7	step 3	2900	41	40.49	12.30	18.2	0.001505	440.56	1107.80	0.059854	0.0251	0.364	1.010726	1.012603	0.998146
8		2900	41	40.57	12.32	18.2	0.001507	440.16	1107.80	0.059854	0.0252	0.365	1.008926	1.010488	0.998454
9		2900	41	40.42	12.28	18.1	0.001509	442.54	1107.80	0.059854	0.0252	0.365	1.012135	1.014258	0.997906
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000230	-	130.04	0.020507	0.0112	0.163	1.012135	1.014258	0.997906
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000231	-	130.04	0.020507	0.0112	0.163	1.012673	1.014891	0.997815
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000234	-	129.06	0.020430	0.0115	0.166	1.014690	1.017261	0.997473

ตารางที่ ๑-67 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 67 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3249	138	29.4	28.2	763.8	113	87	81	770	37	53	42	495	137.5	195.0	2.00	2.00	1.99
2		3249	136	30.2	28.8	764.0	113	88	81	770	38	53	43	495	137.3	194.6	2.01	2.01	2.00
3		3249	136	30.4	29.0	764.0	113	88	82	768	38	53	43	491	137.2	194.6	2.01	2.01	2.02
4	step 2	2751	142	30.4	29.0	764.3	110	88	81	714	38	54	42	471	103.3	147.8	2.40	2.40	2.40
5		2751	141	30.4	28.6	764.3	109	87	81	714	38	52	44	469	103.1	147.8	2.40	2.41	2.40
6		2751	141	30.0	28.8	764.5	110	88	82	710	38	55	43	469	103.8	147.8	2.40	2.40	2.40
7	step 3	2901	40	30.3	29.0	764.5	104	88	84	311	37	53	46	489	113.7	159.4	5.43	5.43	5.43
8		2902	40	30.0	28.6	764.6	104	88	84	308	37	52	45	491	113.7	159.8	5.44	5.45	5.47
9		2901	43	29.7	28.4	764.7	104	88	84	309	36	52	45	490	113.7	159.8	5.42	5.42	5.43
10	step 4	900	0	29.0	28.2	764.7	88	86	85	100	36	58	43	179	13.4	18.8	36.86	36.80	36.72
11		900	0	28.9	28.0	764.7	87	85	84	96	36	58	42	183	13.4	18.8	36.63	36.77	36.87
12		900	0	28.8	27.6	764.7	87	88	87	95	35	58	42	180	13.5	18.8	37.36	37.16	37.28

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3249	138	136.44	46.42	24.9	0.004147	321.57	1344.42	0.065937	0.0629	0.911	1.009731	1.011434	0.998316
2		3249	136	134.84	45.88	24.7	0.004136	324.54	1342.46	0.065889	0.0628	0.910	1.007332	1.008615	0.998728
3		3249	136	134.94	45.91	24.7	0.004125	323.43	1341.48	0.065865	0.0626	0.908	1.006668	1.007835	0.998842
4	step 2	2751	142	140.83	40.57	26.1	0.003459	306.92	1010.02	0.057151	0.0605	0.877	1.007063	1.008299	0.998774
5		2751	141	139.84	40.29	25.9	0.003454	308.67	1008.07	0.057096	0.0605	0.877	1.007063	1.008299	0.998774
6		2751	141	139.58	40.21	25.9	0.003453	309.18	1014.91	0.057289	0.0603	0.874	1.008656	1.010171	0.998500
7	step 3	2901	40	39.64	12.04	17.5	0.001528	456.72	1111.71	0.059959	0.0255	0.369	1.007659	1.008999	0.998672
8		2902	40	39.59	12.03	17.6	0.001520	454.70	1111.71	0.059959	0.0253	0.367	1.008788	1.010326	0.998478
9		2901	43	42.50	12.91	18.8	0.001526	425.54	1111.71	0.059959	0.0255	0.369	1.009919	1.011655	0.998284
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	131.02	0.020584	0.0109	0.158	1.012259	1.014404	0.997885
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000225	-	131.02	0.020584	0.0109	0.158	1.012594	1.014798	0.997828
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	132.00	0.020661	0.0107	0.155	1.012929	1.015192	0.997771

ตารางที่ ๑-68 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 68 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	136	29.8	28.4	764.8	113	88	82	773	37	53	43	494	138.0	195.6	2.00	2.00	2.00
2		3250	136	30.2	29.2	765.0	113	87	81	769	38	53	43	493	137.7	195.2	2.01	2.01	2.00
3		3250	134	30.5	29.4	765.1	113	88	81	767	38	53	43	490	137.7	195.2	2.01	2.01	2.01
4	step 2	2750	142	30.6	29.3	765.1	110	88	80	712	38	54	42	467	103.6	148.0	2.41	2.40	2.40
5		2750	140	31.0	30.3	765.5	110	87	81	715	38	54	42	466	103.5	148.0	2.41	2.41	2.41
6		2750	140	30.4	29.2	765.5	110	88	81	713	37	53	42	466	103.6	148.0	2.41	2.41	2.40
7	step 3	2900	43	30.0	28.8	765.7	105	87	83	317	37	53	44	488	113.7	159.8	5.44	5.44	5.45
8		2900	42	29.5	28.4	765.7	104	88	84	306	36	53	45	488	113.8	159.8	5.50	5.49	5.48
9		2900	40	29.7	28.7	765.7	104	88	84	307	36	52	45	489	113.8	159.8	5.51	5.50	5.49
10	step 4	900	0	29.2	28.6	765.7	89	87	86	98	36	59	44	181	13.3	18.6	37.30	37.35	37.38
11		900	0	28.6	27.6	765.7	88	87	86	95	36	56	41	182	13.3	19.0	37.14	37.19	37.09
12		900	0	28.6	27.8	765.7	87	87	87	95	35	58	41	182	13.3	19.0	37.49	37.40	37.30

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	136	134.46	45.76	24.6	0.004140	325.66	1349.31	0.066056	0.0627	0.908	1.009718	1.011418	0.998319
2		3250	136	134.63	45.82	24.7	0.004130	324.51	1346.37	0.065984	0.0626	0.907	1.008650	1.010164	0.998501
3		3250	134	132.79	45.19	24.3	0.004127	328.76	1346.37	0.065984	0.0625	0.906	1.007785	1.009148	0.998650
4	step 2	2750	142	140.77	40.54	26.1	0.003453	306.62	1012.96	0.057234	0.0603	0.874	1.007453	1.008758	0.998707
5		2750	140	138.91	40.00	25.8	0.003446	310.10	1011.98	0.057206	0.0602	0.873	1.006655	1.007819	0.998844
6		2750	140	138.59	39.91	25.8	0.003444	310.64	1012.96	0.057234	0.0602	0.872	1.008644	1.010157	0.998502
7	step 3	2900	43	42.49	12.90	18.9	0.001520	424.15	1111.71	0.059959	0.0254	0.367	1.010239	1.012031	0.998229
8		2900	42	41.42	12.58	18.6	0.001505	430.68	1112.69	0.059985	0.0251	0.364	1.011908	1.013992	0.997945
9		2900	40	39.48	11.99	17.7	0.001503	451.34	1112.69	0.059985	0.0251	0.363	1.011240	1.013207	0.998059
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	130.04	0.020507	0.0108	0.156	1.012912	1.015172	0.997774
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	130.04	0.020507	0.0108	0.157	1.014926	1.017538	0.997433
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000220	-	130.04	0.020507	0.0107	0.156	1.014926	1.017538	0.997433

ตารางที่ ๑ -69 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วิจัยจักรการทดสอบที่ 69 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	136	29.3	28.3	765.7	113	88	81	770	36	52	42	492	138.1	196.0	2.00	2.01	2.01
2		3248	136	30.0	29.0	765.7	113	88	81	765	37	52	42	492	137.9	196.8	2.01	2.01	2.01
3		3249	136	29.8	28.6	765.7	113	87	81	766	37	52	42	490	137.9	195.6	2.01	2.01	2.00
4	step 2	2750	141	29.6	28.4	765.7	110	87	81	713	37	54	41	465	103.8	148.0	2.41	2.41	2.40
5		2750	141	29.2	27.8	765.5	110	87	80	714	37	53	42	464	104.0	148.0	2.40	2.40	2.40
6		2750	141	29.4	28.4	765.3	110	87	80	715	37	53	41	464	103.8	148.0	2.40	2.40	2.40
7	step 3	2902	42	29.0	28.0	765.1	104	88	84	308	36	52	44	486	113.8	160.0	5.50	5.48	5.49
8		2902	42	28.8	28.0	765.1	104	88	84	308	35	51	44	487	113.8	160.0	5.50	5.49	5.48
9		2902	41	28.8	28.0	765.1	104	88	84	308	35	51	44	488	113.8	160.0	5.51	5.51	5.50
10	step 4	900	0	28.3	27.6	765.1	90	86	84	102	35	57	43	178	13.3	18.6	36.29	36.30	36.20
11		900	0	28.0	27.0	765.1	88	87	87	98	35	57	41	180	13.3	18.6	36.18	36.19	36.25
12		900	0	27.8	27.2	765.0	88	87	86	98	34	57	40	183	13.3	18.6	35.57	34.52	35.13

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	136	134.02	45.58	24.6	0.004114	324.93	1350.28	0.066080	0.0623	0.902	1.012577	1.014778	0.997831
2		3248	136	134.38	45.71	24.7	0.004117	324.26	1348.33	0.066032	0.0623	0.904	1.010239	1.012031	0.998229
3		3249	136	134.28	45.69	24.6	0.004121	324.74	1348.33	0.066032	0.0624	0.905	1.010906	1.012815	0.998116
4	step 2	2750	141	139.11	40.06	25.9	0.003434	308.59	1014.91	0.057289	0.0599	0.869	1.011574	1.013599	0.998002
5		2750	141	138.94	40.01	25.9	0.003440	309.50	1016.87	0.057344	0.0600	0.869	1.012648	1.014861	0.997819
6		2750	141	139.09	40.05	25.9	0.003443	309.45	1014.91	0.057289	0.0601	0.871	1.011714	1.013764	0.997978
7	step 3	2902	42	41.38	12.57	18.6	0.001504	430.45	1112.69	0.059985	0.0251	0.363	1.012788	1.015026	0.997795
8		2902	42	41.35	12.56	18.6	0.001503	430.50	1112.69	0.059985	0.0250	0.363	1.013459	1.015814	0.997681
9		2902	41	40.36	12.27	18.2	0.001498	439.66	1112.69	0.059985	0.0250	0.362	1.013459	1.015814	0.997681
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000227	-	130.04	0.020507	0.0111	0.160	1.015140	1.017790	0.997397
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000227	-	130.04	0.020507	0.0111	0.161	1.016151	1.018978	0.997226
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000234	-	130.04	0.020507	0.0114	0.166	1.016694	1.019615	0.997135

ตารางที่ ๑-70 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 70 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3249	136	29.2	27.6	766.2	110	88	82	773	35	50	40	508	138.3	197.0	2.01	2.01	2.01
2		3249	136	30.8	28.8	766.3	110	88	82	771	36	51	42	506	13.1	196.6	2.01	2.01	2.00
3		3248	136	31.8	29.1	766.3	111	88	81	771	38	53	43	507	137.7	196.0	2.01	2.01	2.01
4	step 2	2750	139	32.2	30.0	766.2	107	88	80	715	39	55	43	474	103.6	148.6	2.41	2.41	2.40
5		2749	139	32.4	30.2	766.1	107	88	81	713	39	54	43	474	104.0	148.6	2.41	2.40	2.41
6		2750	140	32.8	30.8	766.0	107	88	81	712	39	56	44	474	103.8	148.6	2.41	2.42	2.41
7	step 3	2901	42	32.2	29.8	766.0	102	87	85	311	38	54	47	495	113.9	160.2	5.42	5.42	5.42
8		2902	42	32.0	29.8	765.9	102	88	84	312	38	54	47	496	113.9	160.2	5.41	5.43	5.41
9		2901	42	30.4	29.0	765.8	102	88	84	311	38	54	47	496	114.0	160.2	5.42	5.42	5.42
10	step 4	900	0	31.2	29.4	765.5	87	87	85	95	37	60	46	181	13.4	19.2	36.74	36.70	36.63
11		900	0	30.9	28.8	765.5	87	87	86	94	37	59	45	183	13.4	19.2	36.61	36.54	36.58
12		900	0	30.2	28.3	765.4	86	87	86	94	37	59	43	183	13.3	19.0	36.94	36.95	36.99

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3249	136	133.87	45.55	24.7	0.004104	324.35	1352.24	0.066128	0.0621	0.899	1.013574	1.015949	0.997662
2		3249	136	134.68	45.82	24.7	0.004132	324.60	128.09	0.020352	0.2030	2.942	1.008370	1.009834	0.998550
3		3248	136	135.20	45.98	24.7	0.004138	323.98	1346.37	0.065984	0.0627	0.909	1.005063	1.005949	0.999119
4	step 2	2750	139	138.41	39.86	25.6	0.003461	312.60	1012.96	0.057234	0.0605	0.876	1.003615	1.004248	0.999370
5		2749	139	138.54	39.88	25.6	0.003464	312.67	1016.87	0.057344	0.0604	0.875	1.002828	1.003322	0.999507
6		2750	140	139.77	40.25	25.9	0.003459	309.39	1014.91	0.057289	0.0604	0.875	1.001386	1.001628	0.999758
7	step 3	2901	42	41.84	12.71	18.4	0.001537	435.45	1113.67	0.060012	0.0256	0.371	1.003353	1.003940	0.999415
8		2902	42	41.81	12.71	18.4	0.001537	435.61	1113.67	0.060012	0.0256	0.371	1.003880	1.004559	0.999324
9		2901	42	41.56	12.63	18.4	0.001529	435.88	1114.64	0.060038	0.0255	0.369	1.009040	1.010621	0.998435
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000226	-	131.02	0.020584	0.0110	0.159	1.005993	1.007042	0.998959
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000227	-	131.02	0.020584	0.0110	0.160	1.006986	1.008208	0.998787
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	130.04	0.020507	0.0109	0.158	1.009177	1.010783	0.998411

ตารางที่ จ-71 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 71 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	136	32.2	29.5	765.0	112	88	81	777	39	55	45	501	135.7	196.5	2.01	2.01	2.00
2		3250	135	32.4	30.0	765.0	111	87	81	775	40	55	45	500	135.7	194.6	2.01	2.01	2.00
3		3250	135	33.0	30.4	764.8	112	87	80	773	40	55	45	500	135.7	194.6	2.01	2.01	2.00
4	step 2	2751	140	33.8	31.2	764.5	107	88	80	717	41	57	45	469	103.8	149.0	2.40	2.40	2.40
5		2750	140	33.8	31.4	764.0	108	88	82	717	41	57	45	469	103.6	148.6	2.42	2.42	2.41
6		2751	140	34.0	32.0	763.9	108	88	81	719	41	57	46	469	103.6	148.6	2.41	2.41	2.41
7	step 3	2901	43	33.6	31.4	763.9	104	88	83	314	40	56	48	492	113.9	160.0	5.43	5.43	5.43
8		2901	41	33.2	31.4	763.5	103	88	84	309	39	55	49	493	113.9	160.0	5.49	5.49	5.48
9		2902	41	32.8	31.2	763.5	103	87	85	309	39	55	48	492	113.9	160.0	5.49	5.47	5.48
10	step 4	900	0	32.0	30.0	763.5	89	87	85	97	39	61	48	179	13.0	18.4	37.41	37.31	37.13
11		900	0	31.6	30.0	763.2	87	86	85	93	38	60	46	182	13.0	18.8	37.49	37.34	37.48
12		900	0	31.2	29.6	763.2	87	87	86	93	38	60	44	183	13.0	18.8	37.60	37.53	37.45

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	136	135.67	46.18	24.7	0.004158	324.14	1326.82	0.065504	0.0635	0.920	1.002044	1.002401	0.999643
2		3250	135	134.78	45.87	24.5	0.004160	326.51	1326.82	0.065504	0.0635	0.920	1.001388	1.001630	0.999758
3		3250	135	135.13	45.99	24.5	0.004170	326.38	1326.82	0.065504	0.0637	0.923	0.999164	0.999017	1.000146
4	step 2	2751	140	140.63	40.51	25.8	0.003497	310.71	1014.91	0.057289	0.0610	0.885	0.996169	0.995498	1.000673
5		2750	140	140.74	40.53	25.9	0.003475	308.65	1012.96	0.057234	0.0607	0.880	0.995517	0.994733	1.000789
6		2751	140	140.87	40.58	25.9	0.003487	309.34	1012.96	0.057234	0.0609	0.883	0.994739	0.993818	1.000926
7	step 3	2901	43	43.20	13.12	18.9	0.001546	424.00	1113.67	0.060012	0.0258	0.373	0.996036	0.995342	1.000697
8		2901	41	41.15	12.50	18.2	0.001529	440.15	1113.67	0.060012	0.0255	0.369	0.996814	0.996257	1.000560
9		2902	41	41.09	12.49	18.2	0.001528	440.63	1113.67	0.060012	0.0255	0.369	0.998117	0.997788	1.000330
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	127.11	0.020274	0.0111	0.160	1.000734	1.000863	0.999872
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000223	-	127.11	0.020274	0.0110	0.159	1.001654	1.001943	0.999711
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	127.11	0.020274	0.0110	0.159	1.002970	1.003490	0.999482

ตารางที่ จ-72 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 72 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	135	33.1	30.6	763.2	112	88	82	777	40	56	46	497	137.3	194.6	2.01	2.01	2.02
2		3250	135	33.8	31.2	763.0	113	88	80	775	41	56	46	497	137.3	194.6	2.01	2.01	2.02
3		3250	135	33.8	31.4	763.0	113	87	81	767	41	56	47	497	136.9	194.2	2.01	2.01	2.01
4	step 2	2750	139	34.8	32.2	762.9	110	88	81	711	41	58	46	472	103.0	147.8	2.39	2.40	2.41
5		2750	139	34.8	32.0	762.9	110	87	81	712	42	58	47	472	103.0	148.0	2.40	2.40	2.40
6		2750	139	35.2	33.0	763.0	110	88	81	710	42	58	46	472	102.8	148.0	2.40	2.40	2.41
7	step 3	2902	41	33.8	31.6	763.2	105	88	84	307	40	56	49	493	114.5	161.0	5.44	5.44	5.45
8		2902	41	33.8	31.6	763.4	105	88	84	307	40	56	49	493	114.5	161.0	5.39	5.39	5.41
9		2902	41	33.0	31.0	763.5	104	88	84	307	40	56	48	494	113.5	161.0	5.44	5.43	5.45
10	step 4	933	3	32.4	31.0	763.5	89	87	85	97	40	60	46	177	13.0	18.4	36.74	36.70	36.70
11		935	3	32.0	30.2	763.7	87	88	87	94	39	59	45	180	13.0	18.4	36.78	36.62	36.75
12		934	3	31.6	30.0	763.8	87	88	86	94	38	60	44	180	13.0	18.6	37.17	37.09	36.99

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	135	135.52	46.12	24.6	0.004166	325.16	1342.46	0.065889	0.0632	0.916	0.996748	0.996179	1.000571
2		3250	135	135.92	46.26	24.6	0.004176	325.02	1342.46	0.065889	0.0634	0.919	0.994214	0.993202	1.001019
3		3250	135	135.92	46.26	24.6	0.004183	325.56	1338.55	0.065793	0.0636	0.922	0.994214	0.993202	1.001019
4	step 2	2750	139	140.51	40.46	25.6	0.003515	312.77	1007.09	0.057068	0.0616	0.893	0.990856	0.989256	1.001618
5		2750	139	140.51	40.46	25.6	0.003515	312.77	1007.09	0.057068	0.0616	0.893	0.990856	0.989256	1.001618
6		2750	139	140.70	40.52	25.6	0.003515	312.27	1005.14	0.057013	0.0616	0.893	0.989700	0.987898	1.001825
7	step 3	2902	41	41.27	12.54	18.1	0.001544	443.31	1119.53	0.060170	0.0257	0.372	0.994475	0.993508	1.000973
8		2902	41	41.26	12.54	17.9	0.001557	447.17	1119.53	0.060170	0.0259	0.375	0.994735	0.993814	1.000927
9		2902	41	41.12	12.50	18.0	0.001541	443.82	1109.76	0.059906	0.0257	0.373	0.997465	0.997022	1.000445
10	step 4	933	3	3.00	0.29	-	0.000228	-	127.11	0.020274	0.0112	0.163	0.999424	0.999323	1.000101
11		935	3	3.00	0.29	-	0.000227	-	127.11	0.020274	0.0112	0.163	1.000996	1.001171	0.999826
12		934	3	2.99	0.29	-	0.000225	-	127.11	0.020274	0.0111	0.161	1.002441	1.002869	0.999574

ตารางที่ ๑-73 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 73 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3249	136	31.0	29.2	764.1	114	88	81	765	39	54	45	494	136.7	194.2	2.00	2.00	2.00
2		3248	135	31.3	30.0	764.6	114	88	81	764	39	54	45	494	136.7	194.2	2.00	2.00	2.00
3		3248	135	31.0	29.2	764.7	114	88	81	764	38	54	44	494	136.5	194.2	2.00	2.00	1.99
4	step 2	2752	142	30.8	29.4	765.0	111	88	81	712	38	55	43	470	102.8	148.0	2.37	2.37	2.36
5		2752	141	30.5	29.0	765.0	111	88	81	711	38	54	43	470	103.0	146.8	2.37	2.37	2.37
6		2752	141	30.0	28.4	765.0	111	88	81	711	38	54	43	469	103.0	148.0	2.36	2.36	2.37
7	step 3	2901	44	30.2	28.8	765.1	105	87	84	313	37	53	45	491	114.0	159.8	5.31	5.30	5.33
8		2901	43	30.0	28.6	765.1	105	87	84	311	36	52	45	491	113.9	159.8	5.32	5.32	5.33
9		2901	43	29.8	28.4	765.2	105	87	84	311	36	52	45	491	114.0	159.8	5.32	5.31	5.32
10	step 4	900	0	29.0	27.6	765.5	88	88	87	96	36	58	43	180	13.0	18.8	36.94	36.82	36.80
11		900	0	29.0	27.6	765.5	87	86	85	94	35	59	42	185	13.0	18.8	37.27	36.99	36.97
12		900	0	28.8	27.6	765.8	87	86	84	95	35	58	41	184	13.0	18.8	37.19	37.04	37.04

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3249	136	135.24	46.01	24.6	0.004160	325.48	1336.60	0.065744	0.0633	0.917	1.004813	1.005656	0.999162
2		3248	135	134.29	45.68	24.4	0.004161	327.97	1336.60	0.065744	0.0633	0.917	1.004480	1.005264	0.999220
3		3248	135	134.12	45.62	24.4	0.004164	328.59	1334.64	0.065696	0.0634	0.919	1.005602	1.006583	0.999026
4	step 2	2752	142	140.90	40.61	25.7	0.003509	311.11	1005.14	0.057013	0.0615	0.892	1.006659	1.007824	0.998844
5		2752	141	139.74	40.27	25.6	0.003501	312.93	1007.09	0.057068	0.0613	0.889	1.007654	1.008993	0.998673
6		2752	141	139.47	40.19	25.5	0.003505	313.90	1007.09	0.057068	0.0614	0.890	1.009315	1.010946	0.998387
7	step 3	2901	44	43.55	13.23	18.9	0.001560	424.40	1114.64	0.060038	0.0260	0.377	1.008782	1.010319	0.998479
8		2901	43	42.53	12.92	18.5	0.001556	433.50	1113.67	0.060012	0.0259	0.376	1.009447	1.011101	0.998365
9		2901	43	42.49	12.91	18.4	0.001556	434.10	1114.64	0.060038	0.0259	0.376	1.010246	1.012039	0.998228
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	127.11	0.020274	0.0110	0.160	1.013318	1.015648	0.997705
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000223	-	127.11	0.020274	0.0110	0.159	1.013318	1.015648	0.997705
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	127.11	0.020274	0.0110	0.159	1.014386	1.016904	0.997524

ตารางที่ จ-74 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 74 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3248	136	29.7	28.0	766.0	114	88	81	765	36	53	42	494	136.9	195.8	1.99	1.99	1.98
2		3248	136	30.4	29.0	766.0	114	88	81	765	38	53	43	493	136.7	195.4	1.99	1.99	2.00
3		3248	137	30.4	28.8	766.0	114	88	81	764	38	53	43	493	136.9	195.6	2.00	2.00	2.00
4	step 2	2752	141	30.8	29.4	766.0	111	88	81	713	38	54	42	467	103.8	148.8	2.39	2.39	2.38
5		2752	142	31.0	29.6	769.8	111	88	81	718	38	54	42	467	103.4	148.0	2.39	2.37	2.38
6		2753	141	30.6	29.4	769.8	110	88	81	716	38	54	42	467	103.8	148.2	2.38	2.38	2.38
7	step 3	2902	44	30.6	29.6	765.6	105	88	84	315	37	53	44	487	113.9	159.8	5.41	5.40	5.40
8		2902	42	29.8	28.2	765.5	105	88	84	310	36	52	44	488	113.9	159.6	5.40	5.39	5.38
9		2901	42	30.0	28.6	765.3	105	87	85	312	36	52	44	488	113.9	159.8	5.46	5.47	5.45
10	step 4	900	0	29.8	28.6	765.5	92	88	87	105	36	59	44	174	13.0	18.4	37.31	37.30	37.35
11		900	0	29.4	28.4	765.4	88	86	85	94	36	58	42	185	13.0	18.8	37.29	37.33	37.35
12		900	0	29.2	28.2	765.2	88	87	85	94	36	59	41	182	13.0	18.8	37.64	37.65	37.53

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3248	136	134.17	45.63	24.4	0.004160	328.15	1338.55	0.065793	0.0632	0.916	1.011636	1.013672	0.997991
2		3248	136	134.53	45.76	24.5	0.004155	326.92	1336.60	0.065744	0.0632	0.916	1.009303	1.010931	0.998390
3		3248	137	135.52	46.09	24.7	0.004141	323.45	1338.55	0.065793	0.0629	0.912	1.009303	1.010931	0.998390
4	step 2	2752	141	139.69	40.26	25.8	0.003475	310.76	1014.91	0.057289	0.0607	0.879	1.007975	1.009370	0.998617
5		2752	142	139.98	40.34	25.8	0.003470	309.66	1011.00	0.057179	0.0607	0.879	1.012309	1.014463	0.997877
6		2753	141	138.78	40.01	25.7	0.003465	311.82	1014.91	0.057289	0.0605	0.877	1.013642	1.016030	0.997650
7	step 3	2902	44	43.58	13.25	19.2	0.001535	417.14	1113.67	0.060012	0.0256	0.371	1.008112	1.009531	0.998594
8		2902	42	41.48	12.61	18.3	0.001535	438.27	1113.67	0.060012	0.0256	0.371	1.010642	1.012504	0.998161
9		2901	42	41.53	12.62	18.5	0.001516	432.73	1113.67	0.060012	0.0253	0.366	1.009711	1.011411	0.998320
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	127.11	0.020274	0.0109	0.158	1.010642	1.012504	0.998161
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000221	-	127.11	0.020274	0.0109	0.158	1.011846	1.013919	0.997955
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000220	-	127.11	0.020274	0.0108	0.157	1.012251	1.014395	0.997887

ตารางที่ จ-75 แสดงข้อมูลจากการทดสอบ และผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 75 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3251	136	29.9	27.8	765.7	110	87	81	779	35	49	40	502	138.3	197.0	1.99	1.99	1.99
2		3250	136	31.4	29.5	765.8	110	88	81	777	37	52	42	501	137.9	196.4	2.00	2.00	1.99
3		3251	136	32.4	30.0	766.0	111	88	81	773	39	54	43	500	137.7	196.0	2.00	2.00	2.00
4	step 2	2752	140	32.9	30.0	765.9	106	87	81	716	39	55	43	470	103.9	148.4	2.41	2.41	2.41
5		2752	140	32.8	30.2	765.9	106	87	81	719	39	52	42	469	103.9	148.0	2.40	2.40	2.40
6		2752	139	33.8	31.2	766.0	106	87	81	721	40	56	44	470	103.9	148.2	2.41	2.41	2.40
7	step 3	2902	40	32.1	30.6	765.9	102	87	85	308	39	54	47	493	114.4	160.0	5.58	5.58	5.59
8		2902	40	32.2	30.6	765.8	101	87	85	306	38	54	47	493	114.5	160.0	5.58	5.57	5.57
9		2902	40	32.4	30.7	765.6	101	87	85	306	38	54	47	493	114.6	160.0	5.54	5.53	5.53
10	step 4	900	0	31.6	29.4	765.4	88	87	85	98	38	60	46	180	12.8	18.8	36.72	36.64	36.57
11		900	0	31.2	29.1	765.2	86	88	87	94	37	59	44	184	13.0	19.0	36.81	36.98	36.97
12		900	0	30.8	28.9	765.1	86	87	85	94	37	59	43	184	13.0	19.0	36.94	37.09	37.08

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (kW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3251	136	134.33	45.73	24.5	0.004157	327.24	1352.24	0.066128	0.0629	0.911	1.010572	1.012423	0.998173
2		3250	136	135.09	45.98	24.6	0.004163	325.98	1348.33	0.066032	0.0630	0.914	1.005726	1.006728	0.999005
3		3251	136	135.57	46.15	24.6	0.004169	325.16	1346.37	0.065984	0.0632	0.916	1.002697	1.003169	0.999530
4	step 2	2752	140	139.85	40.30	25.9	0.003466	309.57	1015.89	0.057317	0.0605	0.876	1.000928	1.001090	0.999838
5		2752	140	139.79	40.29	25.7	0.003479	310.88	1015.89	0.057317	0.0607	0.880	1.001255	1.001475	0.999781
6		2752	139	139.31	40.15	25.6	0.003480	312.07	1015.89	0.057317	0.0607	0.880	0.998123	0.997795	1.000329
7	step 3	2902	40	39.83	12.11	18.0	0.001492	443.71	1118.56	0.060143	0.0248	0.360	1.003551	1.004172	0.999381
8		2902	40	39.86	12.11	18.0	0.001495	444.47	1119.53	0.060170	0.0249	0.360	1.003091	1.003632	0.999461
9		2902	40	39.90	12.12	17.9	0.001508	447.61	1120.51	0.060196	0.0250	0.363	1.002173	1.002553	0.999621
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000227	-	125.15	0.020118	0.0113	0.164	1.004541	1.005336	0.999209
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000225	-	127.11	0.020274	0.0111	0.161	1.005599	1.006579	0.999027
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	127.11	0.020274	0.0111	0.160	1.006791	1.007979	0.998821

ตารางที่ จ-76 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ บ. วัฏจักรการทดสอบที่ 76 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)							Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)		
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	135	32.2	29.8	765.0	110	87	81	784	39	55	45	500	136.9	195.8	2.01	2.00	2.00
2		3250	135	33.6	31.2	764.5	111	88	81	782	41	56	46	498	136.7	195.4	2.01	2.00	2.01
3		3250	135	33.8	31.4	764.4	111	87	81	779	41	56	46	498	136.7	195.0	2.01	2.01	2.02
4	step 2	2752	138	34.4	31.8	764.1	107	87	81	722	41	57	46	469	103.0	147.6	2.40	2.40	2.41
5		2752	138	34.2	31.6	763.9	107	87	81	718	41	57	46	468	102.6	147.0	2.40	2.40	2.40
6		2750	139	32.8	30.6	763.3	107	87	81	723	40	54	43	467	102.8	147.6	2.40	2.40	2.39
7	step 3	2901	40	33.0	31.6	763.8	102	87	85	302	40	55	49	492	114.0	158.6	5.50	5.50	5.51
8		2900	40	32.8	30.6	763.7	102	87	85	303	40	54	48	493	113.9	158.6	5.50	5.51	5.51
9		2900	40	33.0	31.6	763.8	102	88	84	305	40	55	49	492	113.9	158.6	5.50	5.51	5.52
10	step 4	900	0	33.6	31.6	763.2	89	87	85	99	40	61	48	179	12.7	18.6	37.29	37.25	37.31
11		900	0	33.2	31.1	763.1	88	88	85	96	40	61	47	182	12.8	18.8	37.26	37.31	37.31
12		900	0	32.8	30.8	763.1	87	87	86	95	39	60	46	183	12.8	18.8	37.29	37.30	37.18

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	135	134.68	45.84	24.5	0.004165	327.09	1338.55	0.065793	0.0633	0.917	1.002044	1.002401	0.999643
2		3250	135	135.51	46.12	24.5	0.004179	326.25	1336.60	0.065744	0.0636	0.921	0.996818	0.996261	1.000559
3		3250	135	135.63	46.16	24.6	0.004169	325.12	1336.60	0.065744	0.0634	0.919	0.996038	0.995345	1.000697
4	step 2	2752	138	139.03	40.07	25.4	0.003501	314.53	1007.09	0.057068	0.0613	0.889	0.993705	0.992604	1.001110
5		2752	138	138.96	40.05	25.4	0.003504	314.98	1003.18	0.056957	0.0615	0.892	0.994092	0.993058	1.001041
6		2750	139	139.35	40.13	25.5	0.003496	313.59	1005.14	0.057013	0.0613	0.889	0.997856	0.997481	1.000376
7	step 3	2901	40	40.10	12.18	17.8	0.001522	449.87	1114.64	0.060038	0.0254	0.367	0.997857	0.997482	1.000376
8		2900	40	40.08	12.17	17.8	0.001521	449.79	1113.67	0.060012	0.0253	0.367	0.998379	0.998095	1.000284
9		2900	40	40.10	12.18	17.8	0.001520	449.48	1113.67	0.060012	0.0253	0.367	0.997857	0.997482	1.000376
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000225	-	124.18	0.020039	0.0112	0.163	0.995123	0.994270	1.000858
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000225	-	125.15	0.020118	0.0112	0.162	0.996292	0.995643	1.000652
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000225	-	125.15	0.020118	0.0112	0.162	0.997595	0.997174	1.000422

ตารางที่ ๑-77 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วิจัยจักรการทดสอบที่ 77 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3250	135	33.6	31.6	762.9	112	87	81	781	41	56	46	492	136.9	194.6	2.02	2.02	2.01
2		3250	135	34.5	32.5	762.7	112	87	81	779	42	57	46	494	136.7	194.4	2.02	2.02	2.01
3		3250	133	35.2	32.6	762.5	112	87	81	779	42	57	47	499	136.7	194.6	2.02	2.02	2.03
4	step 2	2750	138	34.6	32.4	762.7	108	87	81	722	42	58	46	474	102.6	147.0	2.42	2.42	2.41
5		2750	138	34.0	32.0	762.7	108	87	81	724	42	58	45	474	102.6	146.6	2.42	2.42	2.42
6		2750	138	34.4	32.2	762.7	108	87	81	723	42	58	46	472	102.8	147.0	2.41	2.41	2.41
7	step 3	2902	40	33.6	31.8	762.7	104	87	85	314	41	56	48	493	114.1	159.0	5.57	5.57	5.57
8		2903	39	33.8	32.2	762.6	103	88	84	310	40	56	48	494	114.1	159.0	5.56	5.56	5.57
9		2903	39	33.4	32.0	762.6	104	87	85	309	40	55	48	493	114.1	159.4	5.57	5.57	5.57
10	step 4	900	0	33.0	31.8	762.9	89	86	85	99	39	61	47	182	12.6	18.4	37.02	37.06	37.15
11		900	0	32.7	31.6	763.0	88	87	86	96	38	60	44	184	12.6	18.6	37.40	37.33	37.35
12		900	0	32.6	31.0	763.0	87	87	85	96	38	61	44	185	12.7	18.6	37.47	37.46	37.48

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3250	135	135.84	46.23	24.7	0.004167	324.51	1338.55	0.065793	0.0633	0.918	0.994732	0.993810	1.000928
2		3250	135	136.35	46.41	24.7	0.004181	324.33	1336.60	0.065744	0.0636	0.922	0.991562	0.990085	1.001491
3		3250	133	134.73	45.86	24.4	0.004178	327.97	1336.60	0.065744	0.0635	0.921	0.989052	0.987136	1.001941
4	step 2	2750	138	139.44	40.15	25.6	0.003490	312.88	1003.18	0.056957	0.0613	0.888	0.991240	0.989707	1.001549
5		2750	138	139.12	40.06	25.6	0.003478	312.56	1003.18	0.056957	0.0611	0.885	0.993176	0.991982	1.001204
6		2750	138	139.33	40.12	25.5	0.003497	313.78	1005.14	0.057013	0.0613	0.889	0.991884	0.990464	1.001434
7	step 3	2902	40	40.26	12.24	18.0	0.001509	444.06	1115.62	0.060064	0.0251	0.364	0.994471	0.993504	1.000974
8		2903	39	39.29	11.94	17.6	0.001512	455.78	1115.62	0.060064	0.0252	0.365	0.993693	0.992589	1.001112
9		2903	39	39.23	11.93	17.6	0.001508	455.33	1115.62	0.060064	0.0251	0.364	0.994990	0.994113	1.000882
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000226	-	123.20	0.019960	0.0113	0.164	0.996682	0.996101	1.000583
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	123.20	0.019960	0.0112	0.163	0.997790	0.997403	1.000388
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	124.18	0.020039	0.0112	0.162	0.998116	0.997787	1.000330

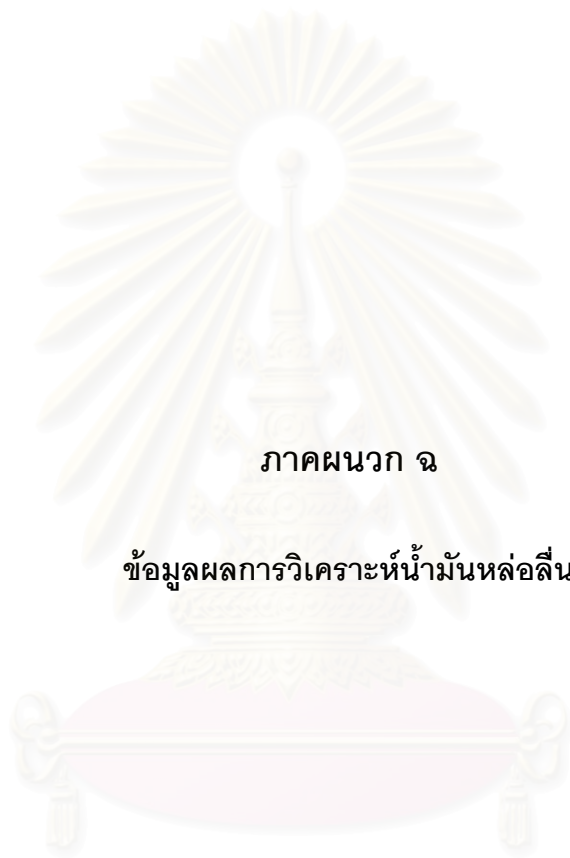
ตารางที่ ๑-78 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 78 เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามห้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3249	134	33.0	31.2	763.5	113	88	81	777	40	55	45	495	136.9	194.6	2.01	2.01	2.02
2		3249	134	33.6	32.0	763.6	113	88	81	774	40	56	45	494	136.9	194.6	2.01	2.01	2.02
3		3249	133	33.3	31.6	763.9	113	88	81	777	41	56	46	495	136.9	194.6	2.01	2.02	2.02
4	step 2	2751	138	33.8	32.0	764.1	110	88	81	719	41	57	45	469	102.9	147.0	2.42	2.41	2.41
5		2751	138	33.4	32.0	764.6	110	88	81	718	41	57	45	469	103.0	147.4	2.42	2.42	2.42
6		2751	138	33.8	32.4	764.8	110	88	81	719	41	57	45	469	103.0	147.4	2.42	2.41	2.41
7	step 3	2901	40	33.4	31.8	765.0	105	88	84	311	40	55	47	492	114.1	159.0	5.51	5.51	5.51
8		2901	40	32.6	31.4	765.2	105	88	84	310	39	55	48	492	114.1	159.4	5.51	5.51	5.51
9		2901	39	32.8	31.6	765.4	104	88	84	310	39	55	47	492	114.1	159.4	5.50	5.50	5.50
10	step 4	900	0	31.9	31.0	765.5	88	87	86	97	38	59	45	181	12.6	18.4	37.27	37.21	37.24
11		900	0	31.4	30.6	765.5	87	87	84	96	38	59	44	183	12.6	18.4	37.43	37.26	37.41
12		900	0	31.0	30.0	765.7	86	87	86	95	38	59	44	185	12.6	18.4	37.43	37.46	37.40

Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (KW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air Δ P (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor		
													k	α	β
1	step 1	3249	134	134.40	45.73	24.4	0.004163	327.73	1338.55	0.065793	0.0633	0.917	0.997465	0.997022	1.000445
2		3249	134	134.69	45.83	24.4	0.004170	327.63	1338.55	0.065793	0.0634	0.919	0.995645	0.994883	1.000766
3		3249	133	133.47	45.41	24.3	0.004158	329.62	1338.55	0.065793	0.0632	0.916	0.997011	0.996488	1.000525
4	step 2	2751	138	138.71	39.96	25.5	0.003479	313.44	1006.11	0.057040	0.0610	0.884	0.995648	0.994886	1.000766
5		2751	138	138.39	39.87	25.6	0.003463	312.69	1007.09	0.057068	0.0607	0.879	0.997599	0.997179	1.000421
6		2751	138	138.56	39.92	25.5	0.003476	313.50	1007.09	0.057068	0.0609	0.883	0.996560	0.995958	1.000604
7	step 3	2901	40	40.09	12.18	17.8	0.001520	449.34	1115.62	0.060064	0.0253	0.367	0.998121	0.997792	1.000330
8		2901	40	39.95	12.14	17.8	0.001516	449.57	1115.62	0.060064	0.0252	0.366	1.000994	1.001168	0.999826
9		2901	39	38.97	11.84	17.3	0.001519	461.90	1115.62	0.060064	0.0253	0.367	1.000601	1.000707	0.999895
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000224	-	123.20	0.019960	0.0112	0.162	1.003685	1.004329	0.999358
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000223	-	123.20	0.019960	0.0111	0.162	1.005332	1.006266	0.999073
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	123.20	0.019960	0.0111	0.161	1.006918	1.008128	0.998799

ตารางที่ ๑-79 แสดงข้อมูลจากการทดสอบและผลการคำนวณ วัฏจักรการทดสอบที่ 79 เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลตามท้องตลาด

Run Number	Operation point	Engine (rev/min)	Torque (N-m)	ambient condition			Temperature(°C)						Pressure			Fuel Flow rate (sec/10ml)			
				T db	T wb	P atm	Engine Oil	Water out	Water in	exhaust	Air Box	Intake manifold	Fuel	Engine Oil (kPa)	Air Box (mm.H ₂ O)	Intake manifold (mm.H ₂ O)	1	2	3
1	step 1	3249	134	32.6	31.2	765.8	113	87	81	779	39	55	44	493	137.3	195.0	2.01	2.01	2.01
2		3249	134	32.2	31.2	765.8	113	87	81	772	40	55	44	493	137.1	195.0	2.00	2.01	2.01
3		3249	135	32.2	31.2	765.8	113	87	81	772	40	55	44	493	137.1	195.0	2.00	2.01	2.01
4	step 2	2751	139	32.1	30.8	765.8	110	87	81	719	40	56	44	470	103.0	147.8	2.40	2.40	2.40
5		2751	139	32.0	30.8	765.8	110	87	81	720	39	56	43	469	103.0	147.8	2.39	2.39	2.40
6		2751	139	32.0	31.0	765.8	110	87	81	722	40	56	44	469	103.0	147.4	2.39	2.39	2.40
7	step 3	2901	41	31.4	30.6	765.7	105	88	84	313	39	54	46	489	114.3	159.4	5.50	5.50	5.50
8		2901	40	31.4	30.4	765.5	105	88	84	310	38	53	46	490	114.1	159.6	5.50	5.51	5.51
9		2902	40	31.2	30.5	765.5	105	88	84	310	38	54	46	490	114.3	159.4	5.50	5.50	5.50
10	step 4	900	0	30.7	29.6	765.5	88	86	85	98	37	60	45	183	12.7	18.4	36.86	36.94	36.78
11		900	0	30.2	29.3	765.5	88	86	85	96	37	59	43	186	12.7	18.4	37.24	37.22	37.09
12		900	0	30.2	29.2	765.2	88	87	86	96	37	59	42	186	12.8	18.4	37.45	37.36	37.36
Run Number	Operation point	Engine Speed (rev/min)	Torque (N-m)	Corrected T (N-m)	Corrected P (kW)	η_{fuel} (%)	mf corrected (kg/s)	bsfc (g/kW-hr)	air ΔP (kPa)	Air flow rate (kg/s)	Fuel/Air	Equivalence Ratio (ϕ)	Correction Factor						
													k	α	β				
1	step 1	3249	134	133.72	45.50	24.4	0.004152	328.52	1342.46	0.065889	0.0630	0.913	1.001779	1.002090	0.999689				
2		3249	134	133.52	45.43	24.3	0.004153	329.14	1340.51	0.065841	0.0631	0.914	1.003091	1.003632	0.999461				
3		3249	135	134.51	45.77	24.5	0.004153	326.70	1340.51	0.065841	0.0631	0.914	1.003091	1.003632	0.999461				
4	step 2	2751	139	138.44	39.88	25.5	0.003471	313.34	1007.09	0.057068	0.0608	0.882	1.003420	1.004019	0.999404				
5		2751	139	138.39	39.87	25.5	0.003480	314.24	1007.09	0.057068	0.0610	0.884	1.003749	1.004405	0.999347				
6		2751	139	138.39	39.87	25.5	0.003480	314.24	1007.09	0.057068	0.0610	0.884	1.003749	1.004405	0.999347				
7	step 3	2901	41	40.73	12.37	18.2	0.001512	439.75	1117.58	0.060117	0.0251	0.364	1.005595	1.006574	0.999027				
8		2901	40	39.75	12.08	17.8	0.001510	450.18	1115.62	0.060064	0.0251	0.364	1.005332	1.006266	0.999073				
9		2902	40	39.72	12.07	17.8	0.001511	450.62	1117.58	0.060117	0.0251	0.364	1.005993	1.007042	0.998959				
10	step 4	900	0	0.00	0.00	-	0.000225	-	124.18	0.020039	0.0112	0.163	1.007648	1.008987	0.998673				
11		900	0	0.00	0.00	-	0.000223	-	124.18	0.020039	0.0111	0.161	1.009309	1.010938	0.998389				
12		900	0	0.00	0.00	-	0.000222	-	125.15	0.020118	0.0110	0.160	1.008914	1.010474	0.998456				





ภาคผนวก จ

ข้อมูลผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ฉ-1 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ยี่ห้อ ปตท. SAE 40 API CF/CF-2/SF

 LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance		Page 1 of 1	
Customer # : 18004	Site Name :	Condition of	
Invoice To : ICE R&D LAB	Location :	Oil	
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok	Unit Number : New Oil PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF	Normal	
	Test code : 803 904		
Tel. : 02 2522889	Unit type : NEW OIL		
Fax. :	Unit make :		
	Unit model :		
	Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF		
Recommendations			
All tests appear normal for this type of new oil.			
Sample	19278	Alarm Limit Range	
Date sampled	14-Jul-03	Limit Name :	
Hours on Oil	Not Available	New Oil for Baseline Purposes	
Hours on Unit	Not Available		
Q&L Ref #	814378		
Spectro Test	RDE RFS	RDE RFS	
Iron(Fe)	0.9	N.O. C-High A-High C-High A-High	
Chromium(Cr)	0.0		
Lead(Pb)	0.0		
Copper(Cu)	0.0		
Tin(Sn)	0.0		
Aluminium(Al)	0.6		
Nickel(Ni)	0.0		
Silver(Ag)	0.0		
Molybdenum(Mo)	77.3		
Titanium(Ti)	0.0		
Vanadium(V)	0.0		
Silicon(Si)	9.1		
	Additive	A-Low C-Low N.O. C-High A-High	
Boron(B)	0		
Sodium(Na)	1		
Magnesium(Mg)	24		
Calcium(Ca)	3012		
Barium(Ba)	0		
Phosphorus(P)	963		
Zinc(Zn)	1254		
	Viscosity	A-Low C-Low N.O. C-High A-High	
Visc @40	146.33		
Visc @100	14.94		
Vis. Index			
	FTIR	A-Low C-Low N.O. C-High A-High	
Oxidation(Abs)	5		
Nitration(Abs)	4		
Sulfation(Abs)	16		
Fuel %	0.00		
Water %	0.073		
Glycol %	0		
Soot %	0.00		
ZDDP (Abs)	23		
	Other Test	A-Low C-Low N.O. C-High A-High	
TAN			
TBN	9.7		
Flash Point	>205		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Office : 9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 847/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand
Tel : (662) 261 8600-3 Fax : (662) 261 8567 Email : focus@ocmfocus.th

Lab : 523 Bangpoo Industrial Estate, Soi 8, Sukhumvit Rd., Prakasi, Muang Samutprakan 10260, Thailand
Tel (62) 709 2933-36 Fax (62) 709 2937 E-mail : focuslab@ocmfocus.th

รูปที่ ฉ-2 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบวัฏจักรที่ 7(19279)


Customer # : 18004		Site Name :		Condition	
Invoice To : ICE R&D LAB		Location :		of	
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok		Unit Number : WL 81		Oil	Wear
Tel. : 02.2522889		Test code : 803 904 911		Normal	Normal
Fax. :		Unit type : Engine Diesel			
		Unit make : (not available)			
		Unit model : IDI CI 2.5L			
		Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF			

Recommendations																																																																																																																																																																	
Note some test values are near to the Alarm Limits, or slightly over the Alarm Limits, but are not considered serious at this time. All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling.																																																																																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Sample</th> <th>19279</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Date sampled</td><td>11-Jul-03</td></tr> <tr><td>Hours on Oil</td><td>Not Available</td></tr> <tr><td>Hours on Unit</td><td>Not Available</td></tr> <tr><td>Cust. Ref #</td><td>814379</td></tr> <tr><td>Spectro Test</td><td>RDE RFS</td></tr> <tr><td>Iron(Fe)</td><td>36.0 C</td></tr> <tr><td>Chromium(Cr)</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>Lead(Pb)</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>Copper(Cu)</td><td>1.6</td></tr> <tr><td>Tin(Sn)</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Aluminium(Al)</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>Nickel(Ni)</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>Silver(Ag)</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Molybdenum(Mo)</td><td>84.3</td></tr> <tr><td>Titanium(Ti)</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>Vanadium(V)</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>Silicon(Si)</td><td>6.9</td></tr> <tr><td>Boron(B)</td><td>8</td></tr> <tr><td>Sodium(Na)</td><td>2</td></tr> <tr><td>Magnesium(Mg)</td><td>49</td></tr> <tr><td>Calcium(Ca)</td><td>3252</td></tr> <tr><td>Barium(Ba)</td><td>0</td></tr> <tr><td>Phosphorus(P)</td><td>976</td></tr> <tr><td>Zinc(Zn)</td><td>1226</td></tr> <tr><td>Viscosity</td><td></td></tr> <tr><td>Visc @40</td><td>150.46</td></tr> <tr><td>Visc @100</td><td>15.71</td></tr> <tr><td>Vis. Index</td><td></td></tr> <tr><td>FTIR</td><td></td></tr> <tr><td>Oxidation(Abs)</td><td>8</td></tr> <tr><td>Nitration(Abs)</td><td>7</td></tr> <tr><td>Sulfation(Abs)</td><td>20</td></tr> <tr><td>Fuel %</td><td>1.30</td></tr> <tr><td>Water %</td><td>0.057</td></tr> <tr><td>Glycol %</td><td>0</td></tr> <tr><td>Soot %</td><td>0.72</td></tr> <tr><td>ZDDP(Abs)</td><td>24</td></tr> <tr><td>Other Test</td><td></td></tr> <tr><td>TAN</td><td>7.7</td></tr> <tr><td>TBN</td><td></td></tr> <tr><td>Flash Point</td><td>>205</td></tr> </tbody> </table>	Sample	19279	Date sampled	11-Jul-03	Hours on Oil	Not Available	Hours on Unit	Not Available	Cust. Ref #	814379	Spectro Test	RDE RFS	Iron(Fe)	36.0 C	Chromium(Cr)	1.0	Lead(Pb)	0.9	Copper(Cu)	1.6	Tin(Sn)	0.0	Aluminium(Al)	2.5	Nickel(Ni)	0.1	Silver(Ag)	0.0	Molybdenum(Mo)	84.3	Titanium(Ti)	0.0	Vanadium(V)	0.5	Silicon(Si)	6.9	Boron(B)	8	Sodium(Na)	2	Magnesium(Mg)	49	Calcium(Ca)	3252	Barium(Ba)	0	Phosphorus(P)	976	Zinc(Zn)	1226	Viscosity		Visc @40	150.46	Visc @100	15.71	Vis. Index		FTIR		Oxidation(Abs)	8	Nitration(Abs)	7	Sulfation(Abs)	20	Fuel %	1.30	Water %	0.057	Glycol %	0	Soot %	0.72	ZDDP(Abs)	24	Other Test		TAN	7.7	TBN		Flash Point	>205	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Alarm Limit Range</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Limit Name : Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40</th> </tr> <tr> <th></th> <th>RDE RFS</th> </tr> <tr> <th>N.O.</th> <th>C-High A-High C-High A-High</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1.0</td><td>24.0 38.0 33.0 53.0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>1.0 1.7 1.6 2.4</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>8.0 13.0 9.0 15.0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>13.0 25.0 20.0 34.0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>3.2 5.8 6.6 11.7</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>4.0 6.0 6.0 9.0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>0.6 1.1 2.6 4.1</td></tr> <tr><td>0.0</td><td></td></tr> <tr><td>77.0</td><td></td></tr> <tr><td>0.0</td><td></td></tr> <tr><td>0.0</td><td></td></tr> <tr><td>9.0</td><td>13.0 21.0 16.0 21.0</td></tr> <tr><td>A-Low</td><td>C-Low N.O. C-High A-High</td></tr> <tr><td></td><td>0</td></tr> <tr><td></td><td>0</td></tr> <tr><td></td><td>24</td></tr> <tr><td></td><td>3012</td></tr> <tr><td></td><td>0</td></tr> <tr><td></td><td>963</td></tr> <tr><td></td><td>1254</td></tr> <tr><td>A-Low</td><td>C-Low N.O. C-High A-High</td></tr> <tr><td></td><td>146.33</td></tr> <tr><td>12.70</td><td>13.44 14.94 16.40 17.18</td></tr> <tr><td>A-Low</td><td>C-Low N.O. C-High A-High</td></tr> <tr><td></td><td>5 14 19</td></tr> <tr><td></td><td>4 13 14</td></tr> <tr><td></td><td>16 25 34</td></tr> <tr><td></td><td>0.00 3.00 5.00</td></tr> <tr><td></td><td>0.073 0.100 0.300</td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td>0.00 2.10 5.10</td></tr> <tr><td>A-Low</td><td>C-Low N.O. C-High A-High</td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td>2.0</td><td>4.8 9.7</td></tr> </tbody> </table>	Alarm Limit Range		Limit Name : Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40			RDE RFS	N.O.	C-High A-High C-High A-High	1.0	24.0 38.0 33.0 53.0	0.0	1.0 1.7 1.6 2.4	0.0	8.0 13.0 9.0 15.0	0.0	13.0 25.0 20.0 34.0	0.0	3.2 5.8 6.6 11.7	0.0	4.0 6.0 6.0 9.0	0.0	0.6 1.1 2.6 4.1	0.0		77.0		0.0		0.0		9.0	13.0 21.0 16.0 21.0	A-Low	C-Low N.O. C-High A-High		0		0		24		3012		0		963		1254	A-Low	C-Low N.O. C-High A-High		146.33	12.70	13.44 14.94 16.40 17.18	A-Low	C-Low N.O. C-High A-High		5 14 19		4 13 14		16 25 34		0.00 3.00 5.00		0.073 0.100 0.300				0.00 2.10 5.10	A-Low	C-Low N.O. C-High A-High			2.0	4.8 9.7
Sample	19279																																																																																																																																																																
Date sampled	11-Jul-03																																																																																																																																																																
Hours on Oil	Not Available																																																																																																																																																																
Hours on Unit	Not Available																																																																																																																																																																
Cust. Ref #	814379																																																																																																																																																																
Spectro Test	RDE RFS																																																																																																																																																																
Iron(Fe)	36.0 C																																																																																																																																																																
Chromium(Cr)	1.0																																																																																																																																																																
Lead(Pb)	0.9																																																																																																																																																																
Copper(Cu)	1.6																																																																																																																																																																
Tin(Sn)	0.0																																																																																																																																																																
Aluminium(Al)	2.5																																																																																																																																																																
Nickel(Ni)	0.1																																																																																																																																																																
Silver(Ag)	0.0																																																																																																																																																																
Molybdenum(Mo)	84.3																																																																																																																																																																
Titanium(Ti)	0.0																																																																																																																																																																
Vanadium(V)	0.5																																																																																																																																																																
Silicon(Si)	6.9																																																																																																																																																																
Boron(B)	8																																																																																																																																																																
Sodium(Na)	2																																																																																																																																																																
Magnesium(Mg)	49																																																																																																																																																																
Calcium(Ca)	3252																																																																																																																																																																
Barium(Ba)	0																																																																																																																																																																
Phosphorus(P)	976																																																																																																																																																																
Zinc(Zn)	1226																																																																																																																																																																
Viscosity																																																																																																																																																																	
Visc @40	150.46																																																																																																																																																																
Visc @100	15.71																																																																																																																																																																
Vis. Index																																																																																																																																																																	
FTIR																																																																																																																																																																	
Oxidation(Abs)	8																																																																																																																																																																
Nitration(Abs)	7																																																																																																																																																																
Sulfation(Abs)	20																																																																																																																																																																
Fuel %	1.30																																																																																																																																																																
Water %	0.057																																																																																																																																																																
Glycol %	0																																																																																																																																																																
Soot %	0.72																																																																																																																																																																
ZDDP(Abs)	24																																																																																																																																																																
Other Test																																																																																																																																																																	
TAN	7.7																																																																																																																																																																
TBN																																																																																																																																																																	
Flash Point	>205																																																																																																																																																																
Alarm Limit Range																																																																																																																																																																	
Limit Name : Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40																																																																																																																																																																	
	RDE RFS																																																																																																																																																																
N.O.	C-High A-High C-High A-High																																																																																																																																																																
1.0	24.0 38.0 33.0 53.0																																																																																																																																																																
0.0	1.0 1.7 1.6 2.4																																																																																																																																																																
0.0	8.0 13.0 9.0 15.0																																																																																																																																																																
0.0	13.0 25.0 20.0 34.0																																																																																																																																																																
0.0	3.2 5.8 6.6 11.7																																																																																																																																																																
0.0	4.0 6.0 6.0 9.0																																																																																																																																																																
0.0	0.6 1.1 2.6 4.1																																																																																																																																																																
0.0																																																																																																																																																																	
77.0																																																																																																																																																																	
0.0																																																																																																																																																																	
0.0																																																																																																																																																																	
9.0	13.0 21.0 16.0 21.0																																																																																																																																																																
A-Low	C-Low N.O. C-High A-High																																																																																																																																																																
	0																																																																																																																																																																
	0																																																																																																																																																																
	24																																																																																																																																																																
	3012																																																																																																																																																																
	0																																																																																																																																																																
	963																																																																																																																																																																
	1254																																																																																																																																																																
A-Low	C-Low N.O. C-High A-High																																																																																																																																																																
	146.33																																																																																																																																																																
12.70	13.44 14.94 16.40 17.18																																																																																																																																																																
A-Low	C-Low N.O. C-High A-High																																																																																																																																																																
	5 14 19																																																																																																																																																																
	4 13 14																																																																																																																																																																
	16 25 34																																																																																																																																																																
	0.00 3.00 5.00																																																																																																																																																																
	0.073 0.100 0.300																																																																																																																																																																
	0.00 2.10 5.10																																																																																																																																																																
A-Low	C-Low N.O. C-High A-High																																																																																																																																																																
2.0	4.8 9.7																																																																																																																																																																



รูปที่ ฉ-5 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบวัฏจักรที่ 24(19282)

Customer # : 18004		Site Name :		Condition	
Invoice To : ICE R&D LAB		Location :		of	
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok		Unit Number : WL 81		Oil	Wear
Tel. : 02.2522889		Test code : 803 904 911		Normal	Normal
Fax. :		Unit type : Engine Diesel			
		Unit make : (not available)			
		Unit model : IDI CI 2.5L			
		Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF			
Recommendations					
Note some test values are near to the Alarm Limits, or slightly over the Alarm Limits, but are not considered serious at this time.					
All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling.					
Sample		19282		Alarm Limit Range	
Date sampled		14-Jul-03		Limit Name :	
Hours on Oil		16		Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40	
Hours on Unit		Not Available			
Cust. Ref #		814382			
Spectro Test		RDE RFS		RDE RFS	
Iron(Fe)		26.2 C		N.O.	C-High A-High C-High A-High
Chromium(Cr)		0.9		1.0 24.0 38.0 33.0 53.0	
Lead(Pb)		0.4		0.0 1.0 1.7 1.6 2.4	
Copper(Cu)		1.8		0.0 8.0 13.0 9.0 15.0	
Tin(Sn)		0.0		0.0 13.0 25.0 20.0 34.0	
Aluminium(Al)		4.9 C		0.0 3.2 5.8 6.6 11.7	
Nickel(Ni)		0.0		0.0 4.0 6.0 6.0 9.0	
Silver(Ag)		0.0		0.0 0.6 1.1 2.6 4.1	
Molybdenum(Mo)		78.4		0.0	
Titanium(Ti)		0.0		77.0	
Vanadium(V)		0.5		0.0	
Silicon(Si)		6.4		0.0	
Additive				9.0 13.0 21.0 16.0 21.0	
Boron(B)		1		A-Low C-Low N.O. C-High A-High	
Sodium(Na)		3		0	
Magnesium(Mg)		25		0	
Calcium(Ca)		3244		24	
Barium(Ba)		0		3012	
Phosphorus(P)		935		0	
Zinc(Zn)		1229		963	
Viscosity				1254	
Visc @40		154.70		A-Low C-Low N.O. C-High A-High	
Visc @100		15.91		146.33	
Vis. Index				12.70 13.44 14.94 16.40 17.18	
FTIR				A-Low C-Low N.O. C-High A-High	
Oxidation(Abs)		7		5 14 19	
Nitration(Abs)		6		4 13 14	
Sulfation(Abs)		19		16 25 34	
Fuel %		0.50		0.00 3.00 5.00	
Water %		0.069		0.073 0.100 0.300	
Glycol %		0			
Soot %		0.73		0.00 2.10 5.10	
ZDDP(Abs)		23			
Other Test				A-Low C-Low N.O. C-High A-High	
TAN		8.3		2.0 4.8 9.7	
TBN		>205			
Flash Point					

รูปที่ ฉ-6 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบวัฏจักรที่ 29(19283)



LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance

Customer # : 18004	Site Name :	Condition
Invoice To : ICE R&D LAB	Location :	of
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok	Unit Number : WL 81	Oil Wear
Tel. : 02.2522889	Test code : 803 904 911	Oil Wear
Fax. :	Unit type : Engine Diesel	 
	Unit make : (not available)	
	Unit model : IDI CI 2.5L	
	Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF	

Recommendations


Minor concentration of water detected in oil.
 Note abnormal wear metals.
 Note viscosity is higher than normal limits.
 All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling.

Sample : 19283		Alarm Limit Range
Date sampled : 15-Jul-03		Limit Name :
Hours on Oil : 31		Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40
Hours on Unit : Not Available		
Cust. Ref # : 814383		
Spectro Test	RDE RFS	RDE RFS
Iron(Fe) : 43.6 A		N.O. C-High A-High C-High A-High
Chromium(Cr) : 1.5 C		1.0 24.0 38.0 33.0 53.0
Lead(Pb) : 0.6		0.0 1.0 1.7 1.6 2.4
Copper(Cu) : 4.9		0.0 8.0 13.0 9.0 15.0
Tin(Sn) : 0.0		0.0 15.0 25.0 20.0 34.0
Aluminium(Al) : 5.8 C		0.0 3.2 5.8 6.6 11.7
Nickel(Ni) : 0.0		0.0 4.0 6.0 6.0 9.0
Silver(Ag) : 0.0		0.0 0.6 1.1 2.6 4.1
Molybdenum(Mo) : 75.4		0.0
Titanium(Ti) : 0.0		77.0
Vanadium(V) : 0.0		0.0
Silicon(Si) : 9.2		0.0
	Additive	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
Boron(B) : 1		9.0 13.0 21.0 16.0 21.0
Sodium(Na) : 6		0
Magnesium(Mg) : 22		0
Calcium(Ca) : 3168		24
Barium(Ba) : 0		3012
Phosphorus(P) : 938		0
Zinc(Zn) : 1177		963
	Viscosity	1254
Visc @40 : 163.40		A-Low C-Low N.O. C-High A-High
Visc @100 : 17.07 C		146.33
Vis. Index :		12.70 13.44 14.94 16.40 17.18
	FTIR	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
Oxidation(Abs) : 10		5 14 19
Nitration(Abs) : 9		4 11 14
Sulfation(Abs) : 21		16 25 34
Fuel % : 1.50		0.00 3.00 5.00
Water % : 0.212 C		0.073 0.100 0.300
Glycol % : 0		0.00 2.10 5.10
Soot % : 1.19		0.00
ZDDP(Abs) : 22		0.00
	Other Test	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
TAN : 8.7		2.0 4.8 9.7
TBN : >205		
Flash Point :		

Office : 9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 947/39 Bangna-Trad Rd., KM.3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand
 Tel : (662) 361 8600-3 Fax : (662) 361 8567 Email : focus@loxinfo.co.th

Lab : 523 Bangpoo Industrial Estate, Soi 8, Sukhumvit Rd., Prakasa, Muang, Samutprakan 10280, Thailand.
 Tel (02) 709 2933-36 Fax (02) 7092937 E-mail : focuslab@loxinfo.co.th

รูปที่ ฉ-7 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบวัฏจักรที่ 34(19284).




LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance

Customer # : 18004
Invoice To : ICE R&D LAB
Address : Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Bangkok
Tel. : 02.2522889
Fax. :


Site Name :
Location :
Unit Number : WL 81
Test code : 803 904 911
Unit type : Engine Diesel
Unit make : (not available)
Unit model : IDI CI 2.5L
Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF

Condition
of

Oil



Wear




Recommendations

Minor concentration of water detected in oil.
 Note abnormal wear metals.
 Note viscosity is higher than normal limits.
 All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling.



Sample	19284		Alarm Limit Range				
	16-Jul-03		Limit Name : Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40				
Hours on Oil	46						
Hours on Unit	Not Available						
Cust. Ref #	814384						
Spectro Test	RDE	RFS					
Iron(Fe)	57.2 A		1.0	24.0	38.0	33.0	53.0
Chromium(Cr)	2.3 A		0.0	1.0	1.7	1.6	2.4
Lead(Pb)	0.9		0.0	8.0	13.0	9.0	15.0
Copper(Cu)	6.0		0.0	15.0	25.0	20.0	34.0
Tin(Sn)	0.0		0.0	3.2	5.8	6.6	11.7
Aluminium(Al)	7.0 A		0.0	4.0	6.0	6.0	9.0
Nickel(Ni)	0.3		0.0	0.6	1.1	2.6	4.1
Silver(Ag)	0.0		0.0				
Molybdenum(Mo)	84.4		0.0				
Titanium(Ti)	0.0		0.0				
Vanadium(V)	0.3		0.0				
Silicon(Si)	11.4		9.0	13.0	21.0	16.0	21.0
	Additive		A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High
Boron(B)	1						
Sodium(Na)	7						
Magnesium(Mg)	28					24	
Calcium(Ca)	3321					3012	
Barium(Ba)	0					0	
Phosphorus(P)	933					963	
Zinc(Zn)	1219					1254	
	Viscosity		A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High
Visc @40	171.77					146.33	
Visc @100	17.65 A		12.70	13.44	14.94	16.40	17.18
Vis. Index							
	FTIR		A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High
Oxidation(Abs)	11					5	14
Nitration(Abs)	10					4	11
Sulfation(Abs)	25					16	25
Fuel %	0.50					0.00	3.00
Water %	0.140 C					0.073	0.100
Glycol %	0						
Soot %	1.40					0.00	2.10
ZDDP(Abs)	23						
	Other Test		A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High
TAN							
TBN	7.2		2.0	4.8	9.7		
Flash Point	>205						

Office : 9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 947/39 Bangna-Trad Rd., KM.3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand Lab : 523 Bangpoo Industrial Estate, Soi 8, Sukhumvit Rd., Prakasa, Muang, Samutprakan 10200, Thailand.
 Tel : (662) 361 0600-3 Fax : (662) 361 8567 Email : focus@loxinfo.co.th Tel (02) 709 2933-36 Fax (02) 7092937 E-mail : focuslab@loxinfo.co.th

รูปที่ ฉ-8 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบวัฏจักรที่ 40(19292)



LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance


Customer # : 18004	Site Name :	Condition
Invoice To : ICE R&D LAB	Location :	of
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok	Unit Number : WL 81	Oil Wear
Tel. : 02.2522889	Test code : 803 904 911	 
Fax. :	Unit type : Engine Diesel	
	Unit make : (not available)	
	Unit model : IDI CI 2.5L	
	Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF	

Recommendations



Moderate amount of dirt and abrasive wear probably from leak in air filter system. *Note soot climbing near the limit.
 Note viscosity is severely higher than normal limits.
 Oil condition tests indicate that the oil is near the end of its useful service life.

		Alarm Limit Range
Sample	19292	
Date sampled	17-Jul-03	
Hours on Oil	61	
Hours on Unit	Not Available	
Cust. Ref #	814385	
Spectro Test	RDE RFS	
Iron(Fe)	75.2 A	N.O. C-High A-High C-High A-High 1.0 24.0 38.0 33.0 53.0
Chromium(Cr)	3.0 A	0.0 1.0 1.7 1.6 2.4
Lead(Pb)	1.0	0.0 8.0 13.0 9.0 15.0
Copper(Cu)	7.1	0.0 15.0 25.0 20.0 34.0
Tin(Sn)	0.0	0.0 3.2 5.8 6.6 11.7
Aluminium(Al)	8.5 A	0.0 4.0 6.0 6.0 9.0
Nickel(Ni)	0.0	0.0 0.6 1.1 2.6 4.1
Silver(Ag)	0.0	0.0
Molybdenum(Mo)	78.9	77.0
Titanium(Ti)	0.0	0.0
Vanadium(V)	0.0	0.0
Silicon(Si)	13.9 C	9.0 13.0 21.0 16.0 21.0
	Additive	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
Boron(B)	1	0
Sodium(Na)	7	0
Magnesium(Mg)	29	24
Calcium(Ca)	3431	3012
Barium(Ba)	0	0
Phosphorus(P)	993	963
Zinc(Zn)	1235	1254
	Viscosity	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
Visc @40	184.50	146.33
Visc @100	20.42 A	12.70 13.44 14.94 16.40 17.18
Vis. Index		
	FTIR	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
Oxidation(Abs)	14	5 14 19
Nitration(Abs)	11	4 11 14
Sulfation(Abs)	29 C	16 25 34
Fuel %	0.20	0.00 3.00 5.00
Water %	0.079	0.073 0.100 0.300
Glycol %	0	
Soot %	1.82 *	0.00 3.10 5.10
ZDDP(Abs)	24	
	Other Test	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
TAN		
TBN	7.2	2.0 4.8 9.7
Flash Point	>205	

รูปที่ ฉ-9 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบวัฏจักรที่ 44(19375)



LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance

Customer # : 18004	Site Name :	Condition
Invoice To : ICE R&D LAB	Location :	of
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok	Unit Number : WL 81	Oil Wear
Tel. : 02.2522889	Test code : 803 904 911	 
Fax. :	Unit type : Engine Diesel	
	Unit make : (not available)	
	Unit model : IDI CI 2.5L	
	Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF	

Recommendations

Note water detected. Recommend check for source of entry and correct water problem.
 Note viscosity is higher than normal limits.
 All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling.

Sample : 19375		Alarm Limit Range
Date sampled : 18-Jul-03		Limit Name :
Hours on Oil : 15		Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40
Hours on Unit : Not Available		
Cust. Ref # : 814386		
Spectro Test	RDE RFS	RDE RFS
Iron(Fe) : 21.2		N.O. C-High A-High C-High A-High
Chromium(Cr) : 1.0		1.0 24.0 38.0 33.0 53.0
Lead(Pb) : 0.5		0.0 1.0 1.7 1.6 2.4
Copper(Cu) : 1.8		0.0 8.0 13.0 9.0 15.0
Tin(Sn) : 0.0		0.0 15.0 25.0 20.0 34.0
Aluminium(Al) : 3.0		0.0 3.2 5.8 6.6 11.7
Nickel(Ni) : 0.6 C		0.0 4.0 6.0 6.0 9.0
Silver(Ag) : 0.0		0.0 0.6 1.1 2.6 4.1
Molybdenum(Mo) : 83.9		0.0
Titanium(Ti) : 0.0		77.0
Vanadium(V) : 0.5		0.0
Silicon(Si) : 12.3		0.0
	Additive	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
Boron(B) : 1		0
Sodium(Na) : 3		0
Magnesium(Mg) : 27		24
Calcium(Ca) : 3008		3012
Barium(Ba) : 0		0
Phosphorus(P) : 988		963
Zinc(Zn) : 1159		1254
	Viscosity	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
Visc @40 : 156.00		146.33
Visc @100 : 17.99 A		12.70 13.44 14.94 16.40 17.18
Vis. Index :		
	FTIR	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
Oxidation(Abs) : 8		5 14 19
Nitration(Abs) : 7		4 11 14
Sulfation(Abs) : 13		16 25 34
Fuel % : 0.30		0.00 3.00 5.00
Water % : 0.312 A		0.073 0.100 0.300
Glycol % : 0		
Soot % : 0.52		0.00 3.10 5.10
ZDDP(Abs) : 14		
	Other Test	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
TAN : 8.9		2.0 4.8 9.7
Flash Point : >205		

รูปที่ ฉ-10 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบวัฏจักรที่ 49(19475)

FOCUS LABORATORIES LTD.		LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance			Page 1 of 3	
Customer # : 18004	Site Name :				Condition	
Invoice To : ICE R&D LAB	Location :				of	
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok	Unit Number : WL 81				Oil Wear	
Tel. : 02.2522889	Test code : 803 904 911					
Fax. :	Unit type : Engine Diesel					
	Unit make : (not available)					
	Unit model : IDI C12.5L					
	Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF					
Recommendations						
Dirt (silicon) is present and resulting in abrasive wear.						
Note water detected. May indicate cooling system leak into the crankcase. Possible sources - leaking head gasket, oil cooler, water pump, injector o-rings, etc.						
Recommend change oil and flush system with clean oil to remove contamination.						
Sample	19475	19475	19375	Alarm Limit Range		
Date sampled	20-Jul-03	19-Jul-03	18-Jul-03	Limit Name :		
Hours on Oil	45	30	15	Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40		
Hours on Unit	Not Available	Not Available	Not Available			
Q&L Ref #	814388	814387	814386			
Spectro Test	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS	N.O.	C-High	A-High
Iron(Fe)	40.7 A	39.5 A	21.2	1.0	24.0	38.0
Chromium(Cr)	1.7 A	2.0 A	1.0	0.0	1.0	1.7
Lead(Pb)	0.0	0.9	0.5	0.0	8.0	13.0
Copper(Cu)	7.3	8.4	1.8	0.0	15.0	25.0
Tin(Sn)	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	5.8
Aluminium(Al)	4.2 C	4.6 C	3.0	0.0	4.0	6.0
Nickel(Ni)	0.0	0.2	0.6 C	0.0	0.6	1.1
Silver(Ag)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	2.6
Molybdenum(Mo)	49.5	71.2	83.9	0.0	0.6	4.1
Titanium(Ti)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vanadium(V)	0.0	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0
Silicon(Si)	13.1 C	16.2 C	12.3	0.0	13.0	21.0
Boron(B)	Additive	Additive	Additive	A-Low	C-Low	N.O.
Sodium(Na)	1	1	1			
Magnesium(Mg)	14	16	3			
Calcium(Ca)	25	26	27			
Barium(Ba)	2972	3348	3008			
Phosphorus(P)	0	0	0			
Zinc(Zn)	883	936	988			
	1053	1191	1159			
Viscosity	Viscosity	Viscosity	Viscosity	A-Low	C-Low	N.O.
Visc @40	182.32	162.23	156.00			
Visc @100	19.87 A	16.56 C	17.99 A	146.33	12.70	13.44
Vis. Index				14.94	16.40	17.18
	FTIR	FTIR	FTIR	A-Low	C-Low	N.O.
Oxidation(Abs)	14	8	8			
Nitration(Abs)	16 A	6	7			
Sulfation(Abs)	12	17	13			
Fuel %	0.30	0.40	0.30			
Water %	1.392 A	0.058	0.312 A			
Glycol %	0	0	0			
Soot %	1.18	0.90	0.52			
ZDDP(Abs)	8	17	14			
	Other Test	Other Test	Other Test	A-Low	C-Low	N.O.
TAN						
TBN	7.0	7.6	8.9			
Flash Point	>205	>205	>205	2.0	4.8	9.7

รูปที่ ฉ-11 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบวัฏจักรที่ 54(19476)

FOCUS LABORATORIES LTD.		LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance			Page 1 of 3	
Customer # : 18004	Site Name :	Condition		Oil		
Invoice To : ICE R&D LAB	Location :	of		Wear		
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok	Unit Number : WL 81	Normal		Normal		
Tel. : 02.2522889	Test code : 803 904 911	Normal		Normal		
Fax. :	Unit type : Engine Diesel	Normal		Normal		
	Unit make : (not available)	Normal		Normal		
	Unit model : IDI C12.5L	Normal		Normal		
	Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF	Normal		Normal		
Recommendations						
Note some test values are near to the Alarm Limits, or slightly over the Alarm Limits, but are not considered serious at this time.						
All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling.						
Sample	19604	19476	19475	Alarm Limit Range		
Date sampled	25-Jul-03	20-Jul-03	19-Jul-03	Limit Name :		
Hours on Oil	16	45	30	Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40		
Hours on Unit	Not Available	Not Available	Not Available			
Qst. Ref #	814389	814388	814387			
Spectro Test	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS		
Iron(Fe)	28.2 C	40.7 A	39.5 A	N.O.	C-High	A-High
Chromium(Cr)	1.1 C	1.7 A	2.0 A	1.0	24.0	38.0
Lead(Pb)	0.0	0.0	0.9	0.0	1.0	1.7
Copper(Cu)	2.9	7.3	18.4	0.0	8.0	13.0
Tin(Sn)	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	25.0
Aluminium(Al)	2.2	4.2 C	4.6 C	0.0	3.2	5.8
Nickel(Ni)	0.0	0.0	0.2	0.0	4.0	6.0
Silver(Ag)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.1
Molybdenum(Mo)	91.5	49.5	71.2	0.0	0.6	1.1
Titanium(Ti)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.1
Vanadium(V)	0.0	0.0	0.4	0.0	0.6	1.1
Silicon(Si)	9.7	13.1 C	16.2 C	9.0	13.0	21.0
Boron(B)	1	1	1	A-Low	C-Low	N.O.
Sodium(Na)	3	14	16			
Magnesium(Mg)	20	25	26			
Calcium(Ca)	3071	2972	3348			
Barium(Ba)	2	0	0			
Phosphorus(P)	1023	883	936			
Zinc(Zn)	1251	1053	1191			
Viscosity	Viscosity	Viscosity	Viscosity	A-Low	C-Low	N.O.
Visc @40	154.23	182.32	162.23			
Visc @100	16.02	19.87 A	16.56 C	12.70	13.44	14.94
Vis. Index				16.40	17.18	
Oxidation(Abs)	FTIR	FTIR	FTIR	A-Low	C-Low	N.O.
Nitration(Abs)	6	14	8			
Sulfation(Abs)	5	16 A	6			
Fuel %	14	12	17			
Water %	0.20	0.30	0.40			
Glycol %	0.035	1.392 A	0.058			
Soot %	0	0	0			
ZDDP(Abs)	0.51	1.18	0.90			
TAN	17	B	17			
TBN	Other Test	Other Test	Other Test	A-Low	C-Low	N.O.
Flash Point	7.8	7.0	7.6			
	>205	>205	>205	2.0	4.8	9.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Office : 9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 347/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand
Tel : (662) 261 8600-3 Fax : (662) 261 8967 Email : focus@joinfo.co.th

Lab : 523 Bangpoo Industrial Estate, Soi 8, Sukhumvit Rd., Pracha, Muang Samutprakarn 10280, Thailand
Tel (62) 709 2933-36 Fax (62) 7092937 E-mail : focuslab@joinfo.co.th

รูปที่ ฉ-12 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบวัฏจักรที่ 60(19604)



FOCUS LABORATORIES LTD.		LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance				Page 1 of 3		
Customer # : 18004	Site Name :	Condition		Oil		Wear		
Invoice To : ICE R&D LAB	Location :	of		Normal		Normal		
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok	Unit Number : WL 81			Normal		Normal		
Tel. : 02.2522889	Test code : 904 911 803			Normal		Normal		
Fax. :	Unit type : Engine Diesel			Normal		Normal		
	Unit make : (not available)			Normal		Normal		
	Unit model : IDI C12.5L			Normal		Normal		
	Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF			Normal		Normal		
Recommendations								
Note some test values are near to the Alarm Limits, or slightly over the Alarm Limits, but are not considered serious at this time.								
All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling.								
Sample	19634	19604	19476	Alarm Limit Range				
Date sampled	26-Jul-03	25-Jul-03	20-Jul-03	Limit Name :				
Hours on Oil	31	16	45	Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40				
Hours on Unit	Not Available	Not Available	Not Available					
Qst. Ref #	814870	814389	814388					
Spectro Test	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS				
Iron(Fe)	35.4 C	28.2 C	40.7 A	1.0	24.0	38.0	33.0	53.0
Chromium(Cr)	1.6 C	1.1 C	1.7 A	0.0	1.0	1.7	1.6	2.4
Lead(Pb)	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	13.0	9.0	15.0
Copper(Cu)	3.6	2.9	7.3	0.0	15.0	25.0	20.0	34.0
Tin(Sn)	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	5.8	6.6	11.7
Aluminium(Al)	3.4	2.2	4.2 C	0.0	4.0	6.0	6.0	9.0
Nickel(Ni)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.1	2.6	4.1
Silver(Ag)	0.0	0.0	0.0	0.0				
Molybdenum(Mo)	83.1	91.5	49.5	77.0				
Titanium(Ti)	0.0	0.0	0.0	0.0				
Vanadium(V)	0.1	0.0	0.0	0.0				
Silicon(Si)	10.4	9.7	13.1 C	9.0	13.0	21.0	16.0	21.0
Boron(B)	1	1	1	A-Low C-Low N.O. C-High A-High				
Sodium(Na)	4	3	14	0				
Magnesium(Mg)	19	20	25	24				
Calcium(Ca)	3284	3071	2972	3012				
Barium(Ba)	0	2	0	0				
Phosphorus(P)	1033	1023	883	963				
Zinc(Zn)	1213	1231	1053	1254				
Viscosity	Viscosity	Viscosity	Viscosity	A-Low C-Low N.O. C-High A-High				
Visc @40	161.85	154.23	182.32	146.33				
Visc @100	17.70 A	16.02	19.87 A	12.70	13.44	14.94	16.40	17.18
Vis. Index								
Oxidation(Abs)	FTIR	FTIR	FTIR	A-Low C-Low N.O. C-High A-High				
Nitration(Abs)	7	6	14	5 14 19				
Sulfation(Abs)	6	5	16 A	4 11 14				
Fuel %	17	14	12	16 35 34				
Water %	0.30	0.20	0.30	0.00 3.00 5.00				
Glycol %	0.042	0.035	1.392 A	0.073 6.100 0.500				
Soot %	0	0	0					
ZDDP(Abs)	0.85	0.51	1.18	0.00 2.10 5.10				
TAN	18	17	8					
TBN	Other Test	Other Test	Other Test	A-Low C-Low N.O. C-High A-High				
Flash Point	7.8	7.8	7.0	2.0	4.8	9.7		
	>205	>205	>205					

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Office : 9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 347/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10265, Thailand
Tel : (662) 261 8600-3 Fax : (662) 261 8967 Email : focus@joinfo.co.th

Lab : 523 Bangpoo Industrial Estate, Soi 8, Sukhumvit Rd., Prakaas, Muang Samutprakarn 10280, Thailand
Tel (62) 709 2933-36 Fax (62) 709 2937 E-mail : focuslab@joinfo.co.th

รูปที่ ฉ-13 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบวัฏจักรที่ 64(19634)




 LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance		Page 1 of 3							
Customer # : 18004	Site Name :	Condition							
Invoice To : ICE R&D LAB	Location :	of							
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok	Unit Number : WL 81	Oil Wear							
Tel. : 02.2522889	Test code : 803 904 911								
Fax. :	Unit type : Engine Diesel								
	Unit make : (not available)								
	Unit model : IDI C1.5L								
	Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF								
Recommendations									
Note viscosity is higher than normal limits. Note abnormal wear metals. All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling. Continue routine sampling interval.									
Sample	19635	19634	19604	Alarm Limit Range					
Date sampled	27-Jul-03	26-Jul-03	25-Jul-03	Limit Name :					
Hours on Oil	46	31	16	Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40					
Hours on Unit	Not Available	Not Available	Not Available						
Quat. Ref #	814971	814970	814389						
Spectro Test	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS					
Iron(Fe)	46.5 A	35.4 C	28.2 C	N.O.	C-High	A-High	C-High	A-High	
Chromium(Cr)	2.3 A	1.6 C	1.1 C	1.0	24.0	38.0	39.0	53.0	
Lead(Pb)	0.3	0.0	0.0	0.0	1.0	1.7	1.6	2.4	
Copper(Cu)	4.1	3.6	2.9	0.0	8.0	13.0	9.0	15.0	
Tin(Sn)	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	25.0	20.0	34.0	
Aluminium(Al)	5.3 C	3.4	2.2	0.0	3.2	5.8	6.6	11.7	
Nickel(Ni)	0.3	0.0	0.0	0.0	4.0	6.0	6.0	9.0	
Silver(Ag)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.1	2.6	4.1	
Molybdenum(Mo)	83.1	83.1	91.5	0.0					
Titanium(Ti)	0.0	0.0	0.0	77.0					
Vanadium(V)	0.2	0.1	0.0	0.0					
Silicon(Si)	11.2	10.4	9.7	0.0	13.0	21.0	16.0	21.0	
Boron(B)	Additive	Additive	Additive	A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High	
Sodium(Na)	1	1	1						
Magnesium(Mg)	4	4	3						
Calcium(Ca)	23	19	20						
Barium(Ba)	3405	3284	3071			3012			
Phosphorus(P)	1	0	2			0			
Zinc(Zn)	1046	1033	1029			963			
Viscosity	1176	1213	1231			1254			
Visc @40	171.95	161.85	154.23	A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High	
Visc @100	20.37 A	17.70 A	16.02			146.33			
Vis. Index				12.70	13.44	14.94	16.40	17.18	
Oxidation(Abs)	9	7	6						
Nitration(Abs)	7	6	5			5	14	19	
Sulfation(Abs)	19	17	14			4	11	14	
Fuel %	0.30	0.30	0.20			16	25	34	
Water %	0.047	0.042	0.035			0.00	3.00	5.00	
Glycol %	0	0	0			0.073	0.100	0.300	
Soot %	1.14	0.85	0.51			0.00	2.10	5.10	
ZDDP(Abs)	18	18	17						
TAN	7.1	7.8	7.8	A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High	
Flash Point	>205	>205	>205			2.0	4.8	9.7	






Office : 9 Fl., Thosaporn Land 4 Bldg., 347/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand
 Tel : (662) 261 8600-3 Fax : (662) 261 8967 Email : fcus@focuslab.com

Lab : 523 Bangsoo Industrial Estate, Soi 8, Sukhumvit Rd., Prakasa, Muang Samutprakarn 10280, Thailand
 Tel (62) 709 2933-36 Fax (62) 709 2937 E-mail : focuslab@focuslab.com

รูปที่ ฉ-14 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบวัฏจักรที่ 69(19635)

		LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance				Page 1 of 3	
Customer # : 18004	Site Name :	Condition					
Invoice To : ICE R&D LAB	Location :	of					
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok	Unit Number : WL 81	Oil		Wear			
Tel. : 02.2522889	Test code : 904 911 803						
Fax. :	Unit type : Engine Diesel						
	Unit make : (not available)						
	Unit model : IDI C12.5L						
	Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF						
Recommendations							
Note viscosity is higher than normal limits. Note abnormal wear metals. All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling. Continue routine sampling interval.							
Sample	19636	19635	19634	Alarm Limit Range			
Date sampled	26-Jul-03	27-Jul-03	26-Jul-03	LimitName:			
Hours on Oil	61	46	31	Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40			
Hours on Unit	Not Available	Not Available	Not Available				
Quat. Ref #	814972	814971	814970				
Spectro Test	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS			
Iron(Fe)	68.7 A	46.5 A	35.4 C	N.O.	C-High	A-High	
Chromium(Cr)	2.6 A	2.3 A	1.6 C	1.0	24.0	38.0	
Lead(Pb)	0.1	0.3	0.0	39.0	53.0		
Copper(Cu)	4.9	4.1	3.6	0.0	1.0	1.7	
Tin(Sn)	0.0	0.0	0.0	1.6	2.4		
Aluminium(Al)	6.6 A	5.3 C	3.4	0.0	8.0	13.0	
Nickel(Ni)	0.2	0.3	0.0	9.0	15.0		
Silver(Ag)	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	20.0	
Molybdenum(Mo)	96.1	83.1	83.1	0.0	3.2	5.8	
Titanium(Ti)	0.0	0.0	0.0	6.6	11.7		
Vanadium(V)	0.0	0.2	0.1	0.0	4.0	6.0	
Silicon(Si)	12.8	11.2	10.4	6.0	9.0		
	Additive	Additive	Additive	0.0	0.5	1.1	
Boron(B)	1	1	1	2.6	4.1		
Sodium(Na)	4	4	4	0.0	0.0	0.0	
Magnesium(Mg)	25	23	19	0.0	0.0	0.0	
Calcium(Ca)	3559	3405	3284	0.0	0.0	0.0	
Barium(Ba)	0	1	0	0.0	0.0	0.0	
Phosphorus(P)	1032	1046	1039	0.0	0.0	0.0	
Zinc(Zn)	1231	1176	1213	0.0	0.0	0.0	
	Viscosity	Viscosity	Viscosity	0.0	0.0	0.0	
Visc @40	182.36	171.95	161.85	0.0	0.0	0.0	
Visc @100	21.97 A	20.37 A	17.70 A	9.0	13.0	21.0	
Vis. Index				15.0	16.0	21.0	
	FTIR	FTIR	FTIR	A-Low	C-Low	N.O.	
Oxidation(Abs)	10	9	7	C-High	A-High		
Nitration(Abs)	8	7	6				
Sulfation(Abs)	21	19	17				
Fuel %	0.50	0.50	0.50				
Water %	0.041	0.047	0.042				
Glycol %	0	0	0				
Soot %	1.47	1.14	0.85				
ZDDP (Abs)	19	18	18				
	Other Test	Other Test	Other Test				
TAN	8.1	7.1	7.8				
TBN							
Flash Point	>205	>205	>205				

รูปที่ ฉ-15 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบวัฏจักรที่ 74(19636)



 LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance		Page 1 of 3							
Customer # : 18004	Site Name :	Condition							
Invoice To : ICE R&D LAB	Location :	of							
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok	Unit Number : WL 81	Oil Wear							
Tel. : 02.2522889	Test code : 904 911 803	 							
Fax. :	Unit type : Engine Diesel								
	Unit make : (not available)								
	Unit model : IDI C12.5L								
	Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF								
Recommendations									
Note increase in viscosity.									
Note abnormal wear metals.									
Continue routine sampling interval.									
Sample	19679	19636	19635	Alarm Limit Range					
Date sampled	26-Jul-03	26-Jul-03	27-Jul-03	Limit Name :					
Hours on Oil	70	61	46	Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40					
Hours on Unit	Not Available	Not Available	Not Available						
Qst. Ref #	814973	814972	814971						
Spectro Test	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS					
Iron(Fe)	75.6 A	68.7 A	46.5 A	N.O.	C-High	A-High	C-High	A-High	
Chromium(Cr)	3.0 A	2.6 A	2.3 A	1.0	24.0	38.0	33.0	53.0	
Lead(Pb)	0.6	0.1	0.3	0.0	1.0	1.7	1.6	2.4	
Copper(Cu)	5.3	4.9	4.1	0.0	8.0	13.0	9.0	15.0	
Tin(Sn)	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	25.0	20.0	34.0	
Aluminium(Al)	7.8 A	6.6 A	5.3 C	0.0	3.2	5.8	6.6	11.7	
Nickel(Ni)	0.7 C	0.2	0.3	0.0	4.0	6.0	6.0	9.0	
Silver(Ag)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.1	2.6	4.1	
Molybdenum(Mo)	96.9	86.1	83.1	0.0					
Titanium(Ti)	0.0	0.0	0.0	77.0					
Vanadium(V)	0.5	0.0	0.2	0.0					
Silicon(Si)	13.0	12.8	11.2	0.0	9.0	13.0	21.0	16.0	21.0
	Additive	Additive	Additive	A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High	
Boron(B)	1	1	1						
Sodium(Na)	4	4	4						
Magnesium(Mg)	30	25	23						
Calcium(Ca)	3491	3559	3405						
Barium(Ba)	2	0	1						
Phosphorus(P)	1018	1032	1046						
Zinc(Zn)	1201	1231	1176						
	Viscosity	Viscosity	Viscosity	A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High	
Visc @10	187.68	182.36	171.95						
Visc @100	22.27 A	21.97 A	20.37 A	12.70	13.44	14.94	16.40	17.18	
Vis. Index									
	FTIR	FTIR	FTIR	A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High	
Oxidation(Abs)	10	10	9				5	14	19
Nitration(Abs)	8	8	7				4	11	14
Sulfation(Abs)	22	21	19				16	25	34
Fuel %	0.70	0.30	0.30				0.00	3.00	5.00
Water %	0.045	0.041	0.047				0.073	0.100	0.300
Glycol %	0	0	0						
Soot %	1.50	1.47	1.14				0.00	2.10	5.10
ZDDP(Abs)	19	19	18						
	Other Test	Other Test	Other Test	A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High	
TAN									
TBN	6.9	8.1	7.1	2.0	4.8	9.7			
Flash Point	>205	>205	>205						

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Office : 9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 347/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10265, Thailand
Tel : (662) 261 8600-3 Fax : (662) 261 8967 Email : fcus@joinfo.co.th

Lab : 523 Bangpoo Industrial Estate, Soi 8, Sukhumvit Rd., Prakaas, Muang Samutprakarn 10280, Thailand
Tel (62) 709 2933-36 Fax (62) 709 2937 E-mail : focuslab@joinfo.co.th

รูปที่ ฉ-16 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบวัฏจักรที่ 79(19680)

 LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance		Page 1 of 3		
Customer # : 18004	Site Name :	Condition		
Invoice To : ICE R&D LAB	Location :	of		
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok	Unit Number : WL 81	Oil Wear		
Tel. : 02.2522889	Test code : 904 911 803			
Fax. :	Unit type : Engine Diesel			
	Unit make : (not available)			
	Unit model : IDI C12.5L			
	Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF			
Recommendations				
Note increase in viscosity and soot. Oil is near the end of its' useful service life.				
Continue routine sampling interval.				
Sample	19680	19679	19636	Alarm Limit Range
Date sampled	29-Jul-03	29-Jul-03	29-Jul-03	Limit Name :
Hours on Oil	76	70	61	Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40
Hours on Unit	Not Available	Not Available	Not Available	
Qst. Ref #	814978	814973	814972	
Spectro Test	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS
Iron(Fe)	77.1 A	75.6 A	68.7 A	N.O. C-High A-High C-High A-High
Chromium(Cr)	3.5 A	3.0 A	2.6 A	1.0 24.0 38.0 33.0 53.0
Lead(Pb)	1.3	0.6	0.1	0.0 1.0 1.7 1.6 2.4
Copper(Cu)	5.6	5.3	4.9	0.0 15.0 25.0 20.0 34.0
Tin(Sn)	0.0	0.0	0.0	0.0 3.2 5.8 5.6 11.7
Aluminium(Al)	8.5 A	7.8 A	6.6 A	0.0 4.0 6.0 6.0 9.0
Nickel(Ni)	1.3 A	0.7 C	0.2	0.0 0.6 1.1 2.6 4.1
Silver(Ag)	0.0	0.0	0.0	0.0
Molybdenum(Mo)	87.7	96.9	86.1	77.0
Titanium(Ti)	0.0	0.0	0.0	0.0
Vanadium(V)	1.3	0.5	0.0	0.0
Silicon(Si)	12.7	13.0	12.8	9.0 13.0 21.0 16.0 21.0
	Additive	Additive	Additive	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
Boron(B)	1	1	1	0
Sodium(Na)	4	4	4	0
Magnesium(Mg)	38	30	25	24
Calcium(Ca)	3413	3491	3559	3012
Barium(Ba)	2	2	0	0
Phosphorus(P)	1018	1018	1032	963
Zinc(Zn)	1164	1201	1231	1254
	Viscosity	Viscosity	Viscosity	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
Visc @40	192.47	187.68	182.36	146.33
Visc @100	23.01 A	22.27 A	21.97 A	12.70 13.44 14.94 16.40 17.18
Vis. Index				
	FTIR	FTIR	FTIR	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
Oxidation(Abs)	11	10	10	5 14 19
Nitration(Abs)	9	8	8	4 11 14
Sulfation(Abs)	23	22	21	16 25 34
Fuel %	0.50	0.70	0.30	0.00 3.00 5.00
Water %	0.071	0.045	0.041	0.073 0.100 0.200
Glycol %	0	0	0	
Soot %	2.37 C	1.60	1.47	0.00 3.10 5.10
ZDDP(Abs)	19	19	19	
	Other Test	Other Test	Other Test	A-Low C-Low N.O. C-High A-High
TAN				
TBN	8.5	6.9	8.1	2.0 4.8 9.7
Flash Point	>205	>205	>205	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Office : 9 Fl., Thosaporn Land 4 Bldg., 347/29 Bangna-Trad Rd., KM 3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand
Tel : (662) 261 8600-3 Fax : (662) 261 8967 Email : fcus@joinfo.co.th

Lab : 523 Bangsoo Industrial Estate, Soi 8, Sukhumvit Rd., Prakaas, Muang Samutprakarn 10280, Thailand
Tel (62) 709 2933-36 Fax (62) 709 2937 E-mail : focuslab@joinfo.co.th

รูปที่ ฉ-17 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานบนแท่นทดสอบวัฏจักรที่ 83(19681)

FOCUS LABORATORIES LTD.		LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance			Page 1 of 3	
Customer # : 18004	Site Name :	Condition		of		
Invoice To : ICE R&D LAB	Location :	Oil		Wear		
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok	Unit Number : WL 81	Condition		Condition		
Tel. : 02.2522899	Test code : 904 911 803	1		1		
Fax. :	Unit type : Engine Diesel					
	Unit make : (not available)					
	Unit model : IDI C12.5L					
	Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF					
Recommendations						
Note viscosity is higher than normal limits.						
Note abnormal wear metals.						
Continue routine sampling interval.						
Sample	19681	19680	19679	Alarm Limit Range		
Date sampled	30-Jul-03	29-Jul-03	28-Jul-03	Limit Name :		
Hours on Oil	83	76	70	Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40		
Hours on Unit	Not Available	Not Available	Not Available	RDE RFS		
Qmt. Ref #	814979	814978	814973	N.O.	C-High	A-High
Spectro Test	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS	C-High	A-High	A-High
Iron(Fe)	88.5 A	77.1 A	75.6 A	1.0	24.0	38.0
Chromium(Cr)	3.2 A	3.5 A	3.0 A	0.0	1.0	1.7
Lead(Pb)	0.2	1.3	0.6	0.0	8.0	13.0
Copper(Cu)	6.0	5.6	5.3	0.0	15.0	25.0
Tin(Sn)	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	5.8
Aluminium(Al)	8.8 A	8.5 A	7.8 A	0.0	4.0	6.0
Nickel(Ni)	0.1	1.3 A	0.7 C	0.0	0.6	1.1
Silver(Ag)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6
Molybdenum(Mo)	72.1	87.7	96.9	0.0	0.6	0.6
Titanium(Ti)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vanadium(V)	0.0	1.3	0.5	0.0	0.0	0.0
Silicon(Si)	12.9	12.7	13.0	9.0	15.0	21.0
Boron(B)	1	1	1	A-Low	C-Low	N.O.
Sodium(Na)	4	4	4			0
Magnesium(Mg)	27	38	30			24
Calcium(Ca)	3503	3413	3491			3012
Barium(Ba)	1	2	2			0
Phosphorus(P)	1023	1018	1018			963
Zinc(Zn)	1199	1164	1201			1254
Viscosity	Viscosity	Viscosity	A-Low	C-Low	N.O.	C-High
Visc @40	190.12	192.47	187.68			146.33
Visc @100	22.81 A	23.01 A	22.27 A	12.70	13.44	14.94
Vis. Index				16.40	17.18	
Oxidation(Abs)	FTIR	FTIR	FTIR	A-Low	C-Low	N.O.
Nitration(Abs)	10	11	10			5
Sulfation(Abs)	8	9	8			14
Fuel %	21	23	22			4
Water %	0.40	0.50	0.70			11
Glycol %	0.044	0.071	0.045			16
Soot %	0	0	0			35
ZDDP(Abs)	1.66	2.37 C	1.60			34
TAN	18	19	19			0.00
TBN	Other Test	Other Test	Other Test			0.100
Flash Point	6.8	8.5	6.9			0.300
	>205	>205	>205			2.10
						5.10
				A-Low	C-Low	N.O.
						2.0
						4.8
						9.7

รูปที่ ฉ-18 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถทดสอบจริง กิโลเมตรที่ 3,100 (20416)

Customer # : 19004		Site Name :		Condition				
Invoice To : ICE R&D LAB		Location :		of				
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok		Unit Number : WL 81		Oil Wear				
Tel. : 02.2522889		Test code : 904 911 803		Constant Normal				
Fax. :		Unit type : Engine Diesel		1 2				
		Unit make : (not available)		3 4				
		Unit model : IDI CI 2.5L		5 6				
		Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF		7 8				
Recommendations								
Components of dirt (silicon and/or aluminum) slightly above normal, however, no abrasive wear noted.								
All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling.								
Sample	20416	19681	19680	Alarm Limit Range				
Date sampled	25-Aug-03	30-Jul-03	29-Jul-03	Limit Name :				
Hours on Oil	3100	83	76	Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40				
Hours on Unit	Not Available	Not Available	Not Available					
Cust. Ref #	814990	814979	814978					
Spectro Test	RDE	RFS	RDE	RFS	RDE	RFS		
Iron(Fe)	12.7		88.5 A		77.1 A			
Chromium(Cr)	0.7		3.2 A		3.5 A			
Lead(Pb)	2.9		0.2		1.3			
Copper(Cu)	2.4		6.0		5.6			
Tin(Sn)	0.0		0.0		0.0			
Aluminum(Al)	2.1		8.8 A		8.5 A			
Nickel(Ni)	0.0		0.1		1.3 A			
Silver(Ag)	0.0		0.0		0.0			
Molybdenum(Mo)	80.7		72.1		87.7			
Titanium(Ti)	0.0		0.0		0.0			
Vanadium(V)	0.0		0.0		1.3			
Silicon(Si)	44.3 A		12.9		12.7			
Additive			Additive			Additive		
Boron(B)	1		1		1			
Sodium(Na)	2		4		4			
Magnesium(Mg)	25		27		38			
Calcium(Ca)	3190		3503		3413			
Barium(Ba)	0		1		2			
Phosphorus(P)	995		1023		1018			
Zinc(Zn)	1268		1199		1164			
Viscosity			Viscosity			Viscosity		
Visc @40	139.96		190.12		192.47			
Visc @100	15.12		22.81 A		23.01 A			
Vis. Index			Vis. Index			Vis. Index		
Oxidation(Abs)	6		10		11			
Nitration(Abs)	4		8		9			
Sulfation(Abs)	14		21		23			
Fuel %	0.20		0.40		0.50			
Water %	0.003		0.044		0.071			
Glycol %	0		0		0			
Soot %	0.14		1.66		2.37 C			
ZDDP(Abs)	18		18		19			
Other Test			Other Test			Other Test		
TAN								
TBN	9.2		6.8		8.5			
Flash Point	>205		>205		>205			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Office : 9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 547/09 Bangna-Trad Rd., KM3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand
Tel : (662) 361 0600-3 Fax : (662) 361 0567 Email : focus@joinfo.co.th

Lab : 523 Bangsoo Industrial Estate, Soi 8, Sukhumvit Rd., Prakasa, Muang Samutprakarn 10280, Thailand
Tel (62) 709 2533-36 Fax (62) 7092937 E-mail : focuslab@joinfo.co.th

รูปที่ ฉ-19 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถทดสอบจริง กิโลเมตรที่ 4,100 (20449)

Customer # : 19004		Site Name :		Condition			
Invoice To : ICE R&D LAB		Location :		of			
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok		Unit Number : WL 81		Oil Wear			
Tel. : 02.2522899		Test code : 904 911 803		Constant Normal			
Fax. :		Unit type : Engine Diesel		1 2			
		Unit make : (not available)		1 2			
		Unit model : IDI CI 2.5L		1 2			
		Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF		1 2			
Recommendations							
Components of dirt (silicon and/or aluminum) slightly above normal, however, no abrasive wear noted.							
All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling.							
Sample	20449	20416	19681	Alarm Limit Range			
Date sampled	27-Aug-03	25-Aug-03	30-Jul-03	Limit Name :			
Hours on Oil	4100 kms	3100	83	Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40			
Hours on Unit	Not Available	Not Available	Not Available				
Cust. Ref #	814991	814990	814979				
Spectro Test	RDE	RFS	RDE	RFS	RDE	RFS	
Iron(Fe)	16.7		12.7		88.5	A	
Chromium(Cr)	0.9		0.7		3.2	A	
Lead(Pb)	3.8		2.9		0.2		
Copper(Cu)	2.5		2.4		6.0		
Tin(Sn)	0.0		0.0		0.0		
Aluminum(Al)	2.5		2.1		8.8	A	
Nickel(Ni)	0.0		0.0		0.1		
Silver(Ag)	0.0		0.0		0.0		
Molybdenum(Mo)	90.5		80.7		72.1		
Titanium(Ti)	0.0		0.0		0.0		
Vanadium(V)	0.1		0.0		0.0		
Silicon(Si)	46.3	A	44.3	A	12.9		
Additive			Additive			Additive	
Boron(B)	1		1		1		
Sodium(Na)	2		2		4		
Magnesium(Mg)	29		25		27		
Calcium(Ca)	3340		3190		3503		
Barium(Ba)	0		0		1		
Phosphorus(P)	992		995		1023		
Zinc(Zn)	1289		1268		1199		
Viscosity			Viscosity			Viscosity	
Visc @40	145.50		139.96		190.12		
Visc @100	15.05		15.12		22.81	A	
FTIR			FTIR			FTIR	
Oxidation(Abs)	6		6		10		
Nitration(Abs)	4		4		8		
Sulfation(Abs)	14		14		21		
Fuel %	0.30		0.20		0.40		
Water %	0.032		0.033		0.044		
Glycol %	0		0		0		
Soot %	0.11		0.14		1.66		
ZDDP(Abs)	18		18		18		
Other Test			Other Test			Other Test	
TAN							
TBN	9.1		9.2		6.8		
Flash Point	>205		>205		>205		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Office : 9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 547/09 Bangna-Trad Rd., KM3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand
Tel : (662) 361 8600-3 Fax : (662) 361 8567 Email : focus@info.co.th

Lab : 523 Bangsoo Industrial Estate, Soi 8, Sukhumvit Rd., Prakasa, Muang Samutprakarn 10280, Thailand
Tel (62) 709 2533-36 Fax (62) 709 2937 E-mail : focuslab@info.co.th

รูปที่ ฉ-20 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถทดสอบจริง กิโลเมตรที่ 5,200 (21044)

Customer # : 19004		Site Name :		Condition		
Invoice To : ICE R&D LAB		Location :		of		
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok		Unit Number : WL 81		Oil Wbr		
Tel. : 02.2522899		Test code : 904 911 803		Caution Normal		
Fax. :		Unit type : Engine Diesel		1 2		
		Unit make : (not available)				
		Unit model : IDI CI 2.5L				
		Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF				
Recommendations						
(Last Refilled 100 mL+250mL) * Silicon may be from contamination with some type of silicone additive, since aluminum does not show a corresponding increase.						
Note some test values are near to the Alarm Limits, or slightly over the Alarm Limits, but are not considered serious at this time.						
All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling.						
Sample	21044	20449	20416	Alarm Limit Range		
Date sampled	29-Aug-03	27-Aug-03	25-Aug-03	Limit Name :		
Hours on Oil	5200 KMS	4100 kms	3100	Engine Diesel General, PTT D3 Sae-40		
Hours on Unit	Not Available	Not Available	Not Available			
Cust. Ref #	815186	814991	814990			
Spectro Test	RDE	RFS	RDE	RFS	RDE	RFS
Iron(Fe)	19.9		16.7		12.7	
Chromium(Cr)	1.4 C		0.9		0.7	
Lead(Pb)	4.9		3.8		2.9	
Copper(Cu)	2.8		2.5		2.4	
Tin(Sn)	0.0		0.0		0.0	
Aluminum(Al)	3.1		2.5		2.1	
Nickel(Ni)	0.2		0.0		0.0	
Silver(Ag)	0.0		0.0		0.0	
Molybdenum(Mo)	106.2		90.5		80.7	
Titanium(Ti)	0.0		0.0		0.0	
Vanadium(V)	0.4		0.1		0.0	
Silicon(Si)	43.2 *		46.3 A		44.3 A	
	Additive	Additive	Additive	A-Low	C-Low	N.O.
Boron(B)	1	1	1			0
Sodium(Na)	2	2	2			0
Magnesium(Mg)	33	29	25			24
Calcium(Ca)	3179	3340	3190			3012
Barium(Ba)	0	0	0			0
Phosphorus(P)	901	992	995			963
Zinc(Zn)	1239	1299	1268			1254
	Viscosity	Viscosity	Viscosity	A-Low	C-Low	N.O.
Visc @40	148.51	145.50	139.96			146.33
Visc @100	15.37	15.05	15.12	12.70	13.44	14.94
Vis. Index				16.40	17.18	
	FTIR	FTIR	FTIR	A-Low	C-Low	N.O.
Oxidation(Abs)	6	6	6			5
Nitration(Abs)	5	4	4			4
Sulfation(Abs)	14	14	14			16
Fuel %	0.50	0.30	0.20			0.00
Water %	0.038	0.032	0.033			0.073
Glycol %	0	0	0			0.100
Soot %	0.19	0.11	0.14			0.00
ZDDP(Abs)	18	18	18			2.10
	Other Test	Other Test	Other Test	A-Low	C-Low	N.O.
TAN	9.1	9.1	9.2	2.0	4.8	9.7
Flash Point	>205	>205	>205			

รูปที่ ฉ-21 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถทดสอบจริง กิโลเมตรที่ 8,400(21074), 9,400(21075), 10,400(21076)

FOCUS LABORATORIES LTD.		LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance				Page 1 of 3		
Customer # : 18004	Site Name :			Condition				
Invoice To : ICE R&D LAB	Location :			of				
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok	Unit Number : WL 81			Oil		Wear		
Tel. : 02.2522899	Test code : 803			Normal		Normal		
Fax. :	Unit type : Engine Diesel							
	Unit make : (not available)							
	Unit model : IDI CI 2.5L							
	Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF							
Recommendations								
(Last refilled 550 ml)								
Note some test values are near to the Alarm Limits, or slightly over the Alarm Limits, but are not considered serious at this time.								
All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling.								
Sample	21076	21075	21074	Alarm Limit Range				
Date sampled	16-Sep-03	10-Sep-03	08-Sep-03	Limit Name :				
Hours on Oil	5268	4270	3274	Engine Diesel General, PTT D3 Sae-40				
Hours on Unit								
Dist. Ref #	815189	815188	815187					
Spectro Test	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS				
Iron(Fe)	35.3 C	26.7 C	23.6	N.O.	C-High	A-High	C-High	A-High
Chromium(Cr)	1.8 A	1.4 C	1.3 C	1.0	24.0	38.0	33.0	53.0
Lead(Pb)	5.6	4.3	4.1	0.0	1.0	1.7	1.6	2.4
Copper(Cu)	2.1	1.7	1.7	0.0	8.0	13.0	9.0	15.0
Tin(Sn)	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	25.0	20.0	34.0
Aluminum(Al)	3.5	3.0	2.4	0.0	3.2	5.8	6.6	11.7
Nickel(Ni)	0.2	0.0	0.3	0.0	4.0	6.0	6.0	9.0
Silver(Ag)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.1	2.6	4.1
Molybdenum(Mo)	100.0	121.1	126.2	0.0				
Titanium(Ti)	0.0	0.0	0.0	77.0				
Vanadium(V)	0.1	0.2	0.3	0.0				
Silicon(Si)	25.9 A	22.3 A	24.4 A	0.0	9.0	13.0	21.0	16.0 21.0
Additive	Additive	Additive	Additive	A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High
Boron(B)	1	0	0					
Sodium(Na)	2	2	2					
Magnesium(Mg)	39	30	32					
Calcium(Ca)	3416	3286	3234					
Barium(Ba)	0	0	0					
Phosphorus(P)	1033	1017	1007					
Zinc(Zn)	1281	1301	1216					
Viscosity	Viscosity	Viscosity	Viscosity	A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High
Visc @40	15.68	14.83	14.75					
Visc @100				12.70	13.44	14.94	16.48	17.18
Vis. Index								
FTIR	FTIR	FTIR	FTIR	A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High
Oxidation(Abs)	6	6	5				5	14 19
Nitration(Abs)	5	5	5				4	11 14
Sulfation(Abs)	14	14	14				16	25 34
Fuel %	0.20	0.30	0.60				0.00	3.00 5.00
Water %	0.045	0.039	0.038				0.073	0.100 0.300
Glycol %	0	0	0					
Soot %	0.45	0.39	0.40				0.00	2.10 5.10
ZDDP(Abs)	18	18	18					
Other Test	Other Test	Other Test	Other Test	A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High
TAN	9.2	9.1	9.2				2.0	4.8 9.7
TBN								
Flash Point								

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ฉ-22 แสดงใบรายงานผลการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบความทนทานโดยใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนรถทดสอบจริง กิโลเมตรที่ 11,400(21983)

FOCUS LABORATORIES LTD.		LubeCheck™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance				Page 1		
Customer # : 19004	Site Name :	Condition		Oil		Wear		
Invoice To : ICE R&D LAB	Location :	of		Condition		Condition		
Address : Faculty of Engineering Chulalongkorn University Bangkok	Unit Number : WL 81	Oil		Wear		Condition		
Tel. : 02.2522889	Test code : 803	Condition		Condition		Condition		
Fax. :	Unit type : Engine Diesel	Condition		Condition		Condition		
	Unit make : (not available)	Condition		Condition		Condition		
	Unit model : IDI CI 2.5L	Condition		Condition		Condition		
	Oil grade : PTT D3 SAE40 API CF/CF-2SF	Condition		Condition		Condition		
Recommendations								
Minor amount of dirt and abrasive wear noted.								
Recommend check to determine how dirt is entering the system and correct the problem to prevent further dirt entry.								
All other wear tests and oil condition tests appear satisfactory, and the oil was still serviceable at the time of sampling.								
Sample	21983	21076	21075	Alarm Limit Range				
Date sampled	03-Oct-03	16-Sep-03	10-Sep-03	Limit Name :				
Hours on Oil	6200 kms	5268	4270	Engine Diesel General, PTT D3 Sae 40				
Hours on Unit	Not Available							
Cust. Ref #	815196	815189	815188					
Spectro Test	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS	RDE RFS				
Iron(Fe)	45.0 A	35.3 C	26.7 C	N.O.	C-High	A-High	C-High	A-High
Chromium(Cr)	2.2 A	1.8 A	1.4 C	1.0	24.0	38.0	33.0	53.0
Lead(Pb)	6.1	5.6	4.3	0.0	1.0	1.7	1.6	2.4
Copper(Cu)	2.7	2.1	1.7	0.0	8.0	13.0	9.0	15.0
Tin(Sn)	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	25.0	20.0	34.0
Aluminium(Al)	5.1 C	3.5	3.0	0.0	3.2	5.8	6.6	11.7
Nickel(Ni)	0.1	0.2	0.0	0.0	4.0	6.0	6.0	9.0
Silver(Ag)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.1	2.6	4.1
Molybdenum(Mo)	86.6	108.0	121.1	0.0				
Titanium(Ti)	0.0	0.0	0.0	77.0				
Vanadium(V)	0.1	0.1	0.2	0.0				
Silicon(Si)	29.1 A	25.9 A	22.3 A	9.0	13.0	21.0	16.0	21.0
Boron(B)	0	1	0	A-Low	C-Low	N.O.	C-High	A-High
Sodium(Na)	111	2	2					
Magnesium(Mg)	29	39	30					
Calcium(Ca)	3549	3416	3286					
Barium(Ba)	0	0	0					
Phosphorus(P)	1028	1033	1017					
Zinc(Zn)	1252	1281	1301					
Viscosity				A-Low C-Low N.O. C-High A-High				
Visc @40	14.89	15.68	14.83					
Visc @100				12.70	13.44	14.94	16.40	17.18
Vis. Index								
FTIR				A-Low C-Low N.O. C-High A-High				
Oxidation(Abs)	6	6	6					
Nitration(Abs)	5	5	5					
Sulfation(Abs)	15	14	14					
Fuel %	0.10	0.20	0.30					
Water %	0.058	0.045	0.039					
Glycol %	0	0	0					
Soot %	0.54	0.45	0.39					
ZDDP(Abs)	18	18	18					
Other Test				A-Low C-Low N.O. C-High A-High				
TAN								
TBN	9.0	9.2	9.1	2.0	4.8	9.7		
Flash Point								

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Office: 9 Fl., Thosapol Land 4 Bldg., 947/29 Bangna-Trad Rd., KM3, Bangna, Bangkok 10260, Thailand
Tel: (662) 361 8600-3 Fax: (662) 361 8567 Email: focus@focus.co.th

Lab: 523 Bangpoo Industrial Estate, Soi 8, Sukhumvit Rd., Prakasa, Muang Samutprakarn 10280, Thailand
Tel: (62) 709 2933-36 Fax: (62) 709 2937 E-mail: focuslab@focus.co.th

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย เทอดศักดิ์ ชัยสุริยะพันธ์ เกิดเมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2522 ที่ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอ คลองหลวง จังหวัด ปทุมธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย