

การศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลรอบกลาง
เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสม

สืบเอกคงเดช พะสีนาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2552

**WEARING STUDY OF MEDIUM SPEED DIESEL
ENGINE USING BLENDED BIODIESEL FUEL**

Sergeant Khongdet Phasinam

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Energy Management Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2009

การศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลรอบกลางเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวคำรองพงศ์)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.วีรชัย อาจหาญ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.พยุ่งศักดิ์ จุลยุเสนา)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

คงเดช พะสีนาม : การศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลรอบกลางเมื่อใช้น้ำมัน
ไบโอดีเซลผสม (WEARING STUDY OF MEDIUM SPEED DIESEL ENGINE USING
BLENDED BIODIESEL FUEL) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช
อาจหาญ, 139 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลต่อเครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลาง โดยเปรียบเทียบสมรรถนะและการสึกหรอเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล B20 B50 และ B100 โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เพื่อนำมากำหนดภาระของเครื่องยนต์ในการทดสอบระยะยาวและ (2) ทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์จะอยู่ในช่วงความเร็วรอบ 1,800–2,000 รอบต่อนาที ส่วนการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์พบว่าการสึกหรอของแหวนลูกสูบ (น้ำหนักที่สูญหาย) สูงขึ้นเมื่อสัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้น ความหนืดของน้ำมันเครื่องสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น โดยที่น้ำมัน B20 มีการเพิ่มขึ้นของความหนืดเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซล ความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อใช้สัดส่วนน้ำมันไบโอดีเซลมากกว่าร้อยละ 20 สำหรับปริมาณโลหะและอโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำมันเครื่องพบว่าจะมีค่ามากขึ้นเมื่อสัดส่วนน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น

ผลที่ได้จากการทดสอบนี้สามารถสรุปได้ว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมดีเซลสามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลรอบกลางได้ แต่ควรกำหนดระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นให้สั้นลงและอาจป้องกัน โดยการใช้ น้ำมันหล่อลื่นที่มีสารเติมแต่งเพื่อลดการสึกหรอที่เหมาะสมรวมทั้งควรมีการศึกษาถึงวิธีปรับแต่งการทำงานของเครื่องยนต์เพื่อให้สามารถใช้ น้ำมันผสมชนิดนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเช่นการปรับจังหวะการฉีดของเชื้อเพลิง (injection timing) เป็นต้น

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

KHONGDET PHASINAM : WEARING STUDY OF MEDIUM SPEED
DIESEL ENGINE USING BLENDED BIODIESEL FUEL. THESIS
ADVISOR : ASST. PROF. WEERACHAI ARJHARN, Ph.D., 139 PP.

BIODIESEL/WEARING/DIESEL ENGINE/ENGINE PERFORMANCE

The objective of this study was to investigate the performance and wear of medium speed diesel engine when different types of fuels including diesel, B20, B50 and B100 are used. The study was divided into two parts viz. (1) determination of appropriate condition of long-term run by performance test evaluation (2) engine wear test of long-term run. Performance test results showed that the maximum engine power was found at engine speeds ranging from 1,800 to 2,000 rpm. Considering engine durability, the wear of piston rings (weight loss) increased with an increase in biodiesel concentration in biodiesel-diesel mixtures. Fuel viscosity was found to be proportional to biodiesel concentration. However, B20 showed almost the same viscosity as diesel fuel. The engine oil density will dramatically increase if biodiesel concentration higher than 20% is used. Also, the extents of metal and nonmetal contaminated in engine oil were proportionally related to concentration of biodiesel.

It could be concluded from the study that biodiesel-diesel fuel can substitute for diesel fuel in medium speed diesel engine but the engine oil changeover period will be shortened. This problem can be solved by using engine oil with proper additives so as to lessen engine wear. A study on functional modification of engine such as injection timing is encouraged in order to be more compatible with biodiesel fuel.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2009

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรชัย อัจหาญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษาด้านวิชาการ ช่วยแก้ไขปัญหา ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไข วิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุศักดิ์ จุลยุเสนา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำปรึกษาด้านวิชาการ

อาจารย์ชาญชัย โรจนสโรช ที่ให้คำแนะนำปรึกษาด้านวิชาการและคอยดูแล ช่วยแก้ไข ปัญหาด้านการวิจัยจนเสร็จลุล่วงด้วยดี

รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรระ เพิ่มชาติ คุณประวิทย์ วิจิตรชัย คุณจักรวาล สารปริง คุณเกียรติศักดิ์ นิคมชัยประเสริฐ คุณจิตรพล คมสันต์ และคณะทำงานทุกท่านที่ทำให้ งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

อาจารย์ พรรษา ลิบลับ คุณกรรณิกา ประเสริฐสังข์ และบุคลากรศูนย์ความเป็นเลิศ ทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทุกท่านที่คอยให้กำลังใจและคำแนะนำปรึกษา มาโดยตลอด

คุณจริยาพร ศรีวิไลลักษณ์ ที่คอยให้คำปรึกษาการจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์และคอยให้ กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ทุน สนับสนุนการวิจัย

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา และครอบครัว อันเป็นที่รักและเคารพยิ่งตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมาจนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต

คงเดช พะสีนาม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ปรีक्षणวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เครื่องยนต์ดีเซล.....	4
2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล.....	4
2.2.1 เลขซีเทน (Cetane Number).....	4
2.2.2 ค่าการระเหย (Volatility).....	5
2.2.3 ความหนาแน่น (Density).....	6
2.2.4 ความหนืด (Viscosity).....	6
2.2.5 คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity).....	7
2.2.6 คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงดีเซล.....	7
2.2.7 เสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซล.....	7
2.2.8 ปริมาณซัลเฟอร์ (sulphur content).....	8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.9	ปริมาณอะโรมาติก (aromatic content).....	9
2.2.10	ปริมาณน้ำและตะกอน (water and sediment content).....	9
2.2.11	จุดวาบไฟ (flash point)	9
2.3	น้ำมันไบโอดีเซล.....	9
2.3.1	ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ของกรดไขมัน ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2550.....	10
2.4	การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร	16
2.4.1	ประเภทของการเสื่อมสภาพ.....	17
2.4.2	การจำแนกกลไกการสึกหรอ.....	19
2.5	สารหล่อลื่น	24
2.5.1	คุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ของสารหล่อลื่น	24
2.6	การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	26
2.6.1	ขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเครื่องยนต์.....	27
2.6.2	การทดสอบหาค่าความหนืด	27
2.6.3	ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่าง (TBN).....	28
2.6.4	การวิเคราะห์ด้วยสเปคโตรมิเตอร์	29
2.6.5	การวิเคราะห์ด้วยวิธีเฟอร์โรกราฟี (ferrography).....	29
2.6.6	การวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)	38
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	42
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	49
3.1	แนวทางและวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	50
3.1.1	น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ.....	50
3.1.2	เครื่องยนต์เรือประมงที่ใช้ในการทดสอบ	50
3.2	วิธีการทดสอบ	50
3.2.1	การทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	50

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2	การทดสอบระยะยาวเพื่อทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์.....	51
3.3	เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ	52
3.3.1	เครื่องยนต์ดีเซล.....	52
3.3.2	เครื่อง AW – Dynamometer Model NEB2-300	54
3.3.3	เครื่อง SUT – Dynamometer Model SUT-HYDURA-180	56
3.3.4	เครื่อง Electric Breaker – Dynamometer CERCA B-Series Model B5-19 ขนาด 24 V 105 A	56
3.3.5	เครื่องวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	57
3.3.6	เครื่องวัดความเร็วรอบ.....	58
3.3.7	เครื่องชั่งแบบละเอียด.....	58
3.3.8	กล้อง Nikon 40x Model MSZ-U ขนาดกำลังขยาย 40 เท่า.....	59
3.3.9	Plane meter	60
3.4	น้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ	60
3.4.1	น้ำมันดีเซล.....	60
3.4.2	น้ำมันไบโอดีเซล.....	60
3.4.3	น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์	61
3.4.4	น้ำมันไฮดรอลิกส์.....	61
3.5	สถานที่ทำการทดสอบ	62
3.6	การวิเคราะห์ข้อมูล	62
3.6.1	การทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	62
3.6.2	การทดสอบระยะยาวเพื่อหาความทนทานของเครื่องยนต์	62
4	ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล	64
4.1	ผลการทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	64
4.1.1	เครื่องยนต์ Hino	64
4.1.2	เครื่องยนต์ Cummins.....	66
4.1.3	เครื่องยนต์ Komatsu.....	68

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.4	สรุปและอภิปรายผล.....	70
4.2	ผลเปรียบเทียบอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะจำแนกตามเครื่องยนต์.....	70
4.2.1	เครื่องยนต์ใช้น้ำมัน Diesel.....	71
4.2.2	เครื่องยนต์ใช้น้ำมัน B20	72
4.2.3	เครื่องยนต์ใช้น้ำมัน B50	74
4.2.4	เครื่องยนต์ใช้น้ำมัน B100	75
4.2.5	สรุปและอภิปรายผล	77
4.3	ผลการทดสอบระยะยาวเพื่อหาผลกระทบจากการใช้ไบโอดีเซล	77
4.3.1	ผลการวิเคราะห์คราบเขม่าที่หัวฉีด	77
4.3.2	หัวฉีดเครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C.....	79
4.3.3	หัวฉีดเครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9	82
4.3.4	หัวฉีดเครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3	84
4.3.5	การสึกหรอของแหวนลูกสูบ.....	87
4.3.6	สรุปผลการสึกหรอของแหวนลูกสูบ	88
4.3.7	ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่อง	88
4.4	ผลการทดสอบการติดเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำ	102
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	104
5.1	สรุปผลการทดสอบ	104
5.1.1	การทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล	104
5.1.2	การทดสอบระยะยาวเพื่อหาผลกระทบจากการใช้ไบโอดีเซล	106
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	107
	รายการอ้างอิง	108
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. เอกสารรับรองคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล	112
	ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	116
	ภาคผนวก ค. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	131
	ประวัติผู้เขียน	139

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2550..... 10
2.2	แสดงคุณสมบัติของอนุภาคการสึกหรอจากวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โลหะและอโลหะมาตรฐาน..... 38
3.1	แผนการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ตามมาตรฐาน EMA 200-hour test..... 52
3.2	ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ 54
3.3	รายละเอียดของเครื่องไดนาโมมิเตอร์ 55
3.4	คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด ที่ใช้ในการทดสอบ 61
4.1	ค่า Coking Index ที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมัน B20 B50 และ B100 ที่ภาระ 80% ของกำลังสูงสุด (rated power) ที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที..... 78
4.2	การสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อใช้น้ำมันดีเซล..... 87
4.3	การสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อใช้น้ำมัน B20 87
4.4	การสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อใช้น้ำมัน B50 88
4.5	การสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อใช้น้ำมัน B100 88
4.6	ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องยนต์ขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง..... 91
4.7	ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องยนต์ขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง..... 92
4.8	ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องยนต์ขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง..... 93
4.9	ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องยนต์ขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C เมื่อใช้น้ำมัน B100 เป็นเชื้อเพลิง..... 94
4.10	ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องยนต์ขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Komatsu เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง..... 95

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.11 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Komatsu เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง	96
4.12 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Komatsu เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง	97
4.13 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Komatsu เมื่อใช้น้ำมัน B100 เป็นเชื้อเพลิง	98
4.14 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Cummins เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง.....	99
4.15 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Cummins เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง	100
4.16 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Cummins เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง	101
4.17 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Cummins เมื่อใช้น้ำมัน B100 เป็นเชื้อเพลิง	102
ข1.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิง	117
ข1.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง	117
ข1.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง	118
ข1.4 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เมื่อใช้น้ำมัน B100 เป็นเชื้อเพลิง	118
ข1.5 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิง	119
ข1.6 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข1.7 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง	120
ข1.8 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เมื่อใช้น้ำมัน B100 เป็นเชื้อเพลิง	120
ข1.9 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิง	121
ข1.10 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง	121
ข1.11 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง	122
ข1.12 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เมื่อใช้น้ำมัน B100 เป็นเชื้อเพลิง	122
ข2.1 น้ำหนักแหวนลูกสูบใหม่เทียบกับหลังการทดสอบ Durability (Long-term test) เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง ตามลำดับ	123
ข2.2 น้ำหนักแหวนลูกสูบใหม่เทียบกับหลังการทดสอบ Durability (Long-term test) เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง ตามลำดับ	123
ข2.3 น้ำหนักแหวนลูกสูบใหม่เทียบกับหลังการทดสอบ Durability (Long-term test) เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง ตามลำดับ	123
ข2.4 น้ำหนักแหวนลูกสูบใหม่เทียบกับหลังการทดสอบ Durability (Long-term test) เมื่อใช้น้ำมัน B100 เป็นเชื้อเพลิง ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง ตามลำดับ	124

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข3.1 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เปรียบเทียบก่อน และหลังการทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ เมื่อน้ำมันดีเซล	124
ข3.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เปรียบเทียบก่อน และหลังการทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ เมื่อน้ำมัน B20	125
ข3.3 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เปรียบเทียบก่อน และหลังการทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ เมื่อน้ำมัน B50	125
ข3.4 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เปรียบเทียบก่อน และหลังการทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ เมื่อน้ำมัน B100	126
ข3.5 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เปรียบเทียบก่อน และหลังการทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ เมื่อน้ำมันดีเซล	126
ข3.6 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เปรียบเทียบก่อน และหลังการทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ เมื่อน้ำมัน B20	127
ข3.7 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เปรียบเทียบก่อน และหลังการทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ เมื่อน้ำมัน B50	127
ข3.8 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เปรียบเทียบก่อน และหลังการทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ เมื่อน้ำมัน B100	128

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข3.9 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เปรียบเทียบก่อน และหลังการทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ เมื่อน้ำมันดีเซล	128
ข3.10 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เปรียบเทียบก่อน และหลังการทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ เมื่อน้ำมัน B20	129
ข3.11 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เปรียบเทียบก่อน และหลังการทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ เมื่อน้ำมัน B50	129
ข3.12 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เปรียบเทียบก่อน และหลังการทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการ เมื่อน้ำมัน B100	130

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โค้งการกลั่น (Distillation curve) ของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป	5
2.2	กราฟแสดงการเสื่อมสภาพตามเวลา	17
2.3	กราฟแสดงการเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา	18
2.4	แสดงกลไกการสึกหรอแบบต่าง ๆ	19
2.5	แสดงพื้นผิวที่แท้จริงในระดับจุลภาค	20
2.6	แสดงลักษณะการสึกหรอแบบยึดติด	21
2.7	แสดงลักษณะการสึกหรอแบบขูดขีด	22
2.8	แสดงลักษณะการสึกหรอแบบล้าตัว	23
2.9	ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกับการใช้งาน	25
2.10	แสดงเครื่องมือวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น (ASTM D-445)	28
2.11	แสดงแผ่นสไลด์ที่ใช้ในกระบวนการเฟอร์โรแกรม	30
2.12	แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ	32
2.13	แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสมมูลในเครื่องจักร (severe sliding wear particle)	33
2.14	แสดงอนุภาคการสึกหรอแบบ cutting wear	34
2.15	แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง (gear fatigue particle)	35
2.16	แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (rolling fatigue wear particle)	36
2.17	แสดงอนุภาคการสึกหรอของทองแดง	37
2.18	แสดงปริมาณการดูดซับรังสีอินฟราเรดในแต่ละช่วงความถี่ ของน้ำมันหล่อลื่น	39
2.19	แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับของน้ำมันใหม่กับ น้ำมันที่มีเชื้อเพลิงปนเปื้อน	41
2.20	แสดงช่วงความถี่จำเพาะที่น้ำสามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดได้	42
3.1	เครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 เครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9.....	53
3.3 เครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3	54
3.4 เครื่อง AW – Dynamometer Model NEB2-300.....	55
3.5 เครื่อง SUT – Dynamometer Model SUT-HYDURA-180.....	56
3.6 เครื่อง Electric Breaker – Dynamometer	57
3.7 เครื่องวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหลอดแก้ว พร้อมกับนาฬิกาจับเวลา	57
3.8 เครื่องวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ (tachometer).....	58
3.9 เครื่องชั่งแบบละเอียด.....	58
3.10 กล้อง Nikon 40x Model MSZ-U ต่อเชื่อมกับเครื่อง Nikon Digital Sight DS-11	59
3.11 เครื่องมือหาพื้นที่เขม่าที่จับที่หัวฉีด (Plane meter).....	60
4.1 สมรรถนะเครื่องยนต์ Hino	64
4.2 สมรรถนะเครื่องยนต์ Cummins.....	66
4.3 สมรรถนะเครื่องยนต์ Komatsu.....	68
4.4 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซล	71
4.5 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B20.....	72
4.6 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B50.....	74
4.7 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B100.....	75
4.8 การกำหนดเส้น reference เพื่อหาพื้นที่เขม่าที่จับหัวฉีด.....	78
4.9 หัวฉีดเครื่องยนต์ Hino ที่ล้างสะอาด.....	79
4.10 หัวฉีดเครื่องยนต์ Hino ที่มีเขม่าจับอันเมื่อใช้น้ำมันดีเซล ที่ 1,800 รอบต่อนาที.....	80
4.11 หัวฉีดเครื่องยนต์ Hino ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B20 ที่ 1,800 รอบต่อนาที.....	80

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12	หัวฉีดเครื่องยนต์ Hino ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B50 ที่ 1,800 รอบต่อนาที.....81
4.13	หัวฉีดเครื่องยนต์ Hino ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B100 ที่ 1,800 รอบต่อนาที.....81
4.14	หัวฉีดเครื่องยนต์ Cummins ที่ล้างสะอาด82
4.15	หัวฉีดเครื่องยนต์ Cummins ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมันดีเซล ที่ 1,800 รอบต่อนาที.....82
4.16	หัวฉีดเครื่องยนต์ Cummins ที่มีเขม่าเมื่อใช้น้ำมัน B20 ที่ 1,800 รอบต่อนาที.....83
4.17	หัวฉีดเครื่องยนต์ Cummins ที่มีเขม่าเมื่อใช้น้ำมัน B50 ที่ 1,800 รอบต่อนาที.....83
4.18	หัวฉีดเครื่องยนต์ Cummins ที่มีเขม่าเมื่อใช้น้ำมัน B100 ที่ 1,800 รอบต่อนาที.....84
4.19	หัวฉีดเครื่องยนต์ Komatsu ที่ล้างสะอาด84
4.20	หัวฉีดเครื่องยนต์ Komatsu ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมันดีเซล ที่ 1,800 รอบต่อนาที.....85
4.21	หัวฉีดเครื่องยนต์ Komatsu ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B20 ที่ 1,800 รอบต่อนาที.....85
4.22	หัวฉีดเครื่องยนต์ Komatsu ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B50 ที่ 1,800 รอบต่อนาที.....86
4.23	หัวฉีดเครื่องยนต์ Komatsu ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B100 ที่ 1,800 รอบต่อนาที.....86

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Al	=	อลูมิเนียม
B20	=	น้ำมันไบโอดีเซล 20% ผสมกับน้ำมันดีเซล 80% โดยปริมาตร
B50	=	น้ำมันไบโอดีเซล 50% ผสมกับน้ำมันดีเซล 50% โดยปริมาตร
B100	=	น้ำมันไบโอดีเซล 100%
CO	=	ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์
CO ₂	=	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
CI	=	ค่าดัชนีที่เป็นตัวบอกระดับความเข้มแข็งที่จับที่หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Coking Index)
Cr	=	โครเมียม
Cu	=	ทองแดง
EMA 200 HOUR TEST	=	มาตรฐานการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้กับ เชื้อเพลิงทางเลือก (200-hr Screening Test for Alternative Fuels) ที่กำหนดโดยองค์กร The Alternative Fuels Committee of the Engine Manufacture's Association; EMA-1982 (Dept. of Energy, 1982)
Fe	=	เหล็ก
NO	=	ก๊าซไนโตรเจนมอนนอกไซด์
NO ₂	=	ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์
NO _x	=	ออกไซด์ของไนโตรเจน
O ₂	=	ก๊าซออกซิเจน
Pb	=	ตะกั่ว
Smoke	=	เขม่าควันดำ
Si	=	ซิลิกอน
SO ₂	=	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
SFC	=	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถึงแม้ว่าโลกกำลังใช้น้ำมันจนใกล้หมดแล้ว แต่ยังคงมีความต้องการใช้น้ำมันเพิ่มขึ้น 1-2% ในทุกปี และการนำน้ำมันขึ้นมาจากใต้พื้นโลก 1,000 บาร์เรล ทุก ๆ วินาที นักธรณีวิทยาที่ก่อตั้งบริษัทผลิตน้ำมันนั้นทุกบริษัทคาดหวังจะผลิตน้ำมันให้ถึงจุดสูงสุดของการผลิตให้เร็วที่สุด บุคคลเหล่านี้ให้ความสำคัญกับการทำนายของนักธรณีวิทยาที่ชื่อ เอ็ม คิง ฮับเบิร์ต เจ้าของทฤษฎี “ฮับเบิร์ตพีค พีค” หัวใจสำคัญของทฤษฎีนี้คือการระบุว่าปริมาณน้ำมันของโลกจะถึงจุดสูงสุดของการผลิตในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งจากนั้นกราฟปริมาณน้ำมันโลกจะลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงจุดต่ำสุดซึ่งทฤษฎีนี้เป็นทฤษฎีที่ทำนายได้อย่างถูกต้องเมื่อปี ค.ศ. 1956 ว่า การผลิตน้ำมันในประเทศสหรัฐอเมริกาจะถึงจุดสูงสุดของการผลิตในปี ค.ศ. 1970 ประเทศสหรัฐเริ่มทดแทนการใช้น้ำมันด้วยพลังงานชนิดอื่นร้อยละ 40 ของพลังงานที่ได้จากน้ำมันและเมื่อมีเรื่องของการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงของสภาพอากาศการใช้พลังงานทดแทนจากแหล่งอื่นที่ไม่ใช่พลังงานจากฟอสซิลจึงเป็นเรื่องที่จำเป็นต้องรีบกระทำมากขึ้นถ้าการผลิตน้ำมันขึ้นถึงจุดสูงสุดหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของโลกอย่างเฉียบพลันขึ้นการเปลี่ยนพลังงานหลักจากการใช้น้ำมันไปเป็นพลังงานทดแทนควรเตรียมพร้อมนำมาใช้ได้ทันที (กรกิจ ดิษฐาน, 2548)

ในประเทศไทยปี พ.ศ.2543 มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 92 ล้านลิตรต่อวัน โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลมีอัตราการใช้ถึง 41 ล้านลิตรต่อวัน คิดเป็น 49% ของผลผลิตน้ำมันปีโตรเลียมทั้งหมด เพราะฉะนั้นจึงมีการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศประมาณ 102 ล้านลิตรต่อปี คิดเป็นเงินประมาณ 285,862 ล้านบาทต่อปี (Teerin, V., et al., 2545) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี ในช่วงปี พ.ศ. 2543-2544 เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันขึ้นภายในประเทศทำให้ราคาน้ำมันดีเซลได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากลิตรละประมาณ 8 บาท เพิ่มขึ้นเป็น 14 บาท (ทวิช จิตรสมบูรณ์, 2544)

ในปี พ.ศ. 2544 จึงถือว่าเป็นวาระอีกครั้งหนึ่งที่ประเทศไทยมีความตื่นตัวในเรื่องของพลังงานมีการหาแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันกันอย่างมากมายอาทิเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล (Biomass) ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นต้น แต่ที่ได้รับความสนใจมากที่สุดคือ “ไบโอดีเซล” (Bio-diesel) เมื่อมีการเปิดสถานีจำหน่ายน้ำมันไบโอดีเซลที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์แล้วยังทำให้เกิดความสนใจในการใช้ไบโอดีเซลได้อีก

สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีศักยภาพสูงในการผลิตวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ปัจจุบันรัฐบาลมีการส่งเสริมให้นำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อทดแทนการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศเพราะราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในตลาดโลกมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนทำให้ประเทศไทยต้องสูญเสียเงินตราต่างประเทศเป็นจำนวนมหาศาล ดังนั้นรัฐบาลจึงกำหนดนโยบายให้มีการนำพืชผลทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลเพื่อเป็นการลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศและสามารถพึ่งพาพลังงานภายในประเทศได้อย่างยั่งยืน โดยได้กำหนดเป้าหมายในการเพิ่มสัดส่วนของการใช้พลังงานทดแทนในเชิงพาณิชย์จากร้อยละ 0.5 ในปี 2546 เป็นร้อยละ 8 ในปี 2554 สำหรับภาคขนส่งซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 36 ของการใช้พลังงานทั้งหมด รัฐบาลได้ส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลและแก๊สโซฮอล์เพื่อทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมด้วย ซึ่งปัจจุบันได้มีการดำเนินการส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนร้อยละ 5 กับรถยนต์ทั่วไป อีกทั้งต้องการขยายตลาดไบโอดีเซลไปยังกลุ่มอื่น ๆ อีกด้วย เช่น กลุ่มเรือประมง เป็นต้น

อย่างไรก็ดีการส่งเสริมให้มีการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันไบโอดีเซลให้มากขึ้นนั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลสนับสนุนไม่ว่าจะเป็นข้อมูลด้านสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ รวมไปถึงศักยภาพการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลของประเทศ ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลสัดส่วนตั้งแต่ร้อยละ 20 ต่อสมรรถนะและการสึกหรอต่อเครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลางที่ใช้ในเรือประมง โดยจะกระทำในห้องปฏิบัติการเพื่อเป็นการประเมินความทนทานของเครื่องยนต์และนำไปใช้เป็นแนวทางในการทดสอบในภาคสนามต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลสัดส่วนตั้งแต่ร้อยละ 20 ต่อสมรรถนะและการสึกหรอต่อเครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลางที่ใช้ในเรือประมง เพื่อเป็นการประเมินความทนทานของเครื่องยนต์และนำไปใช้เป็นแนวทางในการทดสอบในภาคสนามต่อไป

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะและการสึกหรอจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลสัดส่วนตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไปต่อเครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลางเท่านั้น

1.3.2 ใช้น้ำมันดีเซล 100% เรียกว่า Diesel น้ำมันไบโอดีเซล 20% ผสมกับน้ำมันดีเซล 80% โดยปริมาตรเรียกว่า B20 น้ำมันไบโอดีเซล 50% ผสมกับน้ำมันดีเซล 50% โดยปริมาตรเรียกว่า B50 และน้ำมันไบโอดีเซล 100% เรียกว่า B100 ในการทดสอบ

1.3.3 ใช้น้ำมันเครื่อง SAE 15W-40 ซึ่งเป็นน้ำมันเครื่องสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบสาเหตุและปัญหาที่เกิดกับเครื่องยนต์ดีเซลจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ในระยะเวลาที่กำหนด

1.4.2 ทราบถึงแนวทางในการปรับปรุงและดูแลรักษาเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

1.4.3 สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้ที่จะนำไปใช้จริงในภาคสนามได้

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องยนต์ดีเซล

ในปัจจุบันเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในเครื่องยนต์เรือประมงจะเน้นหนักในกลุ่มเครื่องยนต์เรือที่มีความเร็วรอบปานกลาง ซึ่งมีการแข่งขันในทางการค้าค่อนข้างสูงในการทำประมงเชิงพาณิชย์ เครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบปานกลาง (เครื่องยนต์เรือ) หมายถึงเครื่องยนต์ที่ทำงานตั้งแต่ความเร็วรอบ 1,200 รอบต่อนาทีถึง 1,800 รอบต่อนาที

2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงและผลกระทบต่อสมรรถนะและการใช้งานของเครื่องยนต์ดีเซลประกอบด้วย

2.2.1 เลขซีเทน (Cetane Number)

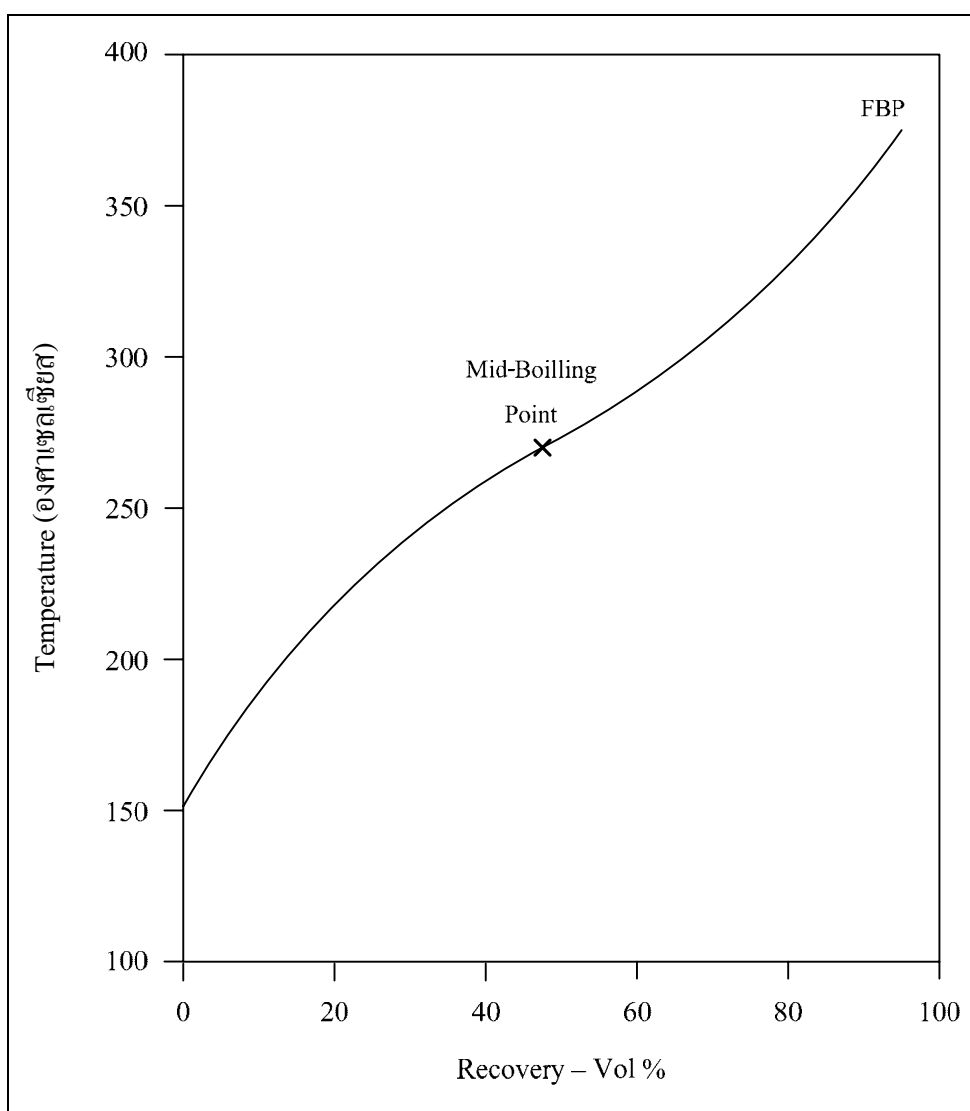
การวัดคุณภาพการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงดีเซลซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปคือเลขซีเทน การกำหนดค่าของเลขซีเทนถูกนิยามโดยการผสมกันของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์อ้างอิง 2 ชนิดซึ่งได้แก่ cetane (n-hexadecane) ที่มีคุณสมบัติการจุดระเบิดสูงให้มีเลขซีเทนเป็น 100 และ isocetane หรือ heptamethyl nonane เป็น paraffin ที่มีกิ่งสาขามากมีคุณสมบัติการจุดระเบิดต่ำ กำหนดให้มีเลขซีเทนเป็น 15 โดยใช้มาตรฐาน ASTM D613 ในการทดสอบ

$$\text{cetane number} = \% n\text{-cetane} + 0.15 (\% \text{heptamethyl nonane}) \quad (2.1)$$

เลขซีเทนนี้มีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิงเช่น คุณสมบัติการสตาร์ทเครื่องยนต์ สภาพ ความดันในห้องเผาไหม้สูงสุดและเสียงของเครื่องยนต์ เป็นต้น ผลดีของการที่เชื้อเพลิงมีเลขซีเทนสูงได้แก่ เครื่องยนต์มีสมรรถนะสูง เพิ่มคุณสมบัติการสตาร์ทเครื่องในขณะเย็น ลดควันดำในช่วงการอุ่นเครื่องยนต์ ลดเสียงดัง ลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษ แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทดสอบเพื่อหาค่าเลขซีเทนนั้นสูงจึงได้มีการคำนวณ CCI (Cetane Index) ขึ้นมาเพื่อประมาณค่าคุณสมบัติการจุดระเบิดแทน โดยใช้ค่า API gravity และ midboiling temperature (50% evaporated) ตามมาตรฐาน ASTM D976

2.2.2 ค่าการระเหย (Volatility)

รายละเอียดที่ได้ระหว่างการกลั่นเชื้อเพลิง ได้แก่ (1) IBP (Initial Boiling Point) (2) EP (End Point) หรือ FBP (Final Boiling Point) (3) Percent of Condensate Recovered และ (4) Percent Residue of Nonvolatile Matter โค้งการกลั่นตัวของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไปแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โค้งการกลั่น (Distillation curve) ของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป (Sher, E., 1998)

volatility (การกลั่นหรือช่วงการเดือดของเชื้อเพลิง) มีผลต่อคุณสมบัติอื่น ๆ รวมถึงความหนาแน่น จุดวาบไฟ อุณหภูมิการจุดระเบิดด้วยตัวเอง ความหนืดและเลขซีเทน volatility ที่สูงจะทำให้เกิด vapor lock และจุดวาบไฟที่ต่ำลง vapor lock จะทำให้เครื่องยนต์ misfire หรือเกิดความล้มเหลวในการติดเครื่องยนต์ใหม่หลังจากดับเครื่องยนต์ลงในช่วงเวลาสั้นในสภาวะร้อน แต่อย่างไรก็ตาม volatility ที่สูงก็ยังทำให้เชื้อเพลิงระเหยได้อย่างสมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ แต่ผลที่ตามมาคือส่วนที่มีจุดเดือดสูงอาจเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดการสะสมรวมตัวในเครื่องยนต์และเพิ่มระดับควัน แต่อย่างไรก็ตามภายในช่วง 350 องศาเซลเซียสถึง 400 องศาเซลเซียสผลของ volatility ที่ต่ำต่อไอเสียจะมีค่าน้อย อุณหภูมิที่กลั่นตัวไปแล้ว 50% (mid-volatility) ของเชื้อเพลิงดีเซลมีผลอย่างชัดเจนต่อแนวโน้มของควัน โดยผ่านทางผลต่อการฉีดและการผสมของเชื้อเพลิงและใช้สำหรับการคำนวณ cetane index ตามมาตรฐาน ASTM D976

ส่วนที่ volatility สูงซึ่งอยู่ที่จุดต่ำสุดในโค้งในรูปที่ 2.1 ช่วยปรับปรุงการติดเครื่องยนต์เย็นและการอุ่นเครื่องในขณะที่ส่วนที่ volatility ต่ำที่ปลายด้านสูงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มการสะสมรวมตัว ควันและการสึกหรอ เนื่องจากเชื้อเพลิงระเหยยากทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

2.2.3 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงดีเซลให้ประโยชน์ในการบ่งชี้องค์ประกอบ และคุณลักษณะที่สัมพันธ์กับสมรรถนะเช่น คุณภาพการจุดระเบิด กำลัง การประหยัดเชื้อเพลิง คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำและแนวโน้มของควัน บางครั้งอาจแสดงความหนาแน่นเป็นความถ่วงจำเพาะหรือ API gravity ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการกลั่นต่างๆ โดยประมาณแสดงดังต่อไปนี้ (Sher, E., 1998)

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| ● 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 โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิต่ำเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นมุมกรวยสเปรย์ของหัวฉีดจะลดลง การกระจายเชื้อเพลิงและการพุ่งของสเปรย์ (spray penetration) ก็จะลดลงไปด้วยในขณะที่ขนาดของหยดเชื้อเพลิง (droplet) ใหญ่ขึ้น ดังนั้นความหนืดจะมีผลต่อ injection timing ที่เหมาะสม

สำหรับรูปร่างหัวฉีดและความดันการฉีดเชื้อเพลิงหนึ่ง ๆ นอกจากนั้นความหนืดจะมีอิทธิพลต่อปริมาณของเชื้อเพลิงที่ฉีดด้วย

เชื้อเพลิงดีเซลมักจะมีการกำหนดคุณสมบัติขอบเขตบนของความหนืดเพื่อให้แน่ใจว่ามีการไหลของเชื้อเพลิงที่เพียงพอสำหรับการฉีดเครื่องขณะเย็นและยังมีการกำหนดความหนืดต่ำสุดเพื่อป้องกันการสูญเสียกำลังที่อุณหภูมิสูงด้วยเนื่องจากหากว่าเชื้อเพลิงมีค่าความหนืดต่ำมากเกินไปจะทำให้ penetration ของสเปรย์ยาวเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดการ wet ที่ผนังห้องเผาไหม้ทำให้สูญเสียกำลังของเครื่องยนต์ได้

เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้นเมื่อน้ำมันไบโอดีเซลมาผสมกับน้ำมันดีเซลจึงทำให้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมดีเซลมีความหนืดที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

2.2.5 คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity)

คุณสมบัติการหล่อลื่นของเชื้อเพลิงดีเซล โดยการทดสอบด้วยวิธี HFRR (High Frequency Reciprocating Rig) ตามวิธีการทดสอบของ CEC F-06-A-96 น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าคุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดีจะช่วยลดการสึกหรอที่เกิดจากการใช้งานในชิ้นส่วนที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงโดยตรง

2.2.6 คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงดีเซล

เชื้อเพลิงดีเซลอาจประกอบด้วย heavy paraffinic hydrocarbons ซึ่งมีความสามารถในการละลายที่จำกัดในเชื้อเพลิง paraffins จะสะสมรวมตัวกันเป็นไข (wax) เมื่ออยู่ในสถานะที่เย็นเพียงพอซึ่งนั่นเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ การเกิดในระบบเชื้อเพลิงในยานพาหนะเป็นแหล่งของปัญหาในการทำงานต่าง ๆ เช่นทำให้เกิดการอุดตันในระบบเชื้อเพลิง

2.2.7 เสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซล

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเชื้อเพลิงคือความมีเสถียรภาพไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างช่วงเวลาระหว่างการผลิต การใช้งานในเครื่องยนต์ และการกักตัวของตะกอนระหว่างการเก็บเชื้อเพลิงดีเซลในระยะยาว ไนโตรเจน และสารประกอบที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบมักจะเกี่ยวข้องอย่างมากในกระบวนการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิง เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นตะกอนเชื้อเพลิง กลไกที่การเผาไหม้ของไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นในหลายขั้นตอน เริ่มต้นด้วยการเริ่มเกิดโซ่ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดอนุมูลอิสระเมื่ออนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนก่อตัวขึ้นมันจะสามารถรวมตัวกับออกซิเจนเพื่อก่อให้เกิดอนุมูล peroxide ซึ่งในทางกลับกันสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนอื่น โดยการกำเนิดอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนอื่นและไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ดังนั้นกระบวนการเผาไหม้จึงไม่สูญเสียไปได้ด้วยตัวเอง อนุมูลอิสระยังสามารถเป็นเหตุให้เกิด polymerization และปฏิกิริยาการเผาไหม้เพื่อให้เกิด

วัสดุที่น้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งสามารถสะสมรวมตัวในระบบเชื้อเพลิง ขั้นตอนสุดท้าย คือ chain termination เมื่อ antioxidant หายไปเป็นปฏิกิริยาซึ่งนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่ร้อนอนุมูลอิสระ

ความสามารถของเชื้อเพลิงในการรักษาเสถียรภาพในถังเก็บขึ้นอยู่กับตัวแปร ซึ่งควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเอง อาทิ oxidation ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเองที่ซับซ้อนปรากฏออกมาโดยทั่วไปมี 2 ชนิด ได้แก่ soluble gum ซึ่งเป็นพวก nonvolatile และ insoluble gum ซึ่งมักถูกเรียกว่าเป็น ตะกอนและเป็นผลิตภัณฑ์ที่อันตรายที่สุดของการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงในถังเก็บ การเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพในระบบเชื้อเพลิง ถูกสังเกตเห็นได้จากการอุดตันที่ไส้กรอง และการสะสมรวมตัวของสารเหนียว ๆ (gum) ในระบบ จุกระเบิดและหัวฉีดสาเหตุหลักของปัญหาการทำงานเหล่านี้อาจเป็นเพราะความจริงที่ว่าเชื้อเพลิงดีเซลทำหน้าที่เป็นตัวหล่อเย็นหัวฉีด ซึ่งเป็นไปได้มากที่สุดที่จะเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิสูง ในส่วนของถังเชื้อเพลิงเมื่อเชื้อเพลิงถูกทำให้เย็นลงและให้ความร้อนอีกครั้งการเกิดวัฏจักรการให้ความร้อนและการทำให้เย็นต่อเนื่องกันอาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงดีเซลที่ไม่มีเสถียรภาพทางความร้อน

2.2.8 ปริมาณซัลเฟอร์ (sulphur content)

วิธีหนึ่งในการลดระดับไอเสียทั้งหมดของ particulate matter (TPM) จากเครื่องยนต์ดีเซลคือการใส่เชื้อเพลิงดีเซลที่มีกำมะถันต่ำ (<0.05% โดยน้ำหนัก) ระหว่างกระบวนการการเผาไหม้กำมะถันส่วนใหญ่ในเชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนเป็น sulphur dioxide (SO₂) ซึ่งส่วนมากถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมที่ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเพิ่มเติมนำไปสู่มลภาวะทางอากาศ SO₂ ที่เหลือจะถูกเผาไหม้ในไอเสียดีเซลที่มีออกซิเจนหนาและเกิดเป็น sulphur trioxide (SO₃) อุณหภูมิไอเสียดีเซลที่สูงจะรักษา SO₃ ไว้ในสถานะไอ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับน้ำโดยปฏิกิริยา คายความร้อนนำไปสู่การก่อตัวของละอองกรดกำมะถันในอากาศซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำโดยพันธะทางเคมีจะถูกปล่อยออกมาเป็น particulate matter

ประโยชน์อื่นของการลดระดับกำมะถันในเชื้อเพลิงดีเซลคือการลดการกัดกร่อนเป็นที่รู้กันว่าระดับกำมะถันที่สูงในเชื้อเพลิงทำให้เกิดการกัดกร่อนที่แหวนลูกสูบและ liners ของกระบอกสูบ การที่กำมะถันทำให้เกิดการกัดกร่อนซึ่งขึ้นอยู่กับระดับกำมะถันของเชื้อเพลิงและสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์โดยตรง

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

2.2.9 ปริมาณอะโรมาติก (aromatic content)

ส่วนประกอบ aromatic ในเชื้อเพลิงดีเซลเป็นปัญหาที่สำคัญเพราะว่าทำให้เกิดการปล่อย particulate emission แต่อย่างไรก็ตาม aromatics มีส่วนช่วยในการหล่อลื่นของเชื้อเพลิงดังนั้นการกำจัดสารเหล่านี้จะทำให้เกิดอัตราการสึกหรอของปั๊มหัวฉีดสูงอย่างผิดปกติ

2.2.10 ปริมาณน้ำและตะกอน (water and sediment content)

เราไม่สามารถที่จะกำจัดน้ำออกจากเชื้อเพลิงดีเซลได้หมดเนื่องจากขั้นตอนแรกที่มีน้ำเข้ามาคือระหว่างกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังมีความเสี่ยงของการมีน้ำปะปนมาระหว่างการขนส่งและการเก็บในถัง การเกิดขึ้นของน้ำในถังเก็บอาจทำให้เกิดการเติบโตของราและแบคทีเรีย การปนเปื้อนจุลินทรีย์ทำให้เกิดปัญหาสำคัญกับเครื่องยนต์โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบเชื้อเพลิงเช่น เกิดการอุดตันที่ไส้กรอง

ตะกอนที่พบในเชื้อเพลิงดีเซลส่วนใหญ่เป็นอนินทรีย์โดยกำเนิดเช่น สนิมอนุภาคโลหะและฝุ่นละออง บางส่วนสามารถเป็นสารอินทรีย์จากการเสื่อมสภาพขององค์ประกอบเชื้อเพลิงที่ไม่เสถียร การกระทำของแบคทีเรียที่รอยต่อของน้ำมัน-น้ำ หรือไขจากเชื้อเพลิง

ตะกอนสามารถนำไปสู่การอุดตันไส้กรองในยานพาหนะและน้ำยังช่วยเพิ่มสถานะกรดทำให้เกิดปัญหาเนื่องมาจากการกัดกร่อนและความสึกหรอในเครื่องยนต์และระบบฉีดเชื้อเพลิง การทดสอบมาตรฐานสำหรับปริมาณน้ำและตะกอนทำได้โดยวิธีการเหวี่ยง

2.2.11 จุดวาบไฟ (flash point)

จุดวาบไฟคือการวัดอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดซึ่งเชื้อเพลิงจะเกิดการลุกไหม้ได้จากแหล่งกำเนิดประกายไฟภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐาน จุดวาบไฟนี้จะมีผลต่อเชื้อเพลิงในการพิจารณาด้านการขนส่ง รูปแบบการจัดเก็บ และการระมัดระวัง

2.3 น้ำมันไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลหมายถึง น้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมดีเซลได้ มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากและสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลทุกชนิด ได้จากการนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีกรดไขมันมาผ่านกระบวนการทางเคมีกับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้เอสเทอร์และกลีเซอริน เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่าทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (trans esterification) ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าน้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียมเนื่องจากมีออกซิเจนสูงกว่าทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยกว่าไม่เกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์และ

ให้เขม่าคาร์บอนน้อยกว่า (กล้าณรงค์ ศรีรอด, พูนสุข ประเสริฐสรรพ, สมพร อธิวิลาณนท์ และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

การผลิตไบโอดีเซลมีขั้นตอนหลักอยู่ 3 ขั้นตอนดังที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ว.ว.) ได้กล่าวว่าการผลิตไบโอดีเซลมีขั้นตอนการผลิตดังต่อไปนี้คือ ขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำมันพืชจะต้องวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดและปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชเพื่อให้ทราบถึงปริมาณค่าที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา แอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาหากใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเนื้อเดียวจะต้องมีการละลายตัวเร่งปฏิกิริยาในแอลกอฮอล์ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการทำปฏิกิริยา

ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำวัตถุดิบที่ผ่านการเตรียมในขั้นตอนแรกมาผสมกันเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเมื่อวัตถุดิบทั้งสองผสมกันในระยะเวลาและสภาวะที่เหมาะสมแล้วเมื่อทิ้งไว้จะเกิดการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซล (ชั้นบน) และกลีเซอริน (ชั้นล่าง)

ขั้นตอนสุดท้าย เป็นการทำให้ไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ซึ่งไบโอดีเซลจากขั้นตอนที่ 2 จะยังมีแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาปะปนอยู่ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนการนำสารเคมีดังที่กล่าวออกจากไบโอดีเซลโดยการใช้ น้ำ และเมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้ว จะกำจัดน้ำที่ค้างอยู่ในไบโอดีเซลออกด้วย (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2549)

2.3.1 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานพ.ศ. 2550

ตารางที่ 2.1 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2550 (กรมธุรกิจพลังงาน, 2550)

ลำดับ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
1	เมทิลเอสเทอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Methyl Ester, % wt.)	ไม่ต่ำกว่า	96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร) (Density at 15°C, kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (เซนติสโตกส์) (Viscosity at 40°C, cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	3.5 5.0	ASTM D 445

ตารางที่ 2.1 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมันตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2550 (ต่อ)

ลำดับ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
4	จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส) (Flash Point, °c)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
5	กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Sulphur, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 2622
6	กากถ่าน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon residue on 10% distillation residue, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D 613
8	เถ้าซัลเฟต (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Sulfated Ash, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
9	น้ำ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Water, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.050	EN ISO 12937
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Total Contaminate, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0024	EN 12662
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110°C (ชั่วโมง) (Oxidation Stability at 110°C, hours)	ไม่ต่ำกว่า	6	EN 14112
13	ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัม โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม) (Acid Value, mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีน/100 กรัม) (Iodine Value , g Iodine/100 g)	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเตอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Linolenic Acid Methyl Ester, %wt.)	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16	เมทานอล (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Methanol, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110

ตารางที่ 2.1 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2550 (ต่อ)

ลำดับ	ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด		วิธีทดสอบ
17	โมนอกลิเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Monoglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.80	EN 14105
18	ไดกลิเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Diglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
19	ไตรกลิเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Triglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Free glycerin, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Total glycerin, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโปแตสเซียม) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) (Group I metals (Na+K), mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 1410 และ EN 14109 pr
	โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) (Group II metals (Ca+Mg), mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14538
23	ฟอสฟอรัส (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Phosphorus, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบ จากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

โดยแต่ละค่าที่เป็นข้อกำหนดมีผลต่อคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลและ
เครื่องยนต์ดังนี้

1) ปริมาณเมทิลเอสเทอร์

ปริมาณเมทิลเอสเทอร์แสดงถึงความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลและการเกิด
ปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ มาตรฐานกำหนดให้มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก เมื่อปริมาณ
เอสเทอร์น้อยกว่าที่กำหนดชี้บอกลังยังมีโมนอกลิเซอไรด์ ไดกลิเซอไรด์ หรือไตรกลิเซอไรด์

อยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณสูงกว่าที่กำหนด ส่งผลให้ความหนืดของไบโอดีเซลมีค่าสูง และ เกี่ยวเนื่องกับการอุดตันในหัวฉีดหรือกระบอกสูบของเครื่องยนต์

2) ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

ความหนาแน่นเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบหัวฉีดจ่ายน้ำมัน เชื้อเพลิงดีเซล ค่าความหนาแน่นเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของพลังงานเชื้อเพลิง เมื่อค่า ความหนาแน่นมีค่ามากก็จะให้พลังงานความร้อนมากขึ้นตามไปด้วยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำมัน เชื้อเพลิงในปริมาณเดียวกัน ความหนาแน่นของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมี ความแตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณเมทานอลที่ตกค้างในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้ ความหนาแน่นมีค่าต่ำอีกด้วย

3) ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ความหนืดเกี่ยวข้องกับการไหล การฉีดเป็นฝอยของหัวฉีดในห้องเผาไหม้ การฉีดเป็นฝอยขนาดเล็กจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ความหนืดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับ ชนิดของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบ ความหนืดยังเป็นดัชนีแสดงการเสื่อมสภาพของไบโอดีเซล เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกทางหนึ่ง

4) จูควาไฟฟ้า

จูควาไฟฟ้าเป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดเมื่อเปลวไฟผ่านเหนือไอของน้ำมัน แล้วทำให้น้ำมันติดไฟ มาตรฐานกำหนดให้มีค่าจูควาไฟมากกว่า 120 องศาเซลเซียส ปริมาณเมทานอล ที่หลงเหลือในไบโอดีเซลทำให้จูควาไฟมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานได้ จูควาไฟมีผลต่อการขนส่ง เคลื่อนย้าย และการจัดเก็บ ปริมาณเมทานอลที่ยังคงเหลืออยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณมากกว่า 0.2% ส่งผลให้จูควาไฟมีค่าต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส

5) กำมะถัน

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณกำมะถันต่ำ เนื่องจากน้ำมันพืชดิบที่ใช้ใน การผลิตมักมีองค์ประกอบของกำมะถันต่ำกว่า 15 ส่วนในล้านส่วน กำมะถันในน้ำมันเมื่อถูก เผาไหม้จะเปลี่ยนเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งถูกปล่อยออกมาพร้อมไอเสียจากเครื่องยนต์ และ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

6) กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น)

ปริมาณกากถ่านมีความสัมพันธ์กับปริมาณกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ สบู่ ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ยังหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล หากมีปริมาณกากถ่านสูงกว่าข้อกำหนดชี้บ่งถึง ยังคงมีสารต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซลนอกจากนั้นยังแสดงถึงแนวโน้มของ ปริมาณกากถ่านที่เหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ กากถ่านมีผลต่อการอุดตันในหัวฉีด

หรือที่ลูกสูบทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง เครื่องยนต์สกปรกและต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องบ่อยครั้ง

7) เถ้าซัลเฟต

เถ้าซัลเฟตเกิดจากการเผาไหม้ของสารปนเปื้อนในไบโอดีเซล เนื่องมาจากการตกค้างของสบู่ และตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณเถ้าซัลเฟตมีผลต่อการอุดตันในเครื่องยนต์

8) น้ำ

ปริมาณน้ำในน้ำมันทำให้การเผาไหม้ไม่ดี นอกจากนั้นน้ำในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกระหว่างน้ำกับเอสเทอร์เกิดเป็นกรดไขมันอิสระซึ่งส่งผลต่อการกัดกร่อนเครื่องยนต์ และเป็นตัวเร่งให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังเก็บน้ำมัน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หัวฉีดอุดตัน

9) สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด

สารปนเปื้อนในน้ำมันไบโอดีเซลส่วนใหญ่เป็นผลมาจากกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันและปฏิกิริยาข้างเคียง เช่นปฏิกิริยาการเกิดสบู่ของกรดไขมันอิสระและตัวเร่งปฏิกิริยาเบส ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารที่ไม่เกิดการ Sponified ได้แก่ ไขมันที่ไม่อยู่ในรูปของกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ Fatty alcohol สารประกอบไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์อย่างแข็ง Tri-terpene alcohol สารประกอบแคโรทีน วิตามิน และอื่น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุดิบ น้ำมันพืชเริ่มต้น โดยทั่วไปสิ่งปนเปื้อนทั้งหมดจะถูกกำจัดออกจากไบโอดีเซลในขั้นตอนการล้างน้ำ สิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลมีผลเสียต่อเครื่องยนต์หลายด้าน เช่น คุณสมบัติด้านความเสถียรของไบโอดีเซลระหว่างการเก็บรักษาเนื่องสารประกอบของสารที่ไม่เกิดการ Sponified เปลี่ยนสภาพกลายเป็นสารที่มีผลในการลดคุณสมบัติด้านความเสถียรของไบโอดีเซล

10) การกัดกร่อนแผ่นทองแดง

การกัดกร่อนแผ่นทองแดงแสดงถึงการกัดกร่อนของน้ำมันต่อโลหะที่ใช้ทำเป็นชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากปริมาณกรดเช่น กรดไขมันอิสระและสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำมัน ซึ่งค่าการกัดกร่อนนี้มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์

11) ค่าของกรด

แสดงความเป็นกรดในน้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลมาจากปริมาณกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมันพืช และปริมาณกรดที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีผลต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ทำให้อายุการใช้งานของปั๊ม และไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง นอกจากนี้ยังแสดงถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมัน เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติก จากปริมาณน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันและผลของสภาวะในการจัดเก็บ

12) กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์

แสดงถึงพันธะคู่หรือความไม่อิ่มตัวของไบโอดีเซลซึ่งมีแนวโน้มก่อให้เกิดโพลีเมอร์ในเครื่องยนต์ทำให้เกิดการอุดตัน และการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง ปริมาณกรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่เลือกมาใช้เป็นวัตถุดิบ

13) เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากการเกิดสารประเภทเปอร์ออกไซด์ (Peroxide linkage) ขึ้นระหว่างพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในโครงสร้างของไบโอดีเซล ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดเมื่อน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศโดยที่ความร้อนและแสงแดดมีผลช่วยเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่โลหะเช่น ทองแดงและตะกั่วก็เป็นตัวเร่งให้ปฏิกิริยาให้เกิดขึ้นเร็วขึ้น ผลของปฏิกิริยาทำให้เกิดสารโพลีเมอร์ (Oxidation polymerization) และเกิดของแข็งที่ไม่ละลายในไบโอดีเซล เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากจะขึ้นกับประเภทและคุณสมบัติของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบแล้วยังขึ้นกับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วย โดยกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อนสูงแก่ไบโอดีเซลเป็นระยะเวลาานอาจส่งผลให้เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้ที่มีค่าสูงกว่า 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

14) ค่าไอโอดีน

ค่าไอโอดีนแสดงพันธะคู่ในน้ำมันเป็นคุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ค่าไอโอดีนต่ำแสดงถึงการมีสัดส่วนกรดไขมันอิ่มตัวในโครงสร้างไบโอดีเซลสูงทำให้ไม่มีแนวโน้มในการเกิดออกซิเดชัน นอกจากนี้ค่าไอโอดีนยังมีความสัมพันธ์กับจุดขุ่นซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มเกิดไขหรือจับตัวเป็นก้อนแข็ง ไบโอดีเซลที่มีค่าไอโอดีนต่ำจะมีจุดขุ่นสูง ซึ่งมีผลต่อการใช้งานสภาพอากาศเย็น ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมีค่าไอโอดีนอยู่ในช่วง 50-55 กรัมไอโอดีน/100 กรัม โดยที่กรมธุรกิจพลังงาน กำหนดให้ค่าไอโอดีนไม่สูงกว่า 120 กรัมไอโอดีน/100 กรัม

15) เมทานอล

เมทานอลเป็นสารตั้งต้นที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออกให้หมดก่อนนำไบโอดีเซลออกจำหน่าย จึงต้องมีปริมาณต่ำในผลิตภัณฑ์ ไบโอดีเซลจุลควาไฟฟ้าของไบโอดีเซลคือ 130 องศาเซลเซียส เมทานอลมีค่าจุลควาไฟฟ้าถ้ายังมีเมทานอลปะปนอยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณสูงจะทำให้ไบโอดีเซลมีจุลควาไฟฟลดต่ำลงซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยในการเก็บรักษา การขนส่ง และการนำมาใช้ในเครื่องยนต์ เมทานอลมีค่าความเข้มข้นมากกว่า 5% จะมีผลกระทบต่อค่าซีเทนและการหล่อลื่นของน้ำมัน

16) โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์

ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ แสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลือจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์จะส่งผลให้เกิดการอุดตันบริเวณกรองเชื้อเพลิง หัวฉีด ระบายอกสูบ และวาล์วภายในเครื่องยนต์

17) กลีเซอรินอิสระ (Free glycerin)

ปริมาณกลีเซอรินที่ยังเหลืออยู่ในไบโอดีเซลเนื่องมาจากการแยกกลีเซอรินไม่สมบูรณ์ทำให้มีปัญหาการแยกชั้นของกลีเซอรินในการจัดเก็บไบโอดีเซลรวมถึงการสะสมที่บริเวณด้านล่างของถังน้ำมัน กลีเซอรินมีผลต่อการอุดตันที่หัวฉีดและระบบจ่ายน้ำมันของเครื่องยนต์โดยตรง

18) กลีเซอรินทั้งหมด (Total glycerin)

กลีเซอรินทั้งหมดคือ ปริมาณของกลีเซอรินอิสระและปริมาณกลีเซอรินในโมเลกุลของโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ที่เจือปนอยู่ในไบโอดีเซล ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์มีผลก่อให้เกิดการอุดตันที่บริเวณหัวฉีดและไส้กรองตลอดจนปัญหาการใช้งานในสภาพอากาศเย็น

19) โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม) โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม)

เป็นการวัดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบส สบู่และโลหะหนักจากน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลที่หลงเหลือในไบโอดีเซล แคลเซียมมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีสำหรับกระบวนการโพลีเมอไรซ์ของเอสเทอร์อีกด้วย ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานกำหนดให้ ปริมาณโลหะกลุ่ม 1 และโลหะกลุ่ม 2 ไม่สูงกว่า 5.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

20) ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นสารที่ปนเปื้อนอยู่ในวัตถุดิบน้ำมันพืชตั้งแต่เริ่มต้น หากไม่ทำการกำจัดออกจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีฟอสฟอรัสปะปนอยู่ด้วยซึ่งจะทำความเสียหายให้กับอุปกรณ์ Catalytic converter ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการแพร่มลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์

2.4 การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร

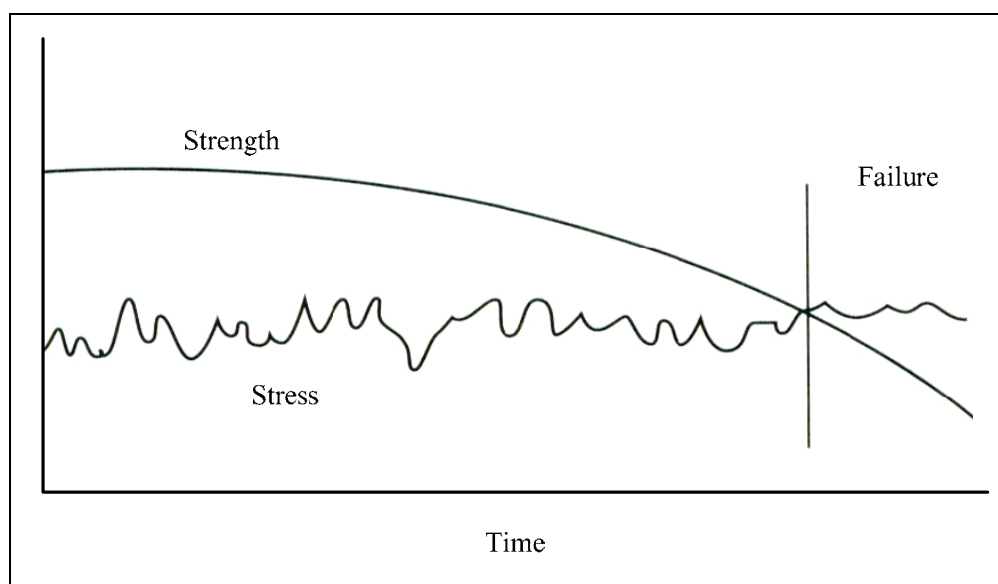
(สุรพล ราชฤทธิ์ น้อย, 2545) เมื่อมีการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนในชิ้นส่วนหนึ่งสัมผัสกับอีกชิ้นส่วนหนึ่งจะเกิดความเสียดทานขึ้นไม่ว่าจะเป็นความเสียดทานจากการลื่นไถลหรือความเสียดทานแบบกึ่งตัวแม้จะมีการลดความเสียดทานเหล่านี้ด้วยการใช้สารหล่อลื่นซึ่งจะส่งผลให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำลงและลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากความเสียดทาน

แต่สุดท้ายตามกฎเกณฑ์ของธรรมชาติสิ่งของต่าง ๆ ยังคงเกิดการสึกหรอและเสื่อมสภาพเพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะของการเสื่อมสภาพและหาสาเหตุหลักของการเสื่อมสภาพเพื่อทำการแก้ไข จึงต้องศึกษาทราบถึงประเภทของการเสื่อมสภาพและกลไกของการสึกหรอโดยสังเขปดังนี้

2.4.1 ประเภทของการเสื่อมสภาพ

ประเภทของการเสื่อมสภาพอาจแบ่งได้ตามลักษณะของการชำรุด ดังนี้

- 1) การเสื่อมสภาพตามเวลา (Time dependent degradation)



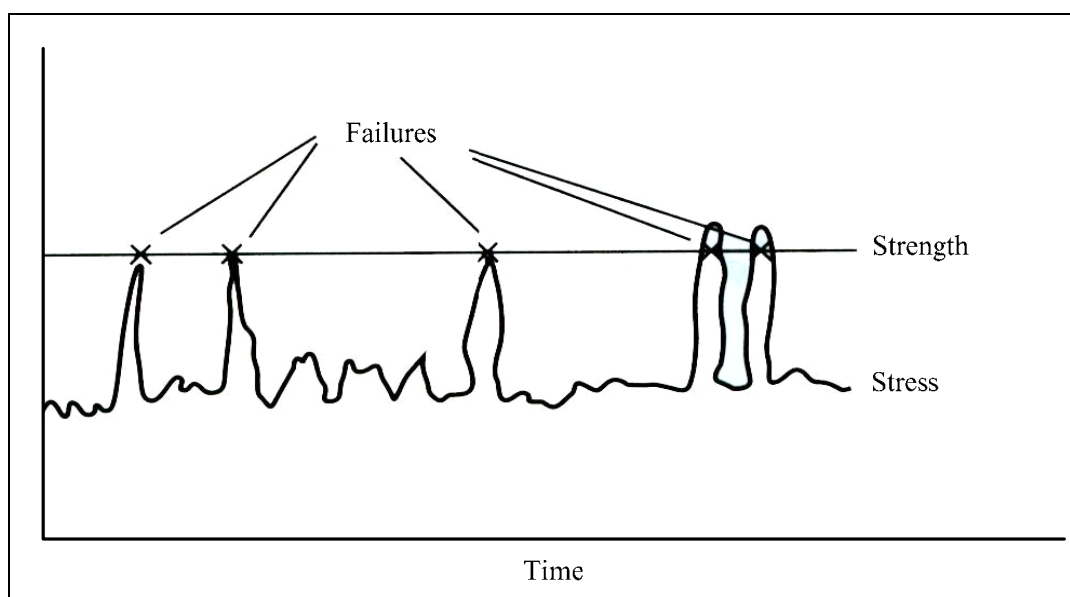
รูปที่ 2.2 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพตามเวลา (สุรพล ราษฎร์นุ้ย, 2545)

ลักษณะของกราฟในรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเสื่อมสภาพ (การสึกหรอของวัสดุ) ของชิ้นส่วนอุปกรณ์ตามระยะเวลาการใช้งาน ซึ่งมีผลทำให้มิติหรือขนาดของชิ้นส่วนเปลี่ยนไปมีผลทำให้ความแข็งแรง (Strength) ของชิ้นส่วนดังกล่าวมีค่าลดลงไปตามเวลาใช้งานและสุดท้ายเมื่อค่าความแข็งแรงมีค่าลดลงจนใกล้หรือต่ำกว่าค่าภาระใช้งานก็จะเป็นจุดที่เส้นกราฟ 2 เส้นนี้มาบรรจบกัน ซึ่งเป็นจุดที่ชิ้นส่วนจะชำรุดหรือแตกหักเสียหาย

- 2) การเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent degradation)

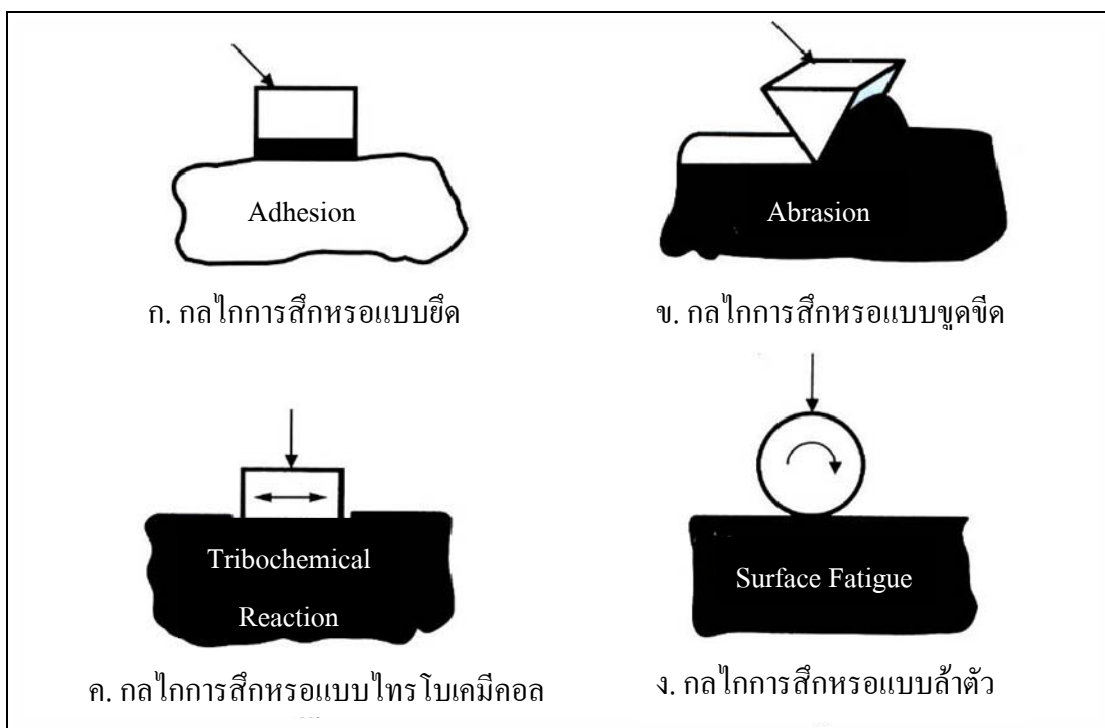
ในการเสื่อมสภาพจนชำรุดในลักษณะนี้เป็นการชำรุดโดยไม่เกี่ยวข้องกันช่วงระยะเวลาใช้งานอาจจะเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ก็มีผลทำให้เกิดการชำรุดได้ (การชำรุด “แบบทันทีทันใด”) ซึ่งกรณีนี้ตรงกันข้ามกับกรณีแรก (กรณีแรกเป็นแบบการชำรุด “แบบค่อยเป็นค่อยไป”) หากดูจากกราฟในรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความแข็งแรงวัสดุต่อภาระ

ใช้งานซึ่งเรียกว่า “ปัจจัยความปลอดภัย” (Safety Factor : SF) โดยทั่วไปวิศวกรออกแบบมักกำหนดให้มีค่ามากกว่า 1 หากแต่เมื่อใดที่มีการใช้เครื่องจักรผิดวิธีหรือการเกิดภาระกระแทกหรือช็อค (Shock or Impact load) ที่อาจเกิดจากอุบัติเหตุหรือใช้เครื่องจักรผิดวิธีก็จะทำให้ภาระที่กระทำต่อชิ้นส่วนดังกล่าวพุ่งขึ้นสูงมากจนไปบรรจบกับค่าความแข็งแรงของวัสดุ จนทำให้วัสดุทนภาระดังกล่าวไม่ได้และเกิดการชำรุดหรือแตกหักในที่สุด



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา (สุรพล ราษฎร์นุ้ย, 2545)

จากทั้งสองหัวข้อคือ การชำรุดหรือการเสื่อมสภาพตามเวลา (Time dependent) มักจะเกี่ยวข้องกับการสึกหรอ (Wear) ส่วนการชำรุดแบบไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent) จะเกี่ยวข้องกับการแตกหักในการป้องกันการสึกหรอจำเป็นที่วิศวกรบำรุงรักษาต้องเข้าใจเสียก่อนว่าการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรมีรูปแบบหรือกลไกการสึกหรอ (Wear mechanisms) อย่างไรบ้างแล้วจึงสามารถหาแนวทางดำเนินการในการป้องกันการเสื่อมสภาพได้ตามมาตรฐานด้านอุตสาหกรรมของประเทศเยอรมันหมายเลข 50320 (DIN 50320) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าแบ่งกลไกการสึกหรอไว้เหมาะสม 4 รูปแบบดังรูปที่ 2.4



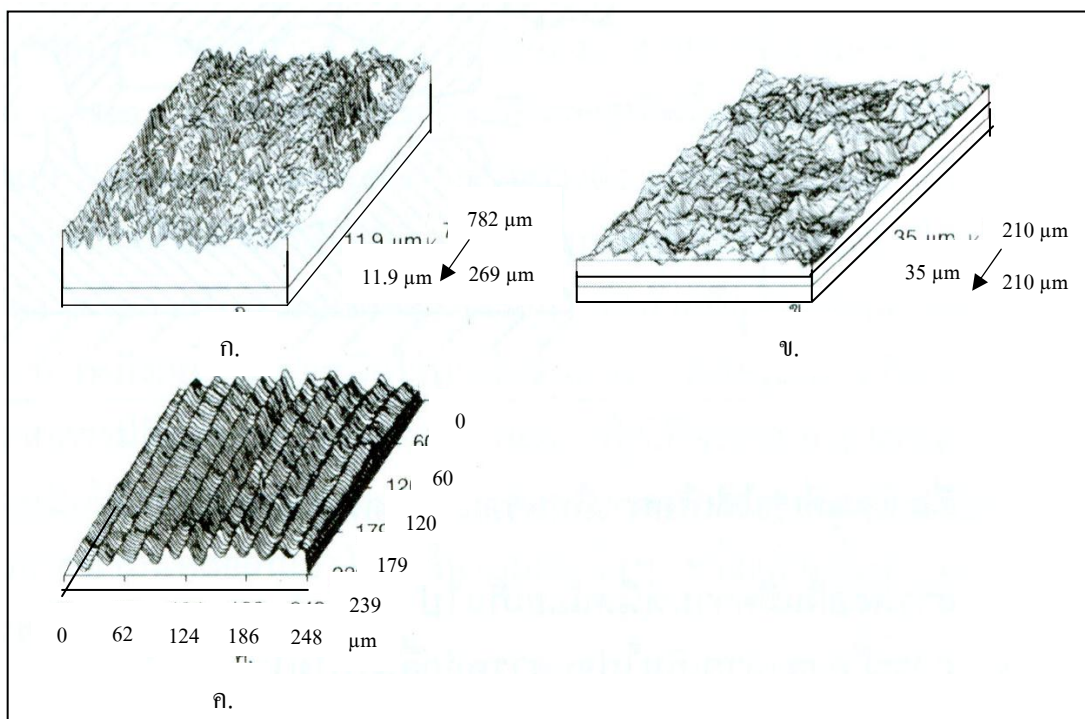
รูปที่ 2.4 แสดงกลไกการสึกหรอแบบต่าง ๆ (สุรพล ราษฎร์นุ้ย, 2545)

2.4.2 การจำแนกกลไกการสึกหรอ

ก่อนที่จะกล่าวถึงกลไกการสึกหรอ (Wear mechanisms) จะอธิบายโดยสังเขปว่า เพราะเหตุใดจึงเกิดการสึกหรอขึ้นทั้ง ๆ ที่มีบางคนแย้งว่าเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรไม่ควรเกิดการสึกหรอเพราะไม่ได้ใช้งาน ให้ภาระหรือความเค้น (Stress) ที่มากเกินไปกว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Strength) ซึ่งก็คือวิศวกรออกแบบไว้ให้มีค่าปัจจัยความปลอดภัย (ความแข็งแรง/ความเค้น > 1) แต่สุดท้ายชิ้นส่วนก็ยังสึกหรอและแตกหักตามระยะเวลาเหตุผลที่สามารถอธิบายได้คือการที่วิศวกรออกแบบคำนวณค่าความเค้น (Stress) ไว้คือ

$$\text{ความเค้น} = \frac{\text{แรงที่กระทำ}}{\text{พื้นที่รับแรงกระทำ}} \quad (2.2)$$

โดยที่พื้นที่รับแรงกระทำที่ใช้จะเป็นการใช้ค่าพื้นที่รับแรงกระทำที่เรามองเห็นหรือวัดได้ (Apparent area of contact) แต่ที่จริงแล้วพื้นที่รับแรงดังกล่าวอยู่บนสมมุติฐานว่าพื้นผิวชิ้นงานมีความเรียบและรับภาระเต็มหน้าสัมผัส หากทว่าในระดับจุลภาคแล้วมนุษย์ยังไม่สามารถทำให้เกิดความเรียบของผิวดังกล่าวได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

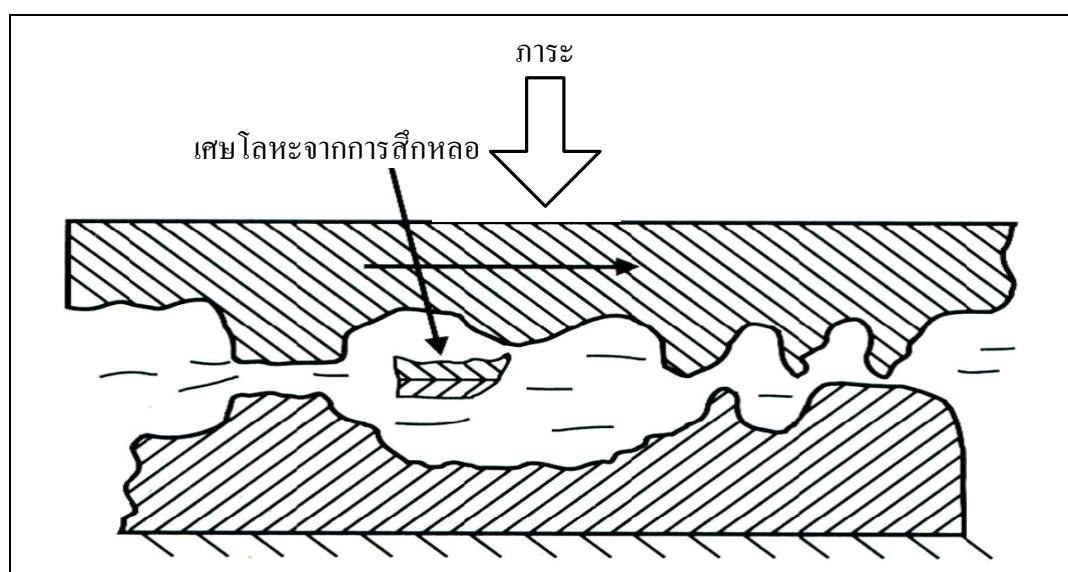


รูปที่ 2.5 แสดงพื้นผิวที่แท้จริงในระดับจุลภาค (สุรพล ราษฎร์นุ้ย, 2545)

จะเห็นได้ว่าเมื่อหาค่าความเค้นในระดับจุลภาคแล้วจะทำให้ค่าความเค้นจริงที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมากเกินค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Yield strength) โดยที่ขดแหลม ๆ ที่เห็นจากภาพขยายของผิวงานถูกเรียกกันว่า “Asperities” เมื่อมีการสัมผัสกันของชิ้นงานจุดที่จะรับภาระจริงในระดับจุลภาคคือ Asperities ซึ่งมีพื้นที่เล็ก ๆ และเมื่อค่าภาระสูงเกิดค่าความแข็งแรง Asperities เหล่านี้จะเสีรูปร่าง/ขูดตัวโดยถาวรในขณะที่ชิ้นส่วนเหล่านี้หยุดนิ่ง เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนที่ Asperities ที่เสีรูปร่างโดยถาวรดังกล่าวจะถูกเหวี่ยงตัวออกไปและกลายเป็นเศษโลหะจากการสึกหรอที่ปะปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นนั่นเอง ดังนั้นไม่ว่าจะใช้ภาระต่ำหรือสูงก็จะทำให้เกิดการสึกหรอเสมอ โดยทั่วไปเราสามารถจำแนกกลไกการสึกหรอได้เป็น 4 กลไก คือ

1) กลไกการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive wear)

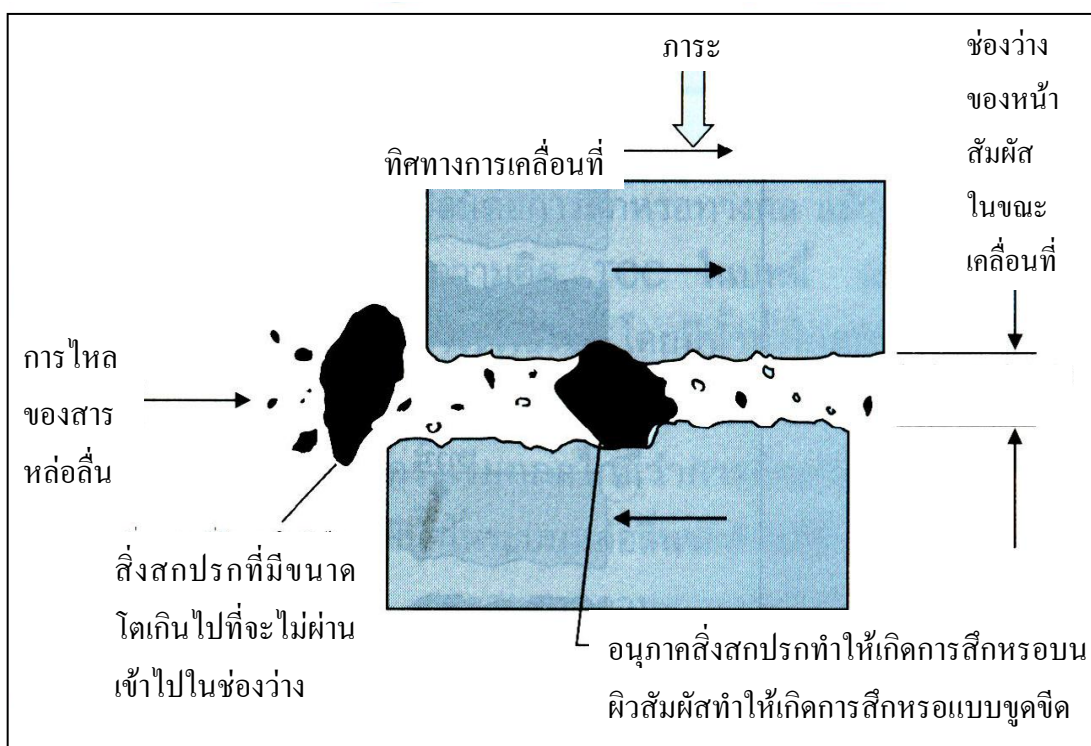
เป็นกลไกที่เกิดขึ้นจากการที่มีการเกิดพันธะยึดติดกันของ Asperities และมีการฉีกขาดตัวออกไปของพันธะที่เกิดขึ้นที่ในขณะที่ชิ้นงานมีการเคลื่อนที่ พันธะที่เกิดการ “ยึดติด” หรือ “เชื่อมติดกัน” ของ Asperities นี้เรียกกันว่า “การเชื่อมเย็น” (Cold-welded) ลักษณะการเกิดการสึกหรอแบบยึดติดแสดงในรูปที่ 2.6 โดยที่สาเหตุที่เร่งให้เกิดการสึกหรอแบบยึดติด คือ สารหล่อลื่นมีความหนืดน้อยเกินไป ภาระมีค่าสูงมากเกินไปจนสารหล่อลื่นรับไม่ได้หรือใช้ความเร็วต่ำเกินไป



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบยึดติด (สุรพล ราชกูร์นุ้ย, 2545)

2) การสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasive wear)

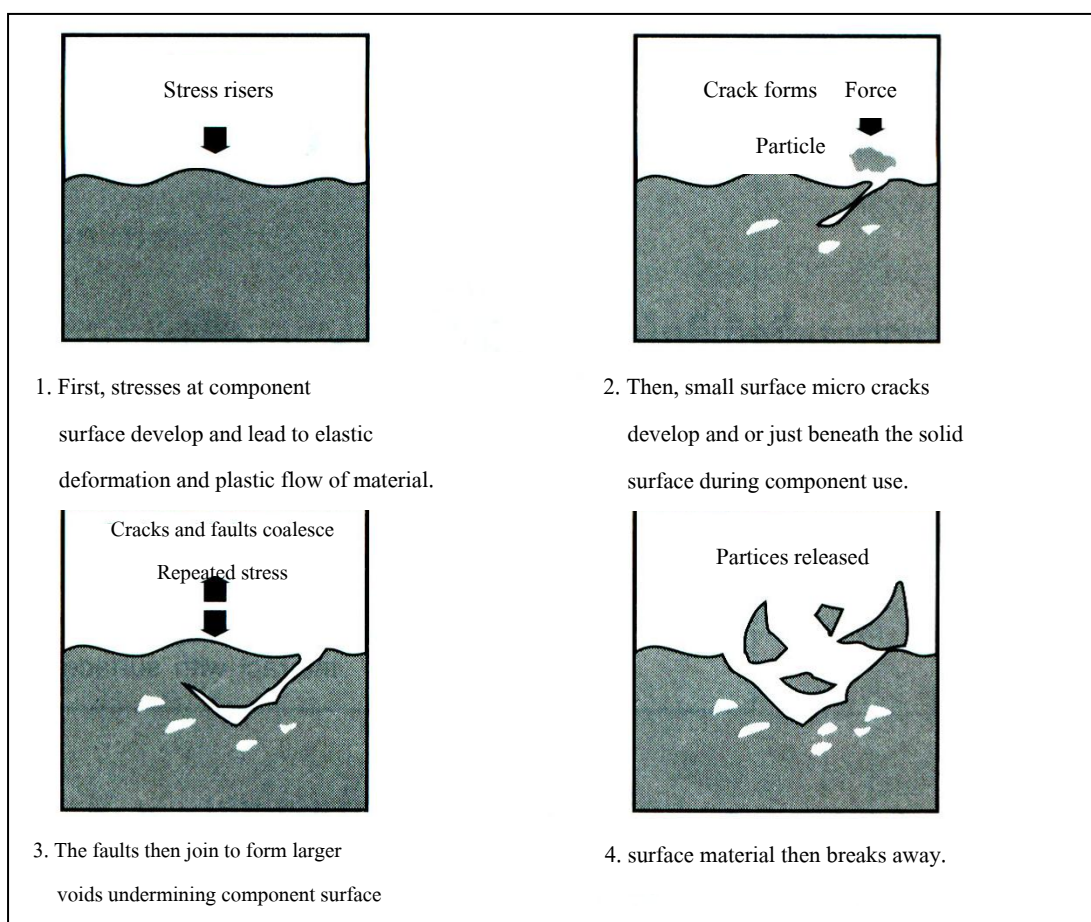
เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการที่เนื้อวัสดุถูกเนียนออกไปจากการถูกขูดขีดโดยสารที่มีความแข็งสูงมากเช่น ฝุ่นละออง เม็ดทราย หรือกากเพชร เป็นต้น ลักษณะของการสึกหรอประเภทนี้ดังรูปที่ 2.7 การเร่งให้เกิดการสึกหรอประเภทนี้คือ การใช้สารหล่อลื่นที่สกปรก การชุบแข็งคู่ผิวด้านที่มีความแข็ง (Hardness) แตกต่างกันไป



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการสึกหรอบแบบขูดขีด (สุรพล ราษฎร์นุ้ย, 2545)

3) การสึกหรอจากการล้าตัวของวัสดุ (Fatigue wear)

เป็นการล้าตัวและเกิดรอยแตกหรือหลุมบนผิวหน้าวัสดุบริเวณที่มีการล้าตัว ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าชิ้นงานมีการรับภาระเป็นวงรอบ (Stress cycles) การล้าตัวของวัสดุจะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก หากชิ้นงานรับภาระเพียงการกด (Compressive stress) หรือการดึง (Tensile stress) เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งแต่จะมีโอกาสเกิดการล้าตัวได้เร็วมาก ๆ หากมีการรับภาระสลับกันไปมาระหว่างการกดกับการดึงหรือการรับภาระแบบเป็นวงรอบ ซึ่งท้ายที่สุดจะส่งผลให้ผิววัสดุหลุดร่อนออกไปและทำให้มีรอยสึกหลงเหลือไว้บนผิวชิ้นงาน ลักษณะการเกิดการล้าตัวอีกแบบหนึ่งเกิดจากการมีสิ่งสกปรกในสารหล่อลื่นและทำให้เกิดรอยกด (Dents) ขึ้นบนผิวชิ้นงานก่อนและเมื่อใช้งานไปนาน ๆ รอยกดจะค่อย ๆ แพร่กระจายออกไปเป็นรอยแตก (Crack) เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปอยู่ในรอยกดนั้น ๆ ครั้งแล้วครั้งเล่า และเกิดเป็นหลุมในที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบล้าตัว

4) การสึกหรอแบบปฏิกิริยาไทรโบเคมี (Tribochemical reaction)

บางครั้งถูกเรียกว่าการสึกหรอแบบไป ๆ กลับ ๆ หรือเฟรตติ้ง (Fretting wear) จากชื่อ Tribochemical reaction มีความหมายเบื้องต้นคือ การที่ชิ้นงานต้องมีการขัดสี (Tribo) และเกิดผลพวงจากปฏิกิริยาเคมี (Reaction) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “ปฏิกิริยาออกซิเดชัน” สามารถอธิบายโดยง่าย ๆ จากการเกิดไทรโบเคมีคอลรีแอคชันที่ข้อต่อโซ่จะมีผลทำให้บริเวณข้อต่อโซ่ดังกล่าวมีการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive) เมื่อมีการใช้งานจะทำให้บริเวณข้อต่อโซ่มีการขัดสีกัน (Tribo) ก่อให้เกิดเศษเหล็กตรงจุดนั้นผนวกเข้ากับเกิดความร้อนจากการขัดสี ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalyst) โดยที่ผงเหล็กที่เกิดขึ้นก็เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีเช่นกัน เพราะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว (Surface area) ให้ออกซิเจนในอากาศสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้นเมื่อมีองค์ประกอบหลักคือ เศษเหล็ก ความร้อน ความชื้น (หรือไอน้ำในอากาศ) กับออกซิเจนก็จะทำให้ปฏิกิริยาเคมีที่เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นสนิมเหล็ก (Rusty wear powder) และสนิมเหล็กจะมี

คุณสมบัติคล้าย ๆ กับฝุ่นละอองคือ มีความแข็งแต่เปราะและจะทำให้เกิดการขูดขีด (abrasive) ตรงบริเวณข้อต่อโซ่ตามมาจนทำให้ข้อต่อโซ่ลดขนาดลงและทนภาระไม่ได้ในที่สุดก็จะขาดชำรุดไป นอกจากข้อต่อโซ่แล้ว อาจเกิดกลไกการสึกหรอชนิดนี้ได้กับเพลลาเฟืองแบบเลื่อนได้ (Spline) แหนบรถยนต์และพิวนอกของแบริ่งที่สัมผัสกับตัวเรือน เป็นต้น

2.5 สารหล่อลื่น

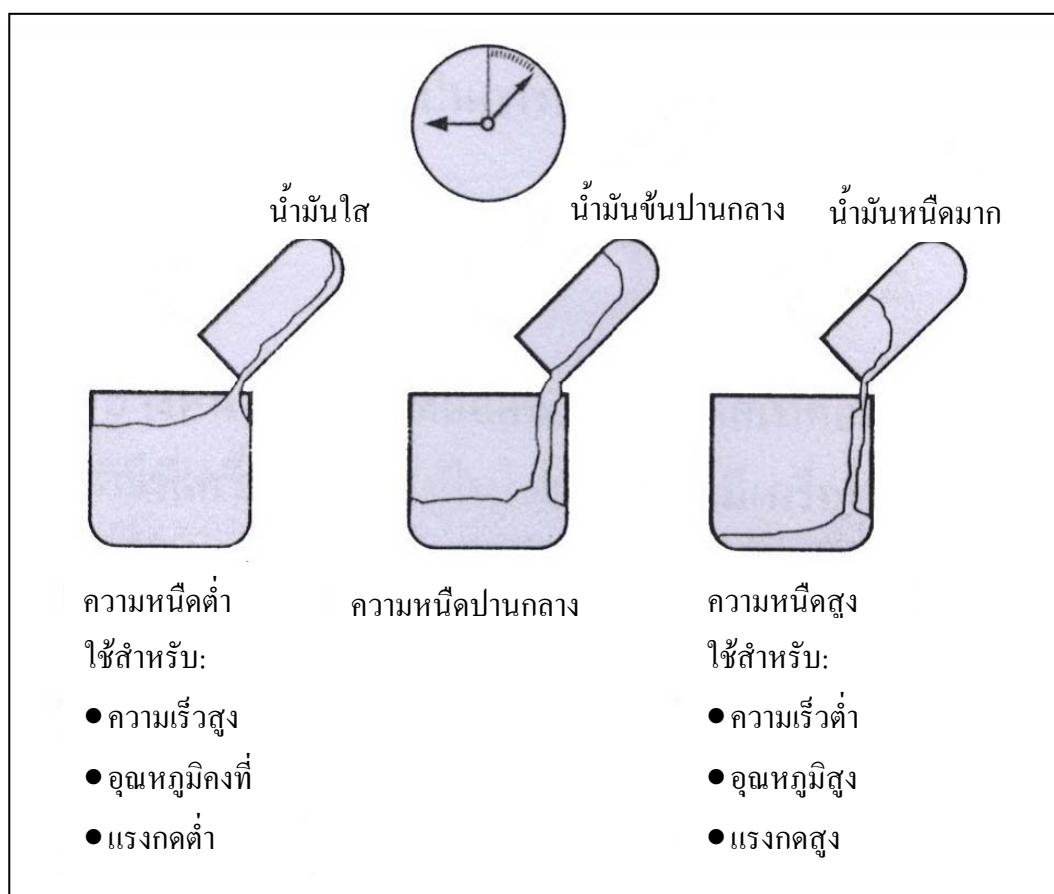
(สุรพล ราษฎร์นุ้ย, 2545) องค์ประกอบซึ่งเป็นหน้าที่หลักประการสำคัญของสารหล่อลื่นคือ ลดแรงเสียดทาน (Reduces Friction) ซึ่งมีผลต่อเนื้อคือ เป็นการลดการสึกหรอ (Reduces Wear) ประหยัดพลังงาน (Saves Power) ลดความร้อน (Reduces Heat) และเป็นการช่วยให้เกิดฟิล์มน้ำมันที่รองรับภาระที่ใช้งาน (Load-Carrying Lubricant Film) หน้าที่ที่สำคัญของสารหล่อลื่นยังรวมไปถึง 1) ทำหน้าที่เสมือนสารหล่อเย็นที่นำพาความร้อนออกไป (Carries Away Heat) จากชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ 2) ทำหน้าที่เสมือนซีล (Sealing) ป้องกันสิ่งสกปรกเข้าไปสู่ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ เช่น ในกรณีของจารบี 3) ป้องกันการกัดกร่อนและสนิม (Preventing Corrosion and Rust) ของผิวชิ้นงานที่เป็นเหล็ก 4) ในบางกรณีก็จะทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังเช่นน้ำมันไฮดรอลิกและเนื่องจากว่าสารหล่อลื่นที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญ สิ่งที่สำคัญสูงสุดนั้นคือว่าสารหล่อลื่นต้องถูกออกแบบให้ใช้งานในช่วงการทำงานของเครื่องจักร โดยที่มีการเสียดหรือสึกหรอ และการสูญเสียคุณสมบัติของสารหล่อลื่นให้น้อยที่สุด

2.5.1 คุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ของสารหล่อลื่น

คุณสมบัติที่สำคัญของสารหล่อลื่นประกอบด้วย ค่าความหนืด จุดไหลเท การต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน เป็นต้น

1) ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดถูกให้ความหมายว่า “เป็นการต้านทานต่อการไหล” ซึ่งเป็นคุณสมบัติหลักที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นยิ่งน้ำมันหล่อลื่นมีความสามารถในการต้านทานการไหลมากเท่าใดก็就会有ความหนืดมากเท่านั้น สามารถกล่าวได้ว่าค่าความหนืดเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการไหล (Flow ability) ซึ่งโดยเฉพาะน้ำมันหล่อลื่นปิโตรเลียมนี้ 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 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.9 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกับการใช้งาน (สุรพล ราษฎร์นุ้ย, 2545)

น้ำมันหล่อลื่นที่หนืดมาก ๆ จะถูกใช้กับชิ้นส่วนเครื่องจักรที่เคลื่อนที่ช้า ๆ ภายใต้ภาระสูง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นจะทนทานต่อการถูกบีบดันออกไปจากผิวสัมผัส ส่วนน้ำมันที่มีความหนืดน้อย ๆ จะถูกนำมาใช้กับชิ้นงานที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ๆ ที่ค่าภาระต่ำ (รูปที่ 2.9)

2) การต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation resistance)

น้ำมันหล่อลื่นเป็นส่วนผสมที่ซับซ้อนระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนกับคาร์บอน (ไฮโดรคาร์บอน) เรียกว่าส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอน ส่วนใหญ่แล้วแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ แบนพาราฟินิก แนพทาติก และอะโรมาติก ซึ่งแต่ละแบบจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน นักเคมีมักเรียกน้ำมันปิโตรเลียมฐานแร่ซึ่งส่วนใหญ่เป็น 2 ส่วนหลัก คือ พาราฟินิก และแนพทาติก ว่า “สารหล่อลื่นอิ่มตัว” (saturated) และสำหรับ อะโรมาติกว่าเป็น “สารหล่อลื่นไม่อิ่มตัว” (unsaturated)

สารไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในชั้นหรือระดับเดียวกันจะมีโครงสร้างทางเคมีเหมือนกัน แต่จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปเป็นอย่างมากในแต่ละกลุ่มอาจจะมีสถานะเป็นของแข็ง ของเหลวและก๊าซได้ สถานะที่เป็นของเหลวซึ่งเป็นส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์มากที่สุดและมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไปมากในสถานะต่าง ๆ อาจจะมีผลต่อสมรรถนะในการหล่อลื่น โดยที่ไม่ต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบน้ำมันหล่อลื่นที่จะถูกใช้งานในอนาคต ความร้อนและออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เกิดองค์ประกอบที่ไม่ดีต่อน้ำมันหล่อลื่น กระบวนการดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันและสารประกอบที่เกิดขึ้นก็เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ออกซิเดชันจะเกิดขึ้นช้า ๆ อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น อย่างไรก็ตามการเกิดการปั่นกววนจนเกิดฟอง การฉีดพ่น และการที่เกิดมีค่าอุณหภูมิสูง ๆ โดยเฉพาะจุดที่มีความร้อนสูงเพียงจุดเล็ก ๆ จะส่งผลทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันยิ่งเกิดเร็วขึ้น ทำให้เกิดสารประกอบที่เป็นกรดและทำให้เกิดตะกอนและคราบเหนียว

โดยความเป็นจริงแล้วทุก ๆ 10 องศาเซลเซียส ที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่นที่เกินกว่า 70 องศาเซลเซียส อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า การที่จะลดปฏิกิริยาออกซิเดชันลงนั้นต้องพยายามควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 60 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงเป็นข้อแนะนำให้ใช้น้ำมันหล่อลื่นที่มีความสามารถในการต่อต้านออกซิเดชันกับเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์จและระบบการไหลเวียนน้ำมันหล่อลื่นขนาดใหญ่ ๆ ทั้งนี้เพราะว่าน้ำมันหล่อลื่นจะสามารถทนได้กับระดับอุณหภูมิสูง ๆ ภายในช่วงเวลายาวนานกว่าการใช้ น้ำมันแบบธรรมดา น้ำมันหล่อลื่นดังกล่าวมักมีราคาแพง ทั้งนี้เนื่องจากว่าต้องถูกกลั่นด้วยกรรมวิธีพิเศษและมีการเติมด้วยสารปรุงแต่งที่รู้จักกันในชื่อ Oxidation Inhibitor เพื่อเพิ่มความสามารถในการต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน น้ำมันหล่อลื่นที่มีความสามารถในการต่อต้านออกซิเดชันต่ำนั้นควรถูกเลือกใช้กับการหล่อลื่นในช่วงสั้น ๆ เช่นกรณีการหล่อลื่นแบบใช้แล้วทิ้งไปหรือเมื่อมีการเติมน้ำมันหล่อลื่นลงไปบ่อย ๆ ปกติแล้ว Additive Packages นี้มักรวมอยู่ในน้ำมันที่มี R&O Inhibitor อยู่แล้ว

2.6 การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

สารหล่อลื่นที่ใช้ในเครื่องยนต์หรือในที่นี้จะเรียกว่า น้ำมันหล่อลื่นจากการวิเคราะห์ น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้วและน้ำมันหล่อลื่นที่อยู่ระหว่างการใช้งานจะทำให้ทราบว่า น้ำมันหล่อลื่นยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้หรือไม่และจะทำให้ทราบถึงช่วงเวลาในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ ผลการวิจัยจะบ่งถึงสถานะที่น่าจะทำให้เกิดอันตรายแก่เครื่องยंत्रรวมทั้งระยะเวลาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนถ่าย และทำให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาของความเสียหายที่เกิดขึ้นและทำให้แก้ปัญหาและป้องกันได้อย่างถูกต้อง

2.6.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเครื่องยนต์

(เทอดศักดิ์ ชัยสุริยะพันธ์, 2547) แบ่งตามขั้นตอนได้ดังนี้

1) ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ การสุ่มตัวอย่างจะต้องกระทำขณะเครื่องยนต์ทำงานและมีอุณหภูมิถึงระดับอุณหภูมิการใช้งานของเครื่องยนต์เพื่อให้ น้ำมันหล่อลื่นมีการชะโลมเข้ากับส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์และไหลเวียนไปทั่วระบบหล่อลื่นส่วนขวดพลาสติกที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นควรจะใช้ชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันหล่อลื่น แห้งและสะอาด ฝาปิดขวดจะต้องทำด้วยวัสดุที่ไม่หลุดร่อน (Non shedding material) การเก็บน้ำมันหล่อลื่นลงในขวดพลาสติกจะต้องไม่เก็บจนเต็มขวด เนื่องจากจะต้องมีช่องว่างให้น้ำมันหล่อลื่นไหลผสมตัวของน้ำมันหล่อลื่นเองได้

2) วิธีการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้น เช่น สี กลิ่น ความหนืดและปริมาณน้ำที่ปนในน้ำมันหล่อลื่น ด้วยวิธีการทดสอบเบื้องต้นในภาคสนาม

3) ขั้นตอนในการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่า

(1) หาค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น

(2) หาตัวเลขรวมของความเป็นด่าง (TBN)

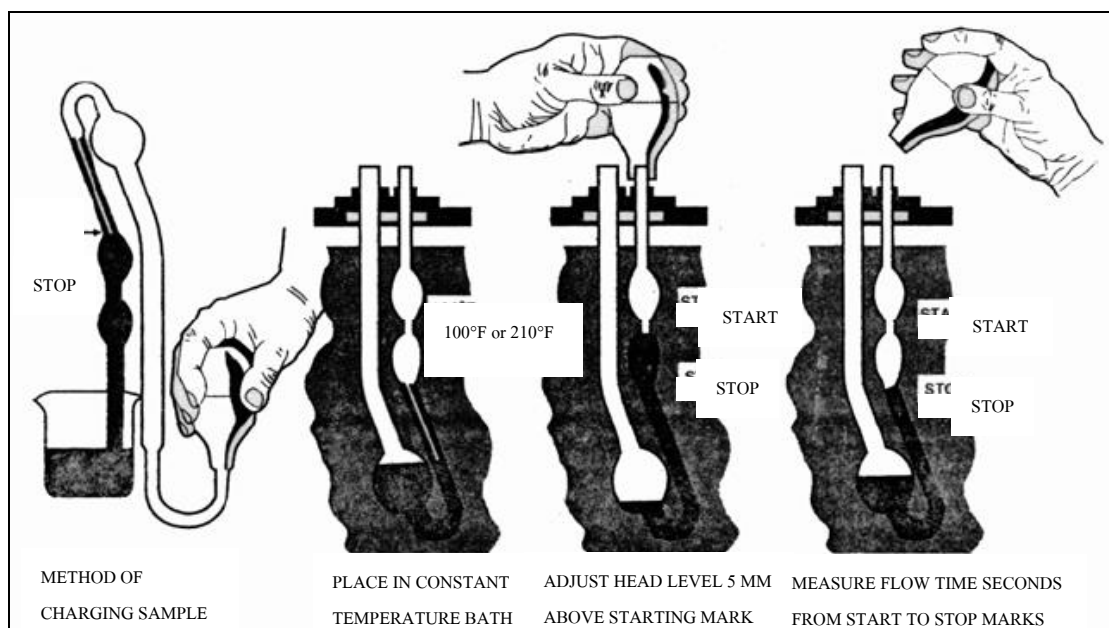
(3) หาค่าปริมาณธาตุกลุ่มที่มาจากกำมะถันหรือและจากสารปรุงแต่งที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่น โดยวิธีสเปกโตรมิเตอร์

(4) หากการเกิดออกซิเดชัน และสารปนเปื้อน โดยวิธี FTIR

(5) หารูปร่างและขนาดของเศษเหล็กโดยเทคนิคเฟอร์โรกราฟี

2.6.2 การทดสอบหาค่าความหนืด

ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นคือการวัดความต้านทานในการไหลของน้ำมันหล่อลื่นนั้น ๆ สำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์จะมีข้อกำหนดจำเพาะมาตรฐานระหว่างประเทศอยู่หลายมาตรฐาน ซึ่งอาจจะต้องทำการวัดค่าความหนืดเพิ่มเติมอีกหลายช่วงอุณหภูมิ เช่นที่ 20 องศาเซลเซียส -10 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส (เช่น กรณีของการกำหนดเกรดน้ำมันของ Society of Automotive Engineers: SAE) แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วสำหรับเครื่องยนต์และเครื่องจักรกลทั่วไปนั้นก็จะทำเฉพาะที่ 40 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส เท่านั้น ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่เปลี่ยนไปนั้นมีผลมาจากหลายองค์ประกอบ ซึ่งอาจจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ตัวอย่างเครื่องมือวัดความหนืดน้ำมันหล่อลื่นแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงเครื่องมือวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น (ASTM D-445) (สุรพล ราชกูร์นุ้ย, 2545)

กรณีที่ความหนืดเพิ่มขึ้น

สำหรับในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์นั้นเมื่อมีคราบสิ่งสกปรกหรือสารประกอบที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นหากมีการปะปนเข้ามาด้วยสิ่งสกปรกแขวนลอยที่เป็นของแข็งในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ก็จะทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มสูงขึ้นเช่น ของแข็งแขวนลอยที่มีปริมาณเกินกว่า 5% โดยน้ำหนัก ในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซลจะทำให้ความหนืดสูงมากและทำให้เกิดปัญหาในการสตาร์ท การอุดตันในไส้กรองและส่งผลต่อการขาดสารหล่อลื่นจนทำให้เครื่องยนต์ชำรุดได้

กรณีที่ความหนืดลดลง

ในกรณีของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์หากมีการเจือจางด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงจะทำให้มีการลดค่าความหนืดของน้ำมันลงเป็นอย่างมากหรือการเกิดการตัดเนื้อตัวของสายโพลีเมอร์ในน้ำมันหล่อลื่นชนิดเกรดรวมในกรณีการใช้งานของเครื่องยนต์หนัก ก็จะมีผลในการที่ทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลงได้เช่นเดียวกัน

2.6.3 ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่าง (TBN)

ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่าง (TBN = Total Base Number) (ASTM D664 ASTM D2896 ASTM IP177 ASTM IP276) ค่า TBN เป็นการวัดค่าความเป็นด่างที่ยังคงมีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเช่น น้ำมันหล่อลื่นในอ่างน้ำมันเครื่อง ซึ่งต้องถูกตรวจสอบและติดตามโดยต่อเนื่อง

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรือเดินทะเลและเครื่องยนต์ เมื่อมีความสงสัยว่าคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง หรือก๊าซธรรมชาติมีคุณภาพไม่ดีหากใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทที่มีค่าปริมาณกำมะถันสูงจะทำให้ค่าความเป็นด่างของน้ำมันถูกทำลายลงไปและจะเป็นอันตรายต่อเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันเครื่องยนต์ ไม่มีความสามารถในการต่อต้านกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสันดาปภายใน ในกรณีของ น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ค่ารวมความเป็นด่างระหว่างการใช้งานนั้นค่าของตัวเลขรวมความเป็นด่าง จะมีการลดระดับลงแสดงให้เห็นว่าน้ำมันมีความเป็นกรดสูงขึ้นซึ่งจะทำให้สามารถคาดคะเนได้ว่า ควรจะทำการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องยนต์เมื่อใด

2.6.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์

ในการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรมิเตอร์จะสามารถหาธาตุในน้ำมันหล่อลื่นได้อย่างรวดเร็วซึ่งจะทำให้ได้ค่าความแม่นยำอยู่ที่ระดับ $\pm 10\%$ ของค่าที่ระบุเอาไว้ในการทดสอบ ซึ่งจะเป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับการทดสอบโดยทั่วไป

สเปกโตรมิเตอร์จะถูกนำมาไปใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาค่าโลหะจาก สารปรุงแต่ง (Additives) ได้แก่ แบเรียม แคลเซียม สังกะสี ฟอสฟอรัส โบรอน และโลหะหรือธาตุ ที่มาจากการสึกหรอ (Wear Metals) จะสามารถวิเคราะห์หาค่าธาตุซึ่งธาตุเหล่านั้น ได้แก่ เหล็ก อลูมิเนียมและทองแดง ซึ่งการสรุปความหมายจากปริมาณที่วิเคราะห์ได้มีดังนี้

หากพบปริมาณเหล็กในระดับสูง ๆ ย่อมเป็นสิ่งที่แสดงว่ามีระดับการสึกหรอของ แหวนลูกสูบและปลอกแหวนและหากมีระดับของค่าเหล็กมีค่าสูงเกินกว่า 600 ppm ซึ่งจะทำให้เกิด อันตรายต่อชิ้นส่วนในระดับการทำงานปกติ หากพบปริมาณอลูมิเนียมในระดับสูง ๆ ย่อมเป็นสิ่งที่ แสดงว่ามีระดับการสึกหรอของลูกสูบและหากมีค่าของอลูมิเนียมเกินกว่า 75 ppm จะทำให้เกิด อันตรายต่อชิ้นส่วนในระดับการทำงานปกติ หากพบปริมาณทองแดงในระดับสูง ๆ ย่อมเป็นสิ่งที่ แสดงว่ามีระดับการสึกหรอของแบร็งก์ที่มีส่วนผสมของทองแดงและตะกั่ว และหากมีค่าของ ทองแดงและตะกั่วที่สูงกว่า 75 ppm ถือได้ว่าการสึกหรออยู่ในระดับค่อนข้างที่จะเป็นอันตรายต่อ ชิ้นส่วนส่วนปริมาณของตะกั่วในน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ดีเซลควรจะมีค่าต่ำกว่า 25 ppm

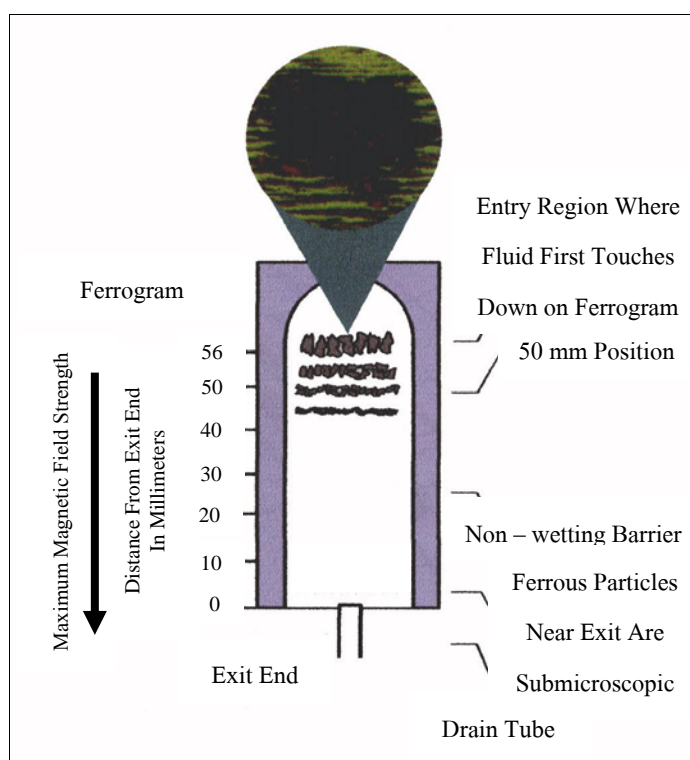
2.6.5 การวิเคราะห์ด้วยวิธีเฟอร์โรกราฟี (Ferrogaphy)

เทคนิคเฟอร์โรกราฟี เป็นหลักในการวิเคราะห์เศษโลหะ (โดยเฉพาะที่เป็นเหล็ก หรือวัสดุที่แม่เหล็กดูดได้) ที่ปะปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น วิธีการนี้สามารถใช้เพื่อระบุ แยกแยะ และ วิเคราะห์เศษโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่นไปแล้ว โดยหลักการของการใช้อ่านจ สนามแม่เหล็กดูดเศษเหล็กจากลำการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ไหลผ่านสไลด์

โดยเศษเหล็กจะถูกแยกออกด้วยสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะเรียงตัวตามขนาดใหญ่ ไปหาเล็กและมีแนวโน้มการวางตัวตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก ซึ่งเศษโลหะที่มีขนาดใหญ่จะ เกาะติดบนแผ่นสไลด์ก่อนและไล่เรียงขนาดจนถึงขนาดเล็กที่สุดตรงปลายของแผ่นสไลด์ดังแสดง

ในรูปที่ 2.11 การวิเคราะห์ขั้นต่อไปคือการนำแผ่นสไลด์มาส่องโดยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อการศึกษาถึงขนาดและรูปร่างของเศษโลหะ ทำให้ทราบถึงระดับความรุนแรงของการสึกหรอ จากขนาดของอนุภาคและกลไกการสึกหรอเช่น การสึกหรอแบบยึดติด แบบขูดขีด แบบล้าตัว หรือแบบการกัดกร่อน เป็นต้น

เฟอร์โรกราฟฟีเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่ย่างและรวดเร็วในการแยกเอาเศษอนุภาค การสึกหรอออกจากร้ำมันหล่อลื่น อนุภาคการสึกหรอจากกลไกการสึกหรอชนิดต่าง ๆ จะมีคุณลักษณะหรือรูปร่างเฉพาะตัวจึงสามารถที่จะระบุได้ว่าเป็นกลไกการสึกหรอประเภทใด เช่น



รูปที่ 2.11 แสดงแผ่นสไลด์ที่ใช้ในกระบวนการเฟอร์โรแกรม (Focus Laboratories Ltd., 2546)

- ก. กรณีที่อนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการขัดถูหรือการยึดติด (rubbing and adhesive wear) จะมีลักษณะรูปร่างเป็นแผ่น ๆ ซึ่งจะบอกให้ทราบว่าเป็นสภาวะปกติของเครื่องยนต์
- ข. กรณีที่อนุภาคการสึกหรอจากการมีกลไกการขูดขีดแบบเป็นร่องหรือการขูดตัด (Abrasive or cutting wear) จะทำให้เกิดอนุภาคสึกหรอที่มีรูปร่างเป็นขีดหรือเส้นเหมือนเส้นด้าย ซึ่งจะบอกให้ทราบว่าเป็นสภาวะของการสึกหรอของเครื่องยนต์

ค. กรณีที่อนุภาคการสึกหรอจากลักษณะของเศษโลหะที่มีรูปร่างเป็นเส้นด้ายเพิ่มขึ้นมาก ๆ ก็แสดงว่าเครื่องยนต์จะมีโอกาสชำรุดใกล้เข้ามาแล้ว

1) การวิเคราะห์อนุภาคการสึกหรอ (wear particle analysis)

การตรวจสอบอนุภาคจากการสึกหรอแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

(1) ตรวจสอบขนาดของอนุภาค

อนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นเนื่องจากกลไกการสึกหรอชนิดต่าง ๆ กันจะมีขนาดที่แตกต่างกันไป ขนาดที่แตกต่างกันนี้พอที่จะนำมาเป็นข้อวินิจฉัยในการประเมินสภาพของเครื่องยนต์ได้

(2) ตรวจสอบรูปร่างของอนุภาค

รูปร่างของอนุภาคการสึกหรอจะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการบ่งชี้ให้เห็นถึงกลไกการสึกหรอ ซึ่งกลไกการสึกหรอที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดอนุภาคการสึกหรอที่แตกต่างกันไป

(3) ตรวจสอบการกระจายทางสถิติของขนาดของอนุภาคการสึกหรอ

การศึกษาถึงลักษณะของ particle size distribution ซึ่งถือได้ว่าเป็นความสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาอนุภาคการสึกหรอและการกระจายตัวของขนาดของอนุภาคการสึกหรอ ก็ถือได้ว่าเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

(4) ตรวจสอบองค์ประกอบของอนุภาค

การตรวจสอบองค์ประกอบของอนุภาคการสึกหรอนั้นนับได้ว่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่ทำให้ได้ทราบว่าอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนใดของเครื่องยนต์สึกหรอบ้าง

2) การศึกษาอนุภาคการสึกหรอเชิงจุลภาค (wear particle microscopic examination)

(1) การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) ใช้ในการตรวจตัวอย่างของอนุภาคการสึกหรอที่เก็บตัวอย่างสารหล่อลื่นที่สู่มมาจากเครื่องยนต์

(2) การศึกษาด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM) เหตุผลที่ใช้กล้องชนิดนี้มาแทนกล้องจุลทรรศน์ชนิดธรรมดาเนื่องจากกล้องจุลทรรศน์โดยทั่วไปจะมีจุดด้อยตรงที่ไม่สามารถให้กำลังขยายที่สูงมาก ๆ ได้และยังไม่สามารถที่จะขยายภาพเพื่อศึกษา ณ จุดใด ๆ ที่ต้องการได้อย่างชัดเจนเท่าที่ต้องการ

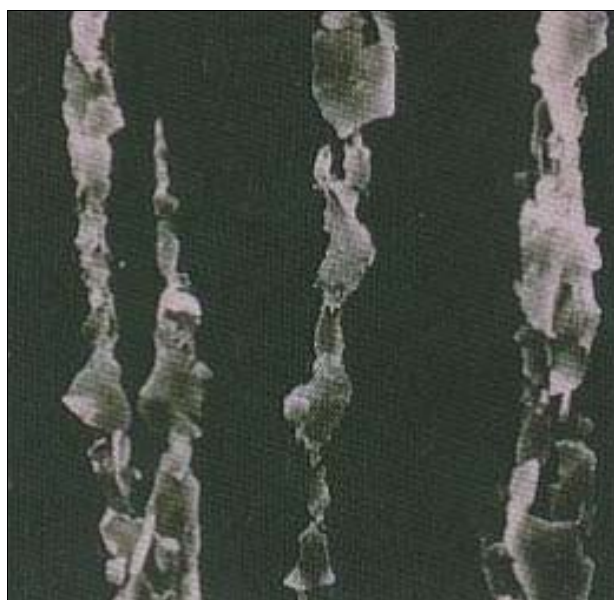
(3) การศึกษาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (image analysis) ซึ่งนับได้ว่าการศึกษานี้เป็นการรวมเอาเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีด้านการใช้กล้องจุลทรรศน์เข้าด้วยกัน เช่นจะตรวจตัวอย่างอนุภาคการสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์และจะถ่ายทอดสัญญาณภาพไปยังคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมในการวิเคราะห์ผล

3) ชนิดของอนุภาคการสึกหรอ

ชนิดอนุภาคการสึกหรอแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิดดังนี้

(1) การเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ (rubbing wear particle)

อนุภาคจะมีลักษณะอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความหนาที่มีค่าสูง ซึ่งถือได้ว่าเป็นการสึกหรอที่น้อยมาก อนุภาคโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่า 15 ไมครอน หากระบบหล่อลื่นเกิดความสกปรกจะทำให้เกิดการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะโดยจะทำให้ อัตราการเกิดเพิ่มอย่างทันทีทันใด อาจจะอยู่ในรูปของขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้นในบางครั้งอนุภาค ที่โตกว่า 100 ไมครอนซึ่งถือได้ว่าเป็นอนุภาคการสึกหรอชนิดที่เกิดขึ้นสำหรับเครื่องจักรที่มีการหล่อลื่นด้วยน้ำมันหล่อลื่นดังรูปที่ 2.12



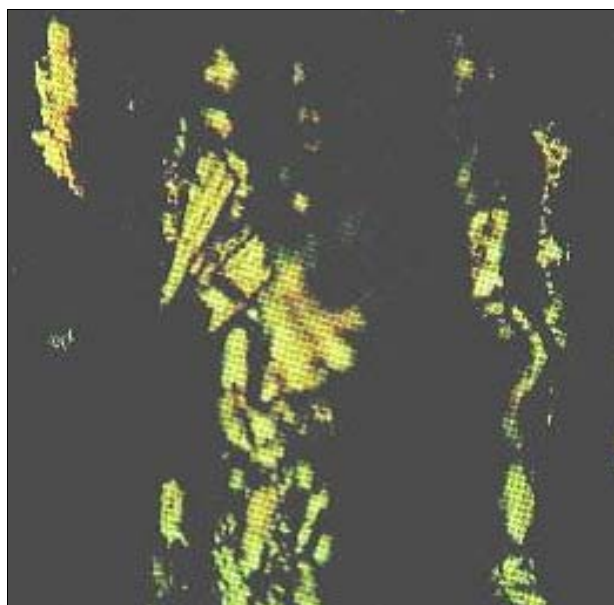
รูปที่ 2.12 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ

(Focus Laboratories Ltd., 2546)

(2) การสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีรุนแรงในเครื่องจักร (Severe Sliding Wear Particle)

ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใช้ภาระที่สูงเกินไป การใช้ความเร็วที่สูงเกินไป การขาดสารหล่อลื่นซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการยึดติดของวัสดุ อนุภาคการสึกหรอแบบนี้จะมีขนาดโตกว่า 100 ไมครอน หากเครื่องจักรทำงานภายใต้สภาวะที่รับภาระมากเกินไป ความเร็วในการเสียดสีเพิ่มขึ้น และหากระบบการหล่อลื่นที่ไม่ดี อนุภาคจะมีขนาดโต

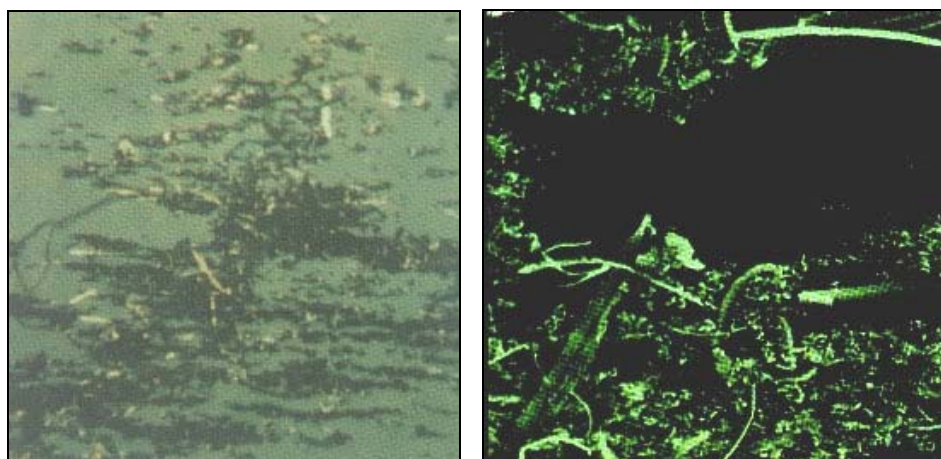
กว่าอนุภาคของการเสียดสีของโลหะกับโลหะซึ่งมีขนาดโตกว่า 20 ไมครอน อนุภาคที่เกิดขึ้นจะเป็น สิ้นน้ำเงิน สิ้นน้ำตาล สาเหตุที่เกิดเป็นสิ้นน้ำเงินและสิ้นน้ำตาลเนื่องมาจากความร้อนที่มากเกินไปจึงทำให้ สีสของอนุภาคจะเริ่มเปลี่ยนจากสีฟ้าขาวไปเป็นสิ้นน้ำตาลและกลายเป็นสิ้นน้ำเงิน



รูปที่ 2.13 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสมดุในเครื่องจักร
(Severe Sliding Wear Particle) (Focus Laboratories Ltd., 2546)

(3) อนุภาคการสึกหรอจากการขูดขีดของเศษโลหะ (Cutting Wear Particles)

เป็นผลสืบเนื่องมาจากที่มีการสึกหรอแบบ Abrasive ซึ่งทำให้เกิดอนุภาค การสึกหรอที่มีลักษณะเป็นเส้นคล้ายเศษกึ่งเกิดจากผิวถูกการทะลุผ่าน การถูด้วยวัสดุคล้ายคันไถ หรืออาจถูกตัดด้วยสิ่งหนึ่งทำให้เกิดค่าความแข็งที่แตกต่างกัน อนุภาคจะมีความยาวเฉลี่ยตั้งแต่ 5 ไมครอนจนถึงความยาวมากกว่า 100 ไมครอน และมีความกว้างเฉลี่ยตั้งแต่ 2 ไมครอนจนถึง 15 ไมครอน ดังรูปที่ 2.14 อนุภาคจะมีสีที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน สีที่เกิดได้แก่ น้ำเงิน แดง และสีฟ้า ซึ่งอนุภาคชนิดนี้จะเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงอนุภาคที่ไม่ปกติ และสามารถที่จะบ่งบอกถึง สภาพการชำรุดของเครื่องจักรว่าจะถึงเวลาที่ชำรุดแล้ว



รูปที่ 2.14 แสดงอนุภาคการสึกหรอแบบ Cutting Wear (Focus Laboratories Ltd., 2546)

(4) อนุภาคการสึกหรอจากการล้าที่เกิดกับเฟืองและพื้นที่สัมผัสของ
ตลับลูกปืน (Ferro Fatigue Particle)

ก. อนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง (Gear Fatigue Particle)
 ดังรูปที่ 2.15 แบ่งออกเป็นการกลิ้งและการถูไปบนผิวของฟันเฟือง ซึ่งในตอนแรกอนุภาค
 การสึกหรอที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นผิวเรียบ รูปร่างของอนุภาคจะมีลักษณะที่ผิดปกติโดยมีขอบ
 ที่คม และมีอัตราส่วนของความยาวต่อความหนาประมาณ 10:1 หากความเค้น (Stress) บนผิวสัมผัส
 เพิ่มขึ้นอัตราส่วนของความยาวต่อความหนามจะมีค่าลดลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณการเกิดก่อนอนุภาค
 ลดลงด้วย ซึ่งอนุภาคจะมีขนาดเล็กมากและเป็นการยากที่จะทำการหาจุดโฟกัสในการดูอนุภาค
 ที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์

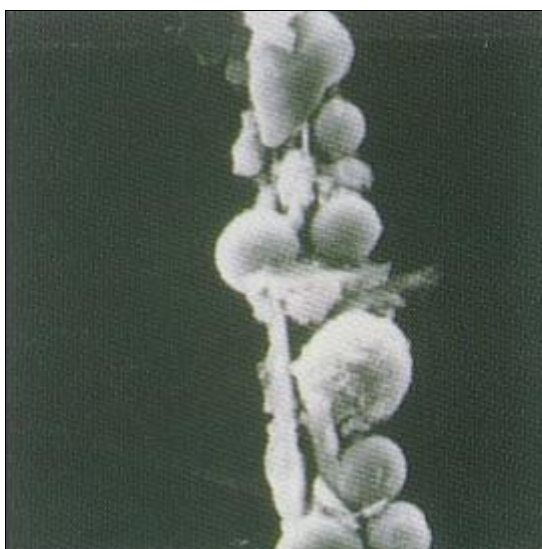


รูปที่ 2.15 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง

(Gear Fatigue Particle) (Focus Laboratories Ltd., 2546)

ข. อนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Rolling Fatigue Wear Particle) ดังรูปที่ 2.16 การล้าตัวของวัสดุจะมีการหลุดร่อนออกมาเป็นอนุภาคการสึกหรอเช่น การเกิดการล้าตัวของเม็ดลูกปืนหรือรางในของเสื่อตลับลูกปืน ซึ่งโดยปกติจะมีขนาดโตกว่า 75 ไมครอน และจะมีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างไป จากอนุภาคการสึกหรอที่ได้กล่าวมาแล้วอนุภาคที่เกิดขึ้นในลักษณะที่แตกต่างกันเช่นอนุภาคทรงกลม อนุภาคที่เป็นชิ้นเล็ก ๆ ซึ่งอนุภาคที่เป็นทรงกลมจะเกิดมาจากความล้าที่เกิดขึ้นภายในตลับลูกปืน แล้วจึงเกิดการแตกออกมาเป็นชิ้นเล็ก ๆ ซึ่งมีขนาดของอนุภาคประมาณ 1 ถึง 10 ไมครอน และจะทำให้ปริมาณของอนุภาคมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงานซึ่งจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกให้รู้ว่าจะเกิดการเสียหายขึ้นในไม่ช้าอนุภาคที่เป็นทรงกลมเกิดขึ้นได้จากการกัดกร่อนเป็นโพรง (Cavitations Erosion) กระบวนการเชื่อม กระบวนการขบกันของเฟือง ซึ่งขนาดของอนุภาคที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการดังกล่าวมาแล้วจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งจะอยู่ในช่วง 10 ถึง 100 ไมครอน อนุภาคการล้าที่มีลักษณะเป็นชิ้นเล็ก ๆ จะหลุดแยกตัวออกมาจากผิวที่เป็นหลุมนั้นจะมีขนาดค่อนข้างโตถึงประมาณ 100 ไมครอน

อนุภาคที่เป็นแผ่นบาง ๆ จะเกิดมาจากช่องว่างระหว่างผิวในของแบร์ริงจะมีขนาดของอนุภาคประมาณไม่เกิน 70 ไมครอน และมีอัตราส่วนของความยาวต่อความหนาประมาณ 40:1



รูปที่ 2.16 แสดงอนุภาคสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Rolling Fatigue Wear Particle)

(Focus Laboratories Ltd., 2546)

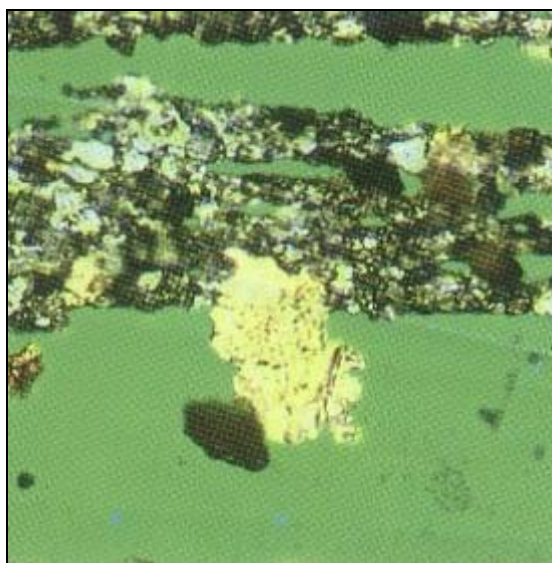
(5) อนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของระบบเกียร์ (Combined Rolling and Sliding Wear Particles)

การที่อนุภาคการสึกหรอแบบนี้มีความแตกต่างจากอนุภาคการสึกหรอแบบอื่น ๆ เนื่องจากเกียร์มีการเคลื่อนที่ทั้งแบบไถลและแบบหมุน (Both Sliding and Rolling Mode)

(6) อนุภาคของโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

ลักษณะการเกิดอนุภาคการสึกหรอจากโลหะที่ไม่ใช่เหล็กนั้นบ่อยครั้งที่มีลักษณะพิเศษคล้ายกับการเกิดอนุภาคของโลหะที่เป็นเหล็ก เช่นการสังเกตเห็นลักษณะเด่นของ Rubbing Wear, Cutting Wear และการเสียดสีกันภายใต้ความเค้นสูง (High Stress Sliding) แต่มีสิ่งหนึ่งที่สามารถทำการแยกแยะให้เห็นได้อย่างชัดเจนสำหรับอนุภาคของโลหะที่ไม่ใช่เหล็กคือสีของอนุภาค

ก. อนุภาคของทองแดง แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคของทองแดงจะเป็นสีชมพู ซึ่งขนาดของอนุภาคจะอยู่ในช่วง 2 ถึง 100 ไมครอน และรูปร่างของอนุภาคการสึกหรอจะขึ้นอยู่กับวิธีการเกิดอนุภาค ดังรูปที่ 2.17 ในบางครั้งอนุภาคของทองแดงจะพบว่าเชื่อมติดกับวัสดุทั้งสองที่สัมผัสกัน



รูปที่ 2.17 แสดงอนุภาคการตีกรอของทองแดง (Focus Laboratories Ltd., 2546)

ข. อนุภาคของทองเหลือง หรืออาจเรียกว่าทองสัมฤทธิ์ (Bronze) แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคทองเหลืองจะเป็นสีเหลืองทอง ส่วนอนุภาคของทองสัมฤทธิ์สีจะมีคกว่าเป็นสีเหลือง-ชมพู

ค. อนุภาคโครเมียม แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคจะเป็นสีเงิน โดยปกติแล้วอนุภาคที่เกิดขึ้นจะมีผิวเรียบ และจะมีขนาดของอนุภาคที่ต่ำกว่า 50 ไมครอน

ง. อนุภาคของนิกเกิล จะมีลักษณะคล้ายกับอนุภาคของโครเมียม แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคจะมีสีเงิน แต่เนื่องจากอนุภาคของนิกเกิลมีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก ฉะนั้นเราจึงพบอนุภาคของนิกเกิลในวงแหวนของแบร์ริง

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

(7) อนุภาคการตีกรอจากวัสดุอื่น ๆ

อนุภาคการตีกรอจากวัสดุอื่น ๆ เช่นออกไซด์ของโลหะผลึกที่ไม่ใช่โลหะและโลหะอสัณฐาน ซึ่งคุณสมบัติและลักษณะอนุภาคได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของอนุภาคการสึกหรอจากวัสดุชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โลหะ และ
 โลหะอสังฐาน (เทอดศักดิ์ ชัยสุริยะพันธ์, 2547)

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
วัสดุโพลีเมอร์ (Polymer Material)	แสงสะท้อนเป็นสีครีม/ น้ำตาลบนฉากรองรับ สีขาว	เกิดสีอย่างขนสัตว์บน ฉากรองรับสีเทา	แสงสีขนสัตว์บนฉาก รองรับสีดำ

2.6.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) (Robinson, N., 2004)

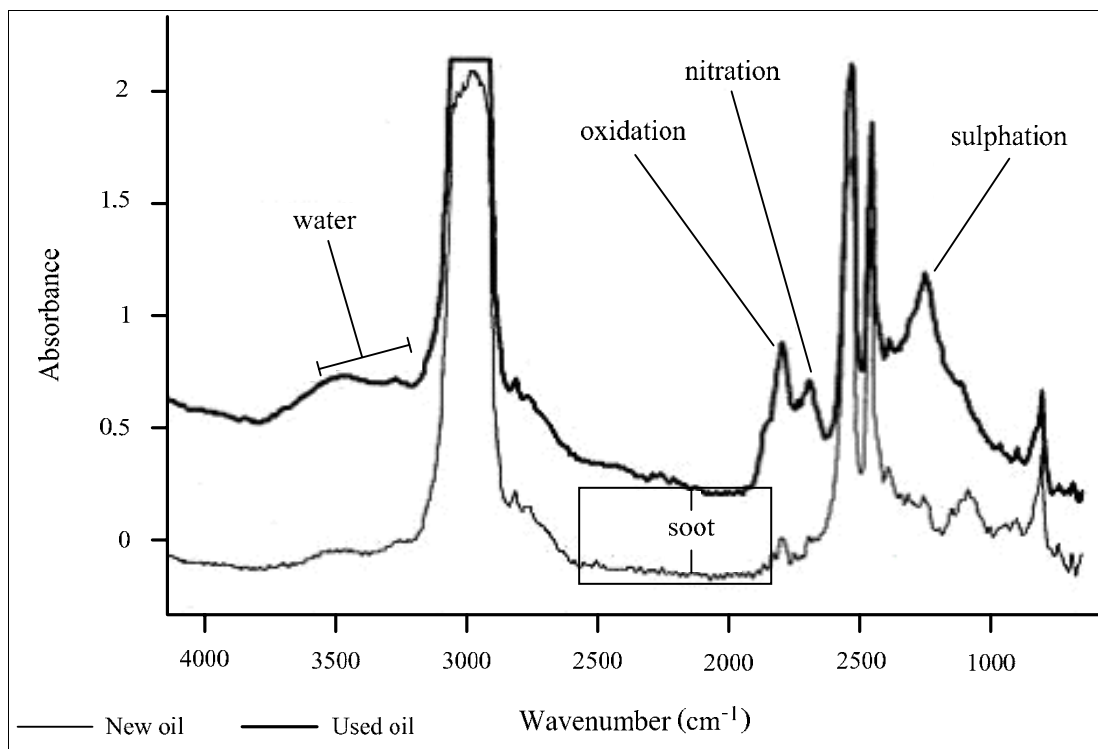
การวิเคราะห์ FTIR เป็นการวิเคราะห์ในระดับโมเลกุล เป็นวิธีการที่ใช้หาปริมาณขององค์ประกอบต่าง ๆ ของน้ำมันหล่อลื่นได้อย่างรวดเร็วเพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพน้ำมันหลัก สภาพสารเคมีเพิ่มคุณภาพ และสิ่งสกปรกปนเปื้อนโดยให้ค่าที่แม่นยำและเชื่อถือได้ หลักการในการวัดจะทำการผ่านรังสีอินฟราเรดซึ่งมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.00008 เซนติเมตรถึง 0.04 เซนติเมตร ไปยังน้ำมันหล่อลื่นที่จะทำการทดสอบ ส่วนประกอบของน้ำมันที่เป็นสารประกอบต่าง ๆ ก็จะดูดซับปริมาณรังสีในช่วงความถี่จำเพาะที่ต่างกันไว้ เนื่องจากแต่ละพันธะในโมเลกุลจะดูดซับรังสีในช่วงความถี่ที่ต่างกัน ผลที่ได้จะแสดงในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับรังสี (Abs) กับส่วนกลับของความยาวคลื่น (Wave Number, cm^{-1}) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ดังแสดงในรูปแบบที่ 2.18

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR

1) ค่าออกซิเดชัน

ในระบบหล่อลื่นสารอินทรีย์จะเกิดการแยกตัวที่สภาวะอุณหภูมิและความดันที่สูงประกอบกับการมีออกซิเจนอยู่บริเวณรอบ ในกระบวนการ FTIR จะหาค่าออกซิเดชันจาก

พันธะคาร์บอนิล (Carbonyl) ซึ่งมีช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดระหว่าง 1,800 ถึง 1,670 เซนติเมตร⁻¹



รูปที่ 2.18 แสดงปริมาณการดูดซับรังสีอินฟราเรดในแต่ละช่วงความถี่ของน้ำมันหล่อลื่น
(Robinson, N., 2004)

2) ค่าไนโตรเจน

ลักษณะการเกิดไนโตรเจนจะเกิดที่สภาวะอุณหภูมิและความดันที่สูง เช่นเดียวกับการเกิดออกซิเดชันประกอบกับการมีไนโตรเจนและออกซิเจนอยู่บริเวณรอบ โดยทั่วไปการเกิดไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของ NO, NO₂ และ N₂O₄ ซึ่งมีช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดระหว่าง 1,650 ถึง 1,600 เซนติเมตร⁻¹ การเกิดไนโตรเจนเป็นสาเหตุทำให้เกิดคราบยางเหนียวและ Lacquer สาเหตุของการเกิดไนโตรเจนมาจากการปรับอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่ออากาศที่ไม่ถูกต้อง การปรับจังหวะการจุดระเบิดที่ไม่เหมาะสม หรือมาจากสภาวะการทำงานที่ภาระสูง ซึ่งจะทำให้เกิดอุณหภูมิการทำงานและปริมาณ blow-by ที่สูงตามไปด้วย

3) ค่าซัลเฟชัน

เกิดจากกำมะถัน (Sulphur) ซึ่งพบได้ในน้ำมันเชื้อเพลิง และอาจพบได้ในสารเติมแต่งบางชนิดในน้ำมันหล่อลื่น การเกิดซัลเฟชันจะอยู่ในรูปของ SO_3 และ SO_2 ซึ่งช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดอยู่ระหว่าง 1,180 ถึง 1,120 เซนติเมตร⁻¹ การเกิดซัลเฟชันจะทำให้เกิดคราบยางเหนียว กากตะกอน และทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมคุณภาพลง นอกจากนี้สารประกอบที่เกิดขึ้นยังสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งเกิดระหว่างการเผาไหม้กลายเป็นกรดซัลฟูริกซึ่งจะทำลายการรวมตัวของสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น

4) ปริมาณเขม่า

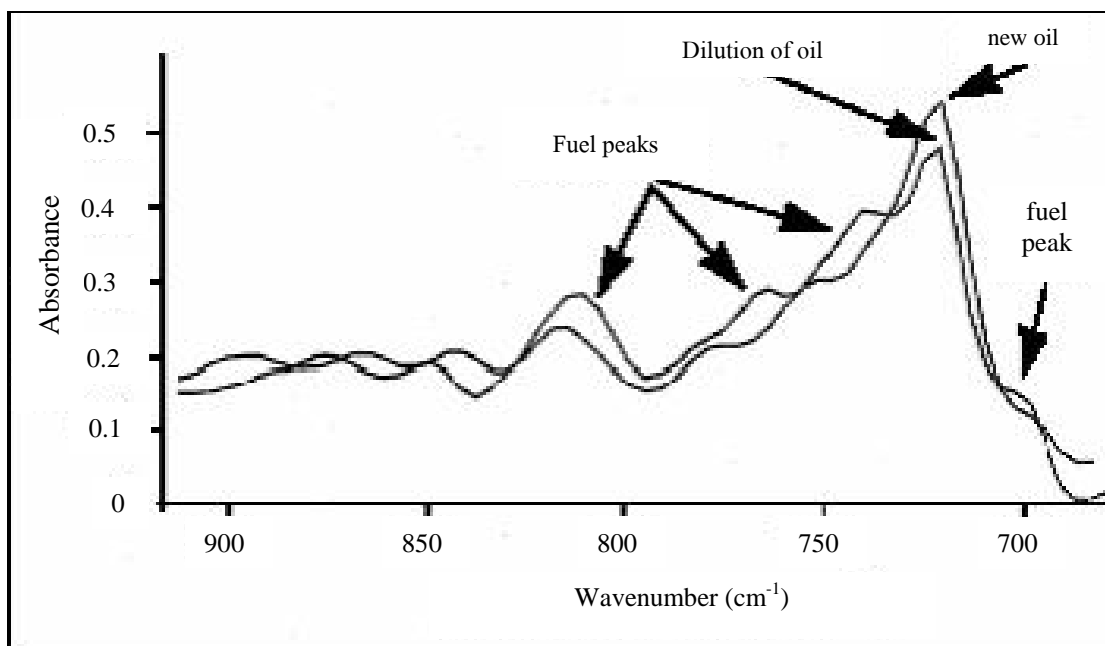
เขม่าเกิดจากอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศมีค่าสูง การเพิ่มปริมาณของเขม่าในน้ำมันหล่อลื่นแสดงให้เห็นถึงปัญหาจากการเผาไหม้ หรือช่วงเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องและไส้กรองที่นานเกินไป ปริมาณเขม่าที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดและทำให้เกิดการอุดตันที่ไส้กรองและอ่างน้ำมันหล่อลื่น

การวิเคราะห์ปริมาณเขม่าจะต่างจากวิธีที่ได้กล่าวมาข้างต้นซึ่งใช้เทคนิคการหาพื้นที่ใต้กราฟ เนื่องจากเขม่าจะไม่มีช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดที่แน่นอน ดังนั้นเพื่อให้สะดวกต่อการวัดจึงทำการวัดปริมาณการดูดซับที่ความถี่ 2,000 เซนติเมตร⁻¹

5) ปริมาณเชื้อเพลิง

ปริมาณเชื้อเพลิงที่พบในน้ำมันหล่อลื่นมีสาเหตุมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากเชื้อเพลิงทั่วไปจะประกอบด้วยโมเลกุลของของสารประกอบมากมาย ทั้งสารประกอบแอลิแฟติกเช่น ออกเทน และสารประกอบอโรมาติกเช่น เบนซีน และอีกมารวมกันเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันเชื้อเพลิง

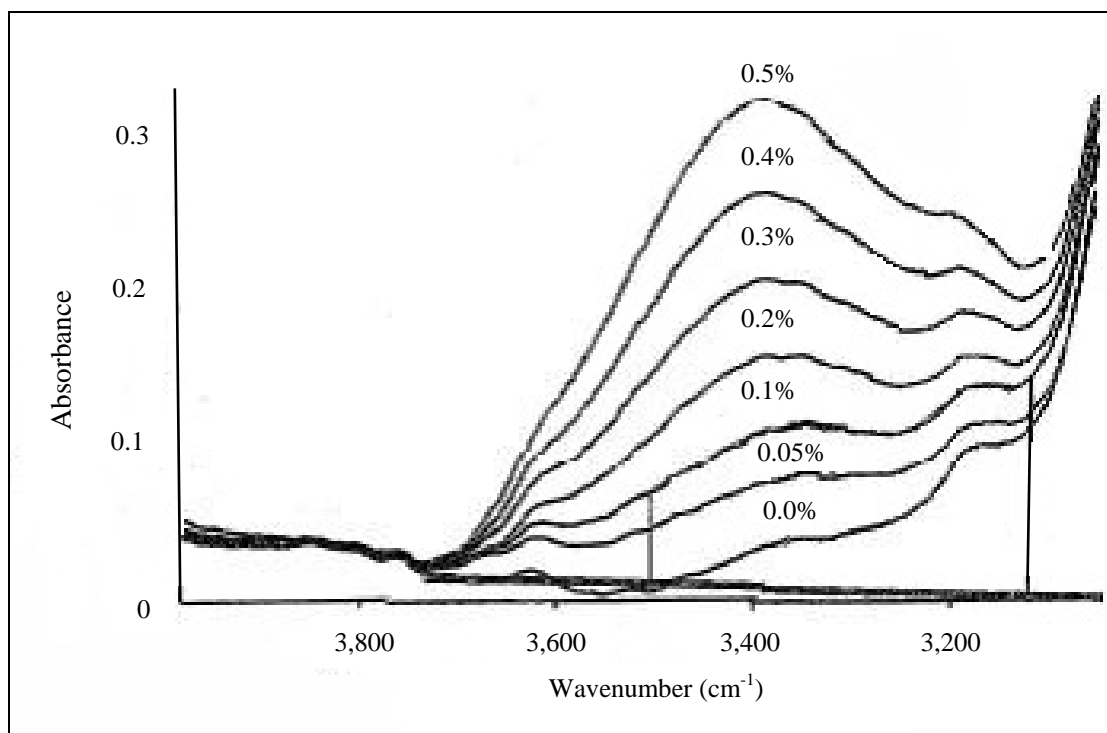
การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อเพลิงที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น ด้วยวิธี FTIR สามารถทำได้โดยหาช่วงความถี่ของการดูดซับในแต่ละส่วนประกอบของเชื้อเพลิงแล้วนำช่วงความถี่ที่ได้มาเปรียบเทียบกับในช่วงการดูดซับของน้ำมันหล่อลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันเชื้อเพลิงมีหลายช่วงความถี่ตามสารประกอบมากมายที่พบในน้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับของน้ำมันใหม่
กับน้ำมันที่มีเชื้อเพลิงปนเปื้อน (Robinson, N., 2004)

6) ปริมาณน้ำ

ค่า Absorbance ที่พบในน้ำมันหล่อลื่นใช้ในการตรวจสอบการรั่วของน้ำจากระบบหล่อเย็น โดยน้ำจะดูดซับรังสีอินฟราเรดในปริมาณที่มาก ซึ่งทำให้ง่ายต่อการตรวจพบ ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าช่วงความถี่ที่น้ำที่ดูดซับรังสีอินฟราเรดเป็นช่วงที่มีปริมาณการดูดซับรังสีของน้ำมันหล่อลื่นน้อย



รูปที่ 2.20 แสดงช่วงความถี่จำเพาะที่น้ำสามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดได้ (Robinson, N., 2004)

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

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเกี่ยวกับการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบันสืบเนื่องมาจากปริมาณที่น้อยลงและราคาที่สูงขึ้นของน้ำมันดีเซล วิธีที่จะนำน้ำมันพืชมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นทำได้หลายรูปแบบ (Ali, Y., and Hanna, M.A., 1994) โดยวิธีหลักที่นิยมใช้มี 4 วิธี คือ 1) การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรง 2) การลดความหนืดของน้ำมันพืชโดยการผสมตัวทำละลายเช่น น้ำมันดีเซล เอทานอล (Micro-emulsification) 3) การแปลงโมเลกุลของไขมันในน้ำมันพืชให้เป็นเอสเตอร์ (Trans esterification) และ 4) การทำให้โมเลกุลแตกตัวเพื่อให้อายุการใช้งานสั้นลงโดยการให้ความร้อนหรือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Cracking or Pyrolysis) เป็นต้น (Ali, Y., and Hanna, M.A., 1994) การนำมาใช้อาจจะใช้แทนน้ำมันดีเซลทั้งหมดหรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลเพียงบางส่วน (Diesel Extender or Blending) ส่วนชนิดของพืชน้ำมันที่นำมาใช้ในการศึกษานั้นจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของพืชเศรษฐกิจที่เป็นพืชน้ำมันของแต่ละท้องถิ่น ภูมิภาคเช่น การใช้น้ำมันจากถั่วเหลืองในสหรัฐอเมริกาเช่นงานวิจัยของ Pryor, R.W., Hanna,

M.A., Schinstock, J.L., and Bashford., L.L. ได้ทำการทดสอบสมรรถนะทั้งในช่วงระยะเวลาสั้น และระยะเวลายาวในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กจากการใช้น้ำมันถั่วเหลือง 100% การใช้น้ำมันจากเมล็ดเรปในประเทศทางแถบยุโรปเช่น งานวิจัยของ Norbert, H., Volker K., and Herwig (1991) จากศูนย์วิจัยและพัฒนาเพอร์เซ่ได้ทำการวิจัยถึงสมรรถนะ มลภาวะ และการทดสอบความทนทานกับเครื่องยนต์ดีเซล 6 เครื่องในแต่ละชนิดและขนาดโดยการใช้้ำมันจากเมล็ดเรป 100% ในขณะที่ประเทศทางเขตร้อนรวมทั้งประเทศไทยนิยมนำน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าวมาใช้ในการศึกษา เป็นต้น

การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อนคือใช้แทนน้ำมันดีเซลทั้งหมด (น้ำมันพืช 100%) แต่ปัญหาที่พบถูกรวบรวมโดย Jones, S., and Charles, L. (2003) ประกอบด้วยการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เกิดเขม่าและคราบทำให้หัวฉีดเกิดการอุดตัน แหวนลูกสูบติดเนื่องมาจากคราบและไข (Wax and Gum) หลังวาล์วและบ่าวาล์วมีปริมาณคาร์บอนตกค้างเป็นจำนวนมากทำให้เกิดปัญหา วาล์วรั่วทำให้กำลังอัดของเครื่องยนต์ลดลงและยังเกิดปัญหาคราบของน้ำมันพืชที่เกิดการ ออกซิเดชันซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายกับเครื่องยนต์ได้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าววิธีการนำ น้ำมันพืชมาใช้อาจเป็นการผสมน้ำมันพืชเป็นเพียงบางส่วนเข้ากับน้ำมันดีเซล น้ำมันพืชที่จะนำมาผสมนั้นสามารถใช้ได้จากหลายวิธีดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นวิธีที่ง่ายที่สุดและน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับพื้นที่ที่ต้องการนำน้ำมันพืชมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลเป็นเพียงบางส่วนโดยที่ไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีในการผลิตก็คือ การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่เหมาะสมซึ่งนำมาสู่ที่มาของการศึกษาวิจัยนี้

การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่เหมาะสมเช่นในงานวิจัยของ Ziejewski, M., and Goettler., H.J. (1996) ได้นำน้ำมัน high oleic sunflower 25% มาผสมกับน้ำมันดีเซล 75% และน้ำมัน high oleic safflower 25% ผสมกับน้ำมันดีเซล 75% มาใช้กับเครื่องยนต์ Petter AC2 แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง โดยทดสอบความทนทานตามมาตรฐาน EMA เป็นระยะเวลา 200 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนตกค้างภายหลังการทดสอบที่ 200 ชั่วโมง และวัดปริมาณมลภาวะระหว่างทดสอบความทนทานซึ่งไม่พบการเพิ่มขึ้นของค่ามลภาวะตลอดการทดสอบ และไม่พบความแตกต่างที่สำคัญของคราบคาร์บอนตกค้างในเครื่องยนต์ของทั้งสองเชื้อเพลิง เมื่อเทียบกับปริมาณที่พบจากการใช้น้ำมันดีเซล และในงานวิจัยของ Engelman, H.W., Guenther, D.A., and Silvis, T.W. (1978) ได้นำน้ำมันถั่วเหลืองตั้งแต่ 10% ถึง 50% มาผสมกับน้ำมันดีเซล โดยหลังจากทดสอบที่ 50 ชั่วโมง พบคาร์บอนตกค้างในห้องเผาไหม้เล็กน้อย ค่า bsfc และกำลังที่ได้ต่างจากการใช้น้ำมันดีเซล 100% เล็กน้อย และพบว่าเมื่อผสมน้ำมันถั่วเหลืองที่สูงกว่า 60% เครื่องยนต์จะเกิดอาการสะดุดเดินไม่เรียบ ซึ่งมีสาเหตุมาจากไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดการอุดตันจากรายงานของ Jones, S., and Charles, L. (2003) สรุปได้ว่า

จากงานวิจัยส่วนมากการผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลในปริมาณที่มากจะทำให้เกิดปัญหาระหว่างการทดสอบที่ระยะเวลานาน และพบว่า การผสมน้ำมันพืชในอัตราส่วนที่ไม่เกิน 20% สามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ได้โดยไม่เกิดปัญหาระหว่างการทดสอบที่ระยะเวลานาน

ส่วนการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้ในเครื่องยนต์พบมากในประเทศมาเลเซีย โดยในปี 2544 ได้มีรายงานผลการวิจัยการใช้ น้ำมันปาล์มดิบผสมน้ำมันก๊าดในประเทศมาเลเซีย โดย Lim, T.H. (2001) ได้นำน้ำมันปาล์มดิบเก้าสิบเปอร์เซ็นต์ผสมกับน้ำมันก๊าดสิบเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเพื่อลดปัญหาเรื่องค่าความหนืดของเชื้อเพลิง โดยการผสมน้ำมันก๊าดเข้ากับน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการละลายอนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบ ผลการวิจัยพบว่าสมรรถนะของน้ำมันผสมมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่พบว่ามีคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซล 43% และไนโตรเจนออกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซล 7% นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันที่ถูกผสมมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่าและสมรรถนะที่ดีกว่าน้ำมันปาล์มดิบ 100% และค่ามลพิษที่ปล่อยออกมาดีกว่า โดยมีค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำกว่า 19% และค่าไนโตรเจนออกไซด์ต่ำกว่า 19% นอกจากนี้ Bari, S., Lim, T.H., and Yu, C.W., (2002) ได้ทำการทดลองโดยทำการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบผสมให้ร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตันของระบบจ่ายน้ำมันซึ่งการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบให้มีอุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส โดยนักวิจัยกลุ่มนี้ได้รายงานว่าการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิดังกล่าวไม่ได้ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์และไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีขึ้นกว่าเดิม เพียงแต่ช่วยให้ น้ำมันในระบบไหลดีขึ้น ไม่มีการติดขัดเมื่อทำการอุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไปและไม่ควรเกิน 97 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดที่เชื้อเพลิงเริ่มเกิดฟองอากาศซึ่งนักวิจัยกลุ่มดังกล่าว Bari, S., Yu, C.W., and Lim, T.H. (2002) ยังได้ทำการศึกษาต่อไปโดยการเดินเครื่องยนต์เป็นเวลา 500 ชั่วโมง โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ถูกอุ่นที่อุณหภูมิ 92 องศาเซลเซียส เป็นเชื้อเพลิง โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ยี่ห้อรุ่น L60AE-D พบว่าหลังการทดสอบค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ลดลงไปถึง 20% และค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นถึง 26% นอกจากนี้ยังได้มีการถอดเครื่องยนต์ออกเพื่อทำการตรวจสอบ พบว่ามีถ่านเกาะอยู่ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เป็นจำนวนมากและคราบของถ่านเกาะที่วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย และนอกจากนี้ยังพบร่องรอยการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับแหวนของลูกสูบ เข็มในหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและวาล์วส่งน้ำมันในปั๊มเชื้อเพลิง นักวิจัยได้ทำการหาสาเหตุของการที่สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลง โดยการนำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่มีปัญหาไปใส่ในเครื่องยนต์ใหม่ที่ละส่วน และพบว่า การที่มีถ่านเกาะที่ก้านและบ่าของวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียทำให้วาล์วเกิดการติดขัดเป็นสาเหตุให้เกิดการรั่วในระหว่างช่วงจังหวะอัดและจังหวะระเบิดด้วยปัจจัยนี้เพียงอย่างเดียวส่งผลทำให้กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ลดลงถึง 18% และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นถึง 23% ส่วนงานวิจัยของ Kalam,

M.A., and Masjuki, H.H. (2004) ได้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของมลภาวะ (Emission) และคราบตะกอนตกค้าง (deposit) ของเครื่องยนต์ขนาดเล็กที่ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ (preheated CPO) เป็นเชื้อเพลิง (น้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ผ่านกระบวนการทำให้เป็นเอสเทอร์แล้ว) โดยใช้เครื่องยนต์สูบเดียว ขนาด 1,400 ซีซี ทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,700 รอบต่อนาที ค่าแรงบิด 5.5 นิวตัน-เมตร เป็นระยะเวลา 100 ชั่วโมง ของแต่ละเชื้อเพลิงทดสอบ พบว่าการอุ่นให้น้ำมันปาล์มดิบมีอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ตลอดการใช้งานทำให้ก๊าซไอเสียซึ่งประกอบไปด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารไฮโดรคาร์บอน (HC) มวลสารละออง (PM) มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงซึ่งเป็นผลมาจากการให้ความร้อนกับน้ำมันทำให้ค่าความหนืดลดลงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลช่วยทำให้ลักษณะของการสเปรย์และการแตกตัวเป็นละอองฝอยของน้ำมันปาล์มดิบดีขึ้นส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น แต่อย่างไรก็ดีการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่มีการอุ่นให้ร้อนนี้ทำให้ค่ามลภาวะในส่วนของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีค่าสูงขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากลักษณะของคราบตะกอน (deposit) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่มีการอุ่นให้ร้อนมีสัดส่วนของคราบตะกอนที่เป็นขี้เถ้า (ash) มีมากขึ้นทำให้การระบายความร้อนในห้องเผาไหม้ทำได้แยกลงส่งผลให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงขึ้นจึงเป็นผลให้เกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มากขึ้นตามไปด้วย

ส่วนงานวิจัยในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นมีทั้งที่นำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงและแบบที่ผสมเป็นบางส่วนเข้ากับน้ำมันดีเซล ตัวอย่างของพืชน้ำมันที่มีการศึกษาได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง เป็นต้น น้ำมันพืชที่นำมาใช้นั้นมีทั้งแบบที่เป็นน้ำมันพืชดิบ น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการผลิต เช่นการกรองหรือการสกัดรวมถึงน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการตัดแปลงให้เป็นเอสเทอร์ งานวิจัยส่วนใหญ่ที่เป็นการนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงนั้นจะเป็นการทดสอบกับเครื่องยนต์การเกษตรที่มีขนาดเล็กและใช้งานที่ความเร็วรอบต่ำ โดยเฉพาะในช่วงปี 2544-2546 ซึ่งเป็นช่วงที่ผลผลิตทางการเกษตรมีราคาถูกลงได้มีการเร่งพัฒนาการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยมีรายละเอียดโดยสังเขปของโครงการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

ปี 2544 ทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2544) ได้ทดสอบเดินเครื่องยนต์การเกษตรแบบสูบเดียว โดยใช้ น้ำมันปาล์มดิบอุ่นให้ได้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 0:100 20:80 30:70 40:60 50:50 60:40 70:30 80:20 90:10 100:0 ผลการทดสอบพบว่าสามารถติดเครื่องยนต์ได้เช่นเดียวกับน้ำมันดีเซล อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับน้ำมันดีเซล เกิดควันดำน้อยลงในขณะเร่งเครื่องยนต์สามารถทำงานได้ทุกส่วนผสม ในปีเดียวกันทางสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ป.ต.ท. (สถาบันวิจัย

และเทคโนโลยี บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), 2545) ได้ดำเนินงานวิจัยกับเครื่องยนต์ดีเซล สำหรับการเกษตรกรรมโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันดีเซลเช่นเดียวกันในงานวิจัยมีการหาสูตรของน้ำมันผสมที่มีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่มีความเหมาะสมกับเครื่องยนต์โดยที่ไม่ต้องปรับแต่งการทำงานใด ๆ จากการทดสอบสมรรถนะพบว่า มีสูตรน้ำมันที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ 2 สูตร(แต่ไม่ปรากฏรายละเอียดวิธีการผสม) คือสูตรที่ 1 ประกอบด้วยน้ำมันปาล์มดิบร้อยละ 10 และน้ำมันดีเซลร้อยละ 90 กับสูตรที่ 2 ประกอบด้วยน้ำมันปาล์มดิบร้อยละ 20 น้ำมันดีเซลร้อยละ 75 และน้ำมันก๊าดร้อยละ 5 ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านกำลังของเครื่องยนต์ตลอดจนการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าวันค่า ความเร็วรอบการทำงานของเครื่องยนต์และค่าอุณหภูมิของไอเสีย เป็นต้น

ในปี 2545 งานวิจัยของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2545) ใช้น้ำมันปาล์มดิบที่กรองไขมันออกแล้วแทนที่น้ำมันดีเซลทั้งหมดกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบ 8-15 แรงม้าแบบสูบเดียวพบว่าสามารถจะติดเครื่องยนต์ได้ในระยะแรกประมาณ 3-4 วัน หลังจากนั้นจะมีตะกอนไขมันสะสมที่กรองน้ำมันและหัวฉีดทำให้เกิดการอุดตันและเครื่องยนต์สตาร์ทติดยาก ซึ่งปัญหานี้ทางกรมฯ ได้เสนอให้ใช้อัตราส่วนผสมน้ำมันปาล์มดิบต่อน้ำมันดีเซลให้น้อยลงเป็น 1:9 และ 2:8 ซึ่งผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์สามารถทำงานได้เช่นเดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลปกติ แต่ต้องมีการล้างกรองน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นระยะเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของตะกอนไขมันที่ยังมีอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิงนอกจากนี้ทางกรมฯ ยังเสนอว่าการใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงจะมีผลดีกว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบเนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีส่วนผสมของน้ำ ไขมันและกรด ซึ่งจะส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์เมื่อใช้งานในระยะยาว

ทางด้านงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันปาล์มมาใช้ในเครื่องยนต์สำหรับรถยนต์ซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นและทำงานที่ความเร็วรอบสูงกว่าเครื่องยนต์การเกษตรได้แก่ งานวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือในปี 2543 (ปรีชา อ่องอารีย์คณะ , 2543) ได้ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดน้ำมัน โดยตรง (direct injection) 4 สูบ ขนาด 2,500 ซีซี และแบบฉีดน้ำมันโดยอ้อมขนาด 5 สูบ 3,000 ซีซี โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงโดยนำน้ำมันปาล์มดิบมาอุ่นให้ได้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาใช้งานการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบก่อนนั้นเพื่อให้ไขมันของน้ำมันปาล์มเป็นของเหลวก่อนการใช้งาน โดยใช้อัตราส่วนผสมน้ำมันปาล์มดิบต่อน้ำมันดีเซล 0:100 20:80 30:70 40:60 50:50 60:40 70:30 80:20 90:10 100:0 ผลทดสอบปรากฏว่าสามารถติดเครื่องยนต์ได้เช่นเดียวกับน้ำมันดีเซลและสามารถทำงานได้ทุกส่วนผสมต่อมาในปี 2544 ทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือได้มีการวิจัยความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันปาล์มโอเลอินผ่านกรรมวิธีผสมกับน้ำมันดีเซล (ปรีชา อ่องอารีย์ และคนอื่น ๆ , 2546) เพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลในอัตราส่วนผสมน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ผ่านกรรมวิธีต่อน้ำมันดีเซล 0:100 50:50 100:0 ตามลำดับ การทดสอบภายใต้เหตุการณ์จริงโดยการขับรถยนต์ทดสอบจำนวน 3 คัน ขับเป็นขบวนเดียวกันบนถนนทุกสภาวะภูมิประเทศและทุกสภาวะภูมิอากาศในประเทศไทยเป็นระยะทางประมาณ 200,000 กิโลเมตร ผลการทดสอบสรุปได้ว่าน้ำมันผสมทั้ง 2 สูตร สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลตามเงื่อนไขการวิจัยได้ทุกสภาวะภูมิประเทศและทุกสภาวะอากาศในประเทศไทย โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 9.503 9.971 7.786 กิโลเมตรต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (THC) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และมวลสารละออง (PM) ของน้ำมันผสมมีค่าที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล โดยที่เมื่อใช้อัตราส่วนผสม 0:100 จะมีค่าสูงสุด ยกเว้นค่าควันดำ ซึ่งเมื่อใช้น้ำมันผสมจะให้ค่าที่ต่ำกว่าเมื่อน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ส่วนคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันหล่อลื่นหลังการทดสอบพบว่าค่าที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งหมายความว่า การสึกหรอในส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ที่มีต่อน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ใช้แล้วไม่มีความแตกต่างเป็นนัยสำคัญทางคณะผู้วิจัยได้สรุปว่าน้ำมันเชื้อเพลิงผสมอัตราส่วนผสมน้ำมันปาล์ม โอเลอินผ่านกรรมวิธีต่อน้ำมันดีเซล 50:50 มีคุณสมบัติโดยรวมดีกว่าน้ำมันผสมอัตราส่วนผสมที่ 100:0 ในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ทดสอบภายใต้เงื่อนไขในการวิจัย

ในปี 2545 สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ป.ต.ท. (Nirod, A., 2002) ได้มีการศึกษาผลของการใช้น้ำมันปาล์มผ่านกรรมวิธี (Refined Palm Oil, น้ำมันปาล์มรีไฟน์) ผสมกับน้ำมันดีเซลทดสอบในรถบรรทุกขนาดเล็ก อัตราส่วนผสมของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ต่อน้ำมันดีเซลเท่ากับ 5:95 และ 10:90 ทดสอบบนแท่นทดสอบรถยนต์ ผลการทดสอบพบว่ากำลังและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงไม่มีความแตกต่างเมื่อเทียบกับใช้น้ำมันดีเซล ค่าควันดำมีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อยในขณะที่เขม่าและคราบตกค้างที่หัวฉีด (โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี Cummins L10 Injector Depositing Test method) พบว่ามีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ในปี 2546 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2546) ได้มีการศึกษาการประเมินสมรรถนะ การปล่อยควันดำและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรงเมื่อใช้น้ำมันดีเซลกับน้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสม 10:90 ที่สภาวะความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบต่อนาที ภาระโหลด 50% ของภาระสูงสุดเป็นระยะเวลา 250 ชั่วโมง ผลการทดสอบพบว่ากำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและปริมาณควันดำมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามอายุการใช้งาน การสึกหรอที่เกิดขึ้นเป็นไปตามปกติโดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดสรุปได้ว่าน้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันดีเซลสามารถใช้งานได้เทียบเคียงกับน้ำมันดีเซล

ในปี 2547 ห้องปฏิบัติการเครื่องยนต์สันดาปภายใน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (คณิต วัฒนวิเชียร, 2004) ได้ศึกษาปรากฏการณ์การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ดีเซลโดยการถ่ายภาพ โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ 10% ผสมกับน้ำมันดีเซล 90% เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลแบบเผาไหม้ล่วงหน้า ระบบประจุไอติโดยธรรมชาติ ขนาด 2,500 ซีซี จากผลของการถ่ายภาพปรากฏการณ์การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าพบว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลทำให้จุดเริ่มต้นของการติดของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นเร็วกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซล 1-2 องศาชั่วโมง โดยลักษณะของสเปรย์จากน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลจะมีระยะพุ่งของสเปรย์ที่ยาวกว่าและมุมของสเปรย์ที่กว้างกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงนอกจากนี้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นและการกระจายความหนาแน่นของเขม่าที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ล่วงหน้าซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ Two color method เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมีค่าที่ต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลเนื่องมาจากผลของค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มดิบผสมดีเซลที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

การนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้ในการศึกษาวิจัยนี้จึงเลือกน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานจากกรมธุรกิจพลังงาน (กรมธุรกิจพลังงาน-ก, 2552) โดยการลดความหนืดของน้ำมัน โดยการใช้ไขมันดีเซลเป็นตัวทำละลายเพื่อให้ความหนืดของน้ำมันผสมมีค่าลดลงป้องกันปัญหาการอุดตันของระบบจ่ายน้ำมันและช่วยทำให้ลักษณะของการสเปรย์และการแตกตัวเป็นละอองฝอยของน้ำมันไบโอดีเซลดีขึ้นส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น (Kalam, M.A., and Masjuki, H.H., 2004) การทดสอบเพื่อศึกษาผลจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมน้ำมันดีเซลตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไป ได้กระทำทั้งในระยะสั้นคือการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นเพื่อนำไปกำหนดภาระให้กับเครื่องยนต์ในการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ และการทดสอบระยะยาวคือการติดตามผลต่อความทนทานของเครื่องยนต์ในด้านการสึกหรอที่เกิดขึ้น คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่เปลี่ยนไปเพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นต่อการนำน้ำมันชนิดนี้มาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลในอนาคต

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดสอบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์เรือประมงในห้องปฏิบัติการ (Laboratory test) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ตลอดจนคุณลักษณะของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์เรือประมงในด้านความทนทานของเครื่องยนต์ (Durability test) โดยใช้รูปแบบการทดสอบที่เรียกว่า “200-hr screening test for alternative fuels” ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบที่กำหนดโดย The Alternative Fuels Committee of the Engine Manufacture’s Association; EMA-1982 (Dept. of Energy, 1982) โดยในการศึกษาได้ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์เรือประมงแบบลากเดี่ยว ขนาดความเร็วรอบกลาง 3 ยี่ห้อ ได้แก่ (1) เครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C (2) เครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9 และ 3) เครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3 จำนวนยี่ห้อละ 4 เครื่อง

สำหรับเชื้อเพลิง 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมัน Diesel B20 B50 และ B100 จะใช้ทำการทดสอบตามมาตรฐานดังกล่าวข้างต้น เป็นระยะเวลาสะสมไม่น้อยกว่า 500 ชั่วโมง เพื่อทำการประเมินผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีต่อสมรรถนะต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ ได้แก่ (1) กำลัง (power) (2) แรงบิด (torque) (3) อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (fuel consumption) และ (4) การสึกหรอของเครื่องยนต์ (engine wear) โดยดูจากน้ำหนักแหวนลูกสูบที่หายไป และสิ่งปนเปื้อนประเภทโลหะและอโลหะในน้ำมันเครื่อง (impurities in engine oil) ที่สะสมเก็บตามชั่วโมงการทำงานที่กำหนดไว้

เป้าหมายของการทดสอบในห้องปฏิบัติการนี้ เพื่อหาสาเหตุและปัญหาที่อาจจะเกิดกับเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เพียงพอ แต่มิได้เป็นการทดสอบเพื่อเป็นการรับประกันเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลว่าจะไม่เกิดความเสียหายขึ้นกับเครื่องยนต์เลย ตลอดอายุการใช้งาน แต่ผลที่ได้รับจากการทดสอบนี้ จะนำมาวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น ก่อนที่จะนำไปสู่การทดสอบการใช้งานจริงกับเรือประมงในภาคสนาม (field test) และการประเมินผลของบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายเครื่องยนต์เรือประมงต่อไป

3.1 แนวทางและวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.1.1 น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมด 4 ชนิด คือ

- น้ำมันดีเซล 100% ใช้ตัวย่อ “Diesel”
- น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วน 80:20 โดยปริมาตร ใช้ตัวย่อ “B20”
- น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ใช้ตัวย่อ “B50”
- น้ำมันไบโอดีเซล 100% ใช้ตัวย่อ “B100”

3.1.2 เครื่องยนต์เรือประมงที่ใช้ในการทดสอบ

ใช้เครื่องยนต์เรือประมงขนาดความเร็วรอบปานกลาง โดยมีทั้งหมด 3 ยี่ห้อ ๆ ละ 4 เครื่อง แต่ละยี่ห้อเป็นรุ่นหรือ โมเดลเดียวกันทั้ง 4 เครื่อง รวมทั้งสิ้น จำนวน 12 เครื่อง ดังนี้

- | | | |
|------------------------|---------------|-----------------|
| 1) เครื่องยนต์ Hino | รุ่น HO7C | จำนวน 4 เครื่อง |
| 2) เครื่องยนต์ Cummins | รุ่น 6B5.9 | จำนวน 4 เครื่อง |
| 3) เครื่องยนต์ Komatsu | รุ่น S4D105-3 | จำนวน 4 เครื่อง |

โดยเครื่องยนต์แต่ละยี่ห้อทั้ง 4 เครื่องจะนำไปทดสอบกับน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด ตามที่กล่าวในข้อ 3.1.1 ซึ่งจะใช้ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องยนต์ 1 ยี่ห้อ เครื่องที่ 1 2 3 และ 4 กับน้ำมันเชื้อเพลิง Diesel B20 B50 และ B100 ตามลำดับ สำหรับอีก 2 ยี่ห้อก็จะทำการทดสอบในลักษณะและวิธีการเดียวกัน

3.2 วิธีการทดสอบ

3.2.1 การทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์

การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์อ้างอิงมาตรฐาน ISO 15550-2002: Internal Combustion Engine Determination and Method for the Measurement of Engine Power (ISBGS, 2002) เป็นมาตรฐานการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ทั่วไป (ISBGS, 2002) ที่ใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในเกือบทุกชนิดรวมถึงเครื่องยนต์เรือขนาดเล็ก-กลาง (Marine Craft up to 24 m Hull Length; ISO 8665) โดยจะทำการทดสอบโดยใช้น้ำมัน Diesel กับเครื่องยนต์เรือประมงทั้ง 3 ยี่ห้อ ๆ ละ 1 เครื่อง สำหรับใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการอ้างอิงและเปรียบเทียบผลกับการทดสอบเครื่องยนต์ยี่ห้อเดียวกัน แต่ใช้น้ำมัน B20 B50 และ B100 ตามลำดับ มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เพื่อนำไปใช้ในการอ้างอิงในการกำหนดภาระเครื่องยนต์ในการดำเนินการทดสอบ

การสึกหรอ ทั้งนี้สมรรถนะเครื่องยนต์ ได้แก่ กำลัง แรงบิด รอบ และอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น เริ่มต้นทดสอบโดย

1) อุ่นเครื่องยนต์โดยเดินเบาที่ 1,000 รอบต่อนาที หมุน loading valve บน dynamometer ทวนเข็มนาฬิกาเพื่อปลดภาระ (แรงบิด) ที่อยู่ใน dynamometer ให้หมดไปหรือเหลือน้อยที่สุด แล้วให้คงสภาวะนั้นไว้จนอุณหภูมิเครื่องยนต์ขึ้นไปถึง 70 องศาเซลเซียส

2) ปรับรอบความเร็วของเครื่องยนต์ไปที่ 2,200 รอบต่อนาที

3) เพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์โดยค่อย ๆ หมุน loading valve บน dynamometer ตามเข็มนาฬิกาจนกระทั่งรอบเครื่องยนต์ลดลงครั้งละ 50 รอบต่อนาที และทุก ๆ ครั้งที่รอบลดลง 50 รอบต่อนาที เมื่อเพิ่มแรงบิดให้บันทึกข้อมูล แรงบิด (engine break torque) กำลังเบรก (engine break power) การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (fuel consumption) จนกระทั่งรอบเครื่องยนต์ลดลงเหลือ 1,100 รอบต่อนาที จึงยุติการทดสอบ

3.2.2 การทดสอบระยะยาวเพื่อทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์

การทดสอบ durability test ของเครื่องยนต์อ้างอิงมาตรฐาน 200-hr screening test for alternative fuels, EMA 200 hours test (Dept. of Energy, 1982) เป็นมาตรฐานการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทางเลือก (alternative fuel) โดยหน่วยงาน The Alternative Fuels Committee of the Engine Manufacturer's Association (1982) ของประเทศสหรัฐอเมริกา หรือเรียกย่อ ๆ EMA 200-hours test (Dept. of Energy, 1982) โดยการทดสอบได้กำหนดรูปแบบของภาระงานหรือ โหลด (load) เป็นลักษณะ duty cycle ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งแบ่งการทดสอบเป็นช่วง ๆ ละ 3 ชั่วโมง ในแต่ละช่วงจะประกอบด้วยการทดสอบดังนี้

1) อุ่นเครื่องยนต์โดยเดินเบาที่ 1,000 รอบต่อนาที หมุน loading valve บน dynamometer ทวนเข็มนาฬิกาเพื่อปลดภาระ (แรงบิด) ที่อยู่ใน dynamometer ให้หมดไปหรือเหลือน้อยที่สุดแล้วให้คงสภาวะนั้นไว้จนอุณหภูมิเครื่องยนต์ขึ้นไปถึง 70 องศาเซลเซียส

2) เดินเครื่องยนต์ที่ rated power (กำลังสูงสุด) ที่รอบเริ่มต้น 2,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที

3) ต่อเนื่องจาก (2) เดินเครื่องยนต์ที่ให้แรงบิดสูงสุดที่รอบเริ่มต้น 2,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที

4) ต่อเนื่องจาก (3) เดินเครื่องยนต์ที่ให้แรงบิด 28% ของแรงบิดสูงสุดเป็นเวลา 30 นาที (ใช้ flow rate ของน้ำหล่อเย็น dynamometer ประกอบกับ loading valve ต้องระวังอย่าให้อุณหภูมิของ dynamometer เกิน 140 องศาฟาเรนไฮต์)

5) ต่อเนื่องจาก (4) ปรับรอบเครื่องยนต์ลงมาให้ 1,000 รอบต่อนาที โดยให้มีภาระหรือแรงบิดเท่ากับศูนย์หรือต่ำสุด (ให้ flow rate น้ำหล่อเย็น dynamometer ต่ำสุด และ loading valve ต้องหมุนทวนเข็มนาฬิกาสุดเพื่อปลดภาระออกหมดสุดแต่ต้องระวังเรื่องความร้อนที่เกิดกับ dynamometer ต้องไม่เกิน 140 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นเวลา 30 นาที

โดยทำการทดสอบซ้ำต่อเนื่อง 18 ชั่วโมง (6 cycles) และหยุดพัก 6 ชั่วโมง เพื่อให้เครื่องยนต์มีอุณหภูมิเท่าบรรยากาศ และทำการทดสอบซ้ำและต่อเนื่องจนครบ 200 ชั่วโมง จำนวน 2 cycles ซึ่งจะทำให้ได้ชั่วโมงทดสอบเป็น 400 ชั่วโมง (สะสม) และในการทดสอบนี้จะทำการเพิ่มชั่วโมงการทดสอบจนครบ 500 ชั่วโมง (สะสม)

ตารางที่ 3.1 แผนการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ตามมาตรฐาน EMA 200-hour test

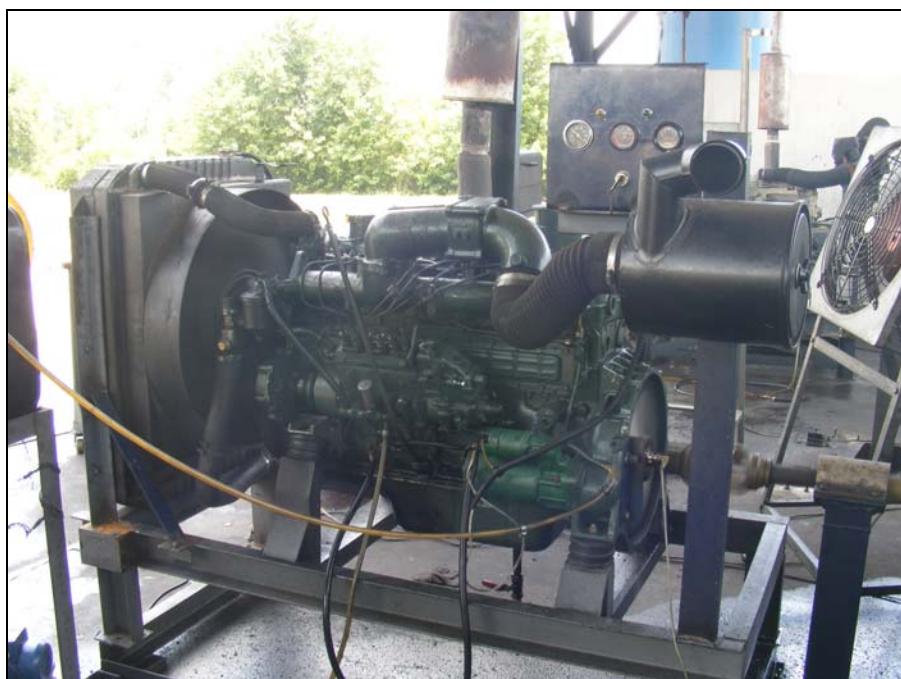
Cycle step	Engine Speed (rpm)	Torque	Power	Time (min)
1	Rated	-	Rated	60
2	85%	Maximum	95%	60
3	90%	28%	25%	30
4	Low Idle	0	0	30
Total				180

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

3.3.1 เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์เรือประมงแบบลากเดี่ยว ขนาดความเร็วรอบกลาง 3 ยี่ห้อ ได้แก่ (1) เครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C (2) เครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9 และ (3) เครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3 จำนวนยี่ห้อละ 4 เครื่อง โดยมีข้อมูลรายละเอียดดังต่อไปนี้

รูปที่ 3.1–3.3 แสดงรูปร่างลักษณะภายนอกของเครื่องยนต์ทั้ง 3 ยี่ห้อ ในขณะที่ตารางที่ 3.2 แสดงลักษณะเฉพาะ (specifications) ของเครื่องยนต์ทั้ง 3 ยี่ห้อ ที่เป็นเครื่องยนต์ใหม่จากโรงงาน



รูปที่ 3.1 เครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C



รูปที่ 3.2 เครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9



รูปที่ 3.3 เครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3

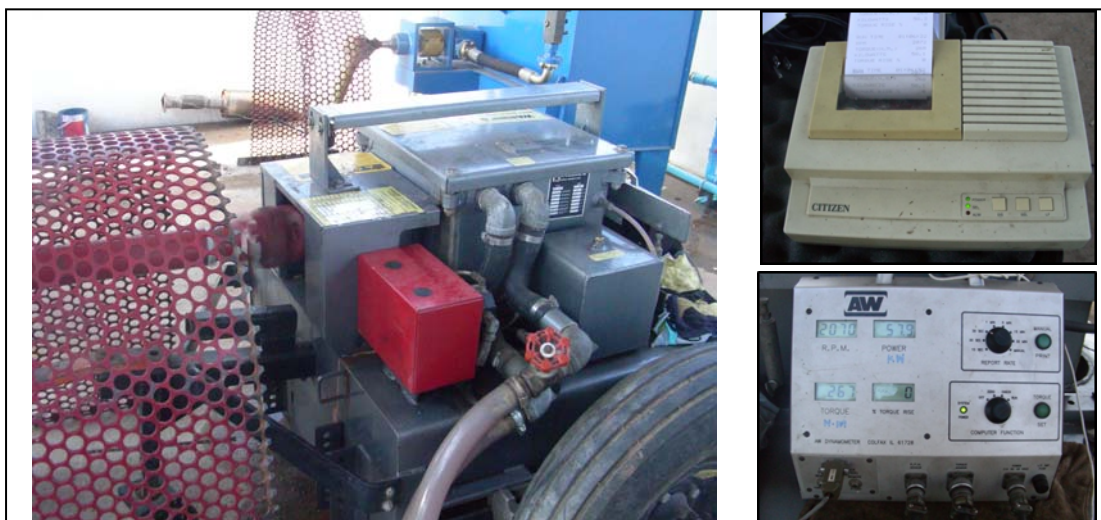
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ

Specifications	Hino Model HO7C	Cummins Model 6B5.9	Komatsu Model S4D105-3
Brake power (bhp)	116 at 2,200 rpm	115 at 2,500 rpm	89 at 2,400 rpm
Engine torque (N-m)	442 at 2,000 rpm	327 at 2,500 rpm	263 at 2,400 rpm
Displacement (cc)	6,443	5,900	4,330
No. of cylinder	6	6	4
Firing order	1-4-2-6-3-5	1-5-3-6-2-4	1-2-4-3
Compression ratio	17.9: 1	17.3: 1	17: 1
Fuel consumption (l/hr)	22.3 at 2,000 rpm	23.7 at 2,500 rpm	10.3 at 2,400 rpm

3.3.2 เครื่อง AW-Dynamometer Model NEB2-300

ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบหาแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยเป็นของบริษัท AW Dynamometer, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น Neb 2-300 โดยใช้หลักการ

นำพลังงานจากไฮดรอลิกส์มาเป็นตัวเบรกเครื่องยนต์ ซึ่งเหมาะสมที่จะใช้ในการทดสอบระยะยาว เพราะเป็นไดนาโมมิเตอร์ขนาดใหญ่และสามารถทนแรงเบรกในระยะเวลาอันยาวได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.4 เครื่อง AW-Dynamometer Model NEB2-300

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของเครื่องไดนาโมมิเตอร์

Dynamometer	
Make	AW Dynamometer, Inc.
Model	Neb 2-300
Serial	230-108
Max. power	74.6 kW/540 RPM
	156.6 kW/1000 RPM
	223.7 kW/2000 RPM
Capacity torque dynamometer	1490 N-m
Capacity torque drive line (N-m)	4,475 N-m

3.3.3 เครื่อง SUT–Dynamometer Model SUT-HYDURA-180

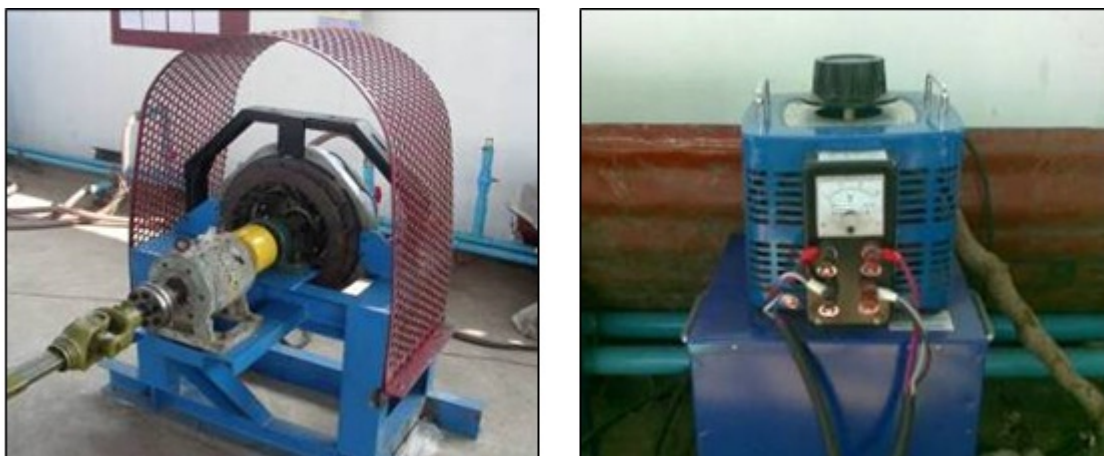
เครื่อง SUT–Dynamometer Model SUT-HYDURA-180 จำนวน 3 เครื่อง ใช้สำหรับวัดค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ โดยมีความเร็วรอบของปั๊มอยู่ในช่วง 600–2,500 รอบต่อนาที และแรงดันน้ำมันในระบบ (แรงดันต่อเนื่อง) ได้ถึง 210 bar ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่อง SUT – Dynamometer Model SUT-HYDURA-180

3.3.4 เครื่อง Electric Breaker–Dynamometer CERCA B-Series Model B5-19 ขนาด 24 V 105 A

เครื่อง Electric Breaker–Dynamometer CERCA B-Series Model B5-19 ขนาด 24 V 105 A จำนวน 1 เครื่อง ใช้สำหรับวัดค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ซึ่งสามารถรับแรงบิดของเครื่องยนต์ได้สูงสุดถึง 1,900 N-m ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่อง Electric Breaker-Dynamometer

3.3.5 เครื่องวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

เครื่องวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหลอดแก้วแล้วจับเวลา โดยจะเก็บค่าสามครั้งแล้วนำมาเฉลี่ย เพื่อใช้สำหรับวัดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหลอดแก้วพร้อมนาฬิกาจับเวลา

3.3.6 เครื่องวัดความเร็วรอบ

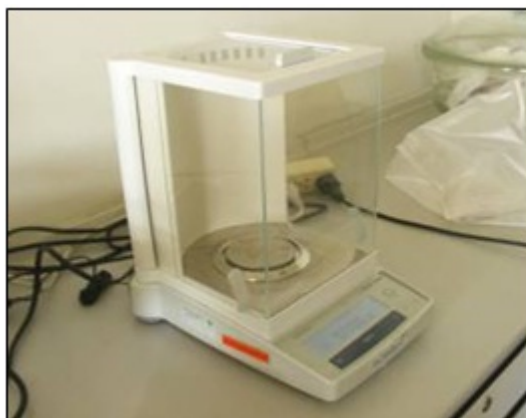
เครื่องวัดความเร็วรอบ (tachometer) ยี่ห้อ DIGICON Model DT-240P ใช้สำหรับวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ เพื่อให้สามารถกำหนดรอบเครื่องยนต์ที่ค่าต่าง ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ (tachometer)

3.3.7 เครื่องชั่งแบบละเอียด

เครื่องชั่งแบบละเอียด ยี่ห้อ METTLER TOLEDO ซึ่งมีความละเอียดในการชั่งถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 โดยชั่งน้ำหนักได้ต่ำสุด 10 mg และสูงสุด 220 g ใช้สำหรับการหาค่าน้ำหนักของแหวนลูกสูบก่อนและหลังการทดสอบ เพื่อการสึกหรอที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องชั่งแบบละเอียด

3.3.8 กล้อง Nikon 40x Model MSZ-U ขนาดกำลังขยาย 40 เท่า

กล้อง Nikon 40x Model MSZ-U ขนาดกำลังขยาย 40 เท่า โดยต่อเชื่อมกับเครื่อง Nikon Digital Sight DS-11 เพื่อใช้สำหรับดูภาพขยายของหัวฉีดน้ำมันและถ่ายภาพได้ในเวลาเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยภาพหัวฉีดขยายนั้นจะนำไปคำนวณหาค่า Coking Index ซึ่งหมายถึงค่าอัตราส่วนของปริมาณเขม่าที่จับบนหัวฉีดเมื่อเครื่องยนต์ขับเคลื่อนโดยน้ำมันไบโอดีเซลต่อปริมาณเขม่าที่จับบนหัวฉีดเมื่อเครื่องยนต์ขับเคลื่อนด้วยน้ำมันดีเซล ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากัน ดังสมการที่ 3.1

$$\text{Coking Index} = \frac{\text{พื้นที่เขม่าที่จับหัวฉีดเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล} - \text{พื้นที่หัวฉีดที่สะอาด}}{\text{พื้นที่เขม่าที่จับหัวฉีดเมื่อใช้น้ำมันดีเซล} - \text{พื้นที่หัวฉีดสะอาด}} \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.10 กล้อง Nikon 40x Model MSZ-U ต่อเชื่อมกับเครื่อง Nikon Digital Sight DS-11

3.3.9 Plane meter

ใช้หาพื้นที่เขม่าที่จับที่หัวฉีดโดยจะแสดงเป็นค่าดัชนีที่เป็นตัวบอกปริมาณเขม่าที่จับที่หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง B20 B50 และ B100 ว่าเป็นกี่เท่า เมื่อเทียบกับการเผาไหม้ด้วยน้ำมันดีเซลปกติดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เครื่องมือหาพื้นที่เขม่าที่จับที่หัวฉีด (Plane meter)

3.4 น้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ

3.4.1 น้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซลที่นำมาใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการนี้ได้สั่งซื้อจากบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นน้ำมันดีเซล ULSD (Ultra Low Sulfur Diesel) คุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 3.4

3.4.2 น้ำมันไบโอดีเซล

น้ำมันไบโอดีเซลที่นำมาใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการนี้ได้สั่งซื้อจาก บริษัท ไบโอดีเอ็นเนอร์ยีพลัส จำกัด ซึ่งเป็นน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานจากกรมธุรกิจพลังงาน (กรมธุรกิจพลังงาน-ก, 2552) ซึ่งได้รับการรับรองจากกรมธุรกิจพลังงาน ให้เป็นผู้ผลิตและจำหน่ายน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ที่ถูกต้องตามกฎหมาย คุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด ที่ใช้ในการทดสอบ (n.a. = not analysis)

	คุณสมบัติ	วิธีทดสอบ	Diesel	B20	B50	B100
1	Density @ 15 °c, g/ml Density @ 30 °c, g/ml	ASTM D 1298-99	0.8681 0.8513	0.867 0.856	0.869 0.859	0.873 0.863
2	Kinematic Viscosity @ 40 °c ไม่ต่ำกว่า - ไม่สูงกว่า	ASTM D 445	1.8 - 4.1	2.91	3.60	4.65
3	Flash Points (°c)	ASTM D 93	61	71	90	120
4	Cloud Points (°c)	ASTM D 97-96a	n.a.	n.a.	n.a.	16
5	Total Acid Number (mg KOH/g)	ASTM D 664-01	n.a.	n.a.	n.a.	0.358
6	Copper Corrosion Sheet @ 3h/50 °c	ASTM D 483	< HO7C	< HO7C	< HO7C	< HO7C
7	Oxidation Stability @ 110 °c (hour)	EN 14112	n.a.	n.a.	n.a.	17.34
8	Iodine Number	AOCS Tg 1-64		10	18	40
9	Methyl Ester (%vol.)	EN 14103		n.a.	n.a.	98.65
10	Lionolenic Acid Methyl Ester (%wt.)	EN 14105		n.a.	n.a.	0.063
11	Monoglyceride (%wt.)	EN 14105		n.a.	n.a.	0.37
12	Diglyceride (%wt.)	EN 14105		n.a.	n.a.	0.031
13	Triglyceride (%wt.)	EN 14105		n.a.	n.a.	<0.001
14	Free glycerin (%wt.)	EN 14105		n.a.	n.a.	<0.001
15	Total glycerin (%wt.)	EN 14105		n.a.	n.a.	0.1
16	Excess Methanol (%wt.)	EN 14110		n.a.	n.a.	<0.001
17	Water Content (%wt.)	EN 14103	0.049	0.047	0.041	0.035
18.1	Sulfur (น้ำมันดีเซล) ไม่สูงกว่า (%wt.)	ASTM D 4294	0.035	-	-	-
18.2	Sulfur (B100) ไม่สูงกว่า (%wt.)	ASTM 2622	-	n.a.	n.a.	0.0010

3.4.3 น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์

น้ำมันเครื่องที่ใช้ในการทดสอบ เป็นน้ำมันเครื่องยี่ห้อ Castrol Tecron Extra SAE 15W-40 ซึ่งเป็นน้ำมันเครื่องสำหรับใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล

3.4.4 น้ำมันไฮดรอลิกส์

น้ำมันไฮดรอลิกส์ที่ใช้สำหรับเครื่อง SUT-Dynamometer Model SUT-HYDURA -180 และ AW Dynamometer Model NEB2-300 เป็นของบริษัท บีพี-คาสโตรอล (ประเทศไทย) จำกัด ยี่ห้อ Castrol HYSPIIN AWS 68

3.5 สถานที่ทำการทดสอบ

- 3.5.1 อาคารเครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- 3.5.2 ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

เนื่องจากการทดสอบมีทั้งการทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะและการทดสอบระยะยาวเพื่อหาผลกระทบจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในส่วนผสมต่าง ๆ เพราะฉะนั้นผลที่ได้จะแบ่งการวิเคราะห์ดังนี้

3.6.1 การทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์

ใช้เชื้อเพลิง 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล B20 B50 และ B100 จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 15550-2002: Internal Combustion Engine Determination and Method for the Measurement of Engine Power (ISBGS, 2002) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เพื่อนำไปใช้ในการอ้างอิงในการกำหนดภาระของเครื่องยนต์ในการดำเนินการทดสอบการสึกหรอ ทั้งนี้สมรรถนะเครื่องยนต์ ได้แก่ กำลัง แรงบิด รอบ และอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น

3.6.2 การทดสอบระยะยาวเพื่อหาความทนทานของเครื่องยนต์

ใช้เชื้อเพลิง 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล B20 B50 และ B100 จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน 200-hr screening test for alternative fuels, EMA 200 hours test (Dept. of Energy, 1982) เพื่อทำการประเมิน

- 1) ตรวจวัดการสึกหรอของแหวนลูกสูบ โดยการชั่งน้ำหนักของแหวนลูกสูบก่อนทำการทดสอบ ที่ 200 ชั่วโมง หลังการทดสอบครบ 500 ชั่วโมง ตามลำดับ
- 2) ตรวจวิเคราะห์คราบเขม่าหัวฉีด ซึ่งจะเป็นค่าดัชนีที่เป็นตัวบอกปริมาณเขม่าที่จับที่หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง B20 B50 และ B100 ว่าเป็นกี่เท่าเมื่อเทียบกับการเผาไหม้ด้วยน้ำมันดีเซลปกติ
- 3) ตรวจวัดคุณภาพของน้ำมันเครื่องทุก ๆ 50 ชั่วโมง ใช้งานจนครบ 500 ชั่วโมง คุณสมบัติที่ตรวจวัด ได้แก่ (1) ค่าความหนืด (2) ค่าความถ่วงจำเพาะ (3) ค่าความเป็นด่าง และ (4) ปริมาณน้ำที่ปนเปื้อน เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่สัดส่วนผสมต่าง ๆ ว่าจะมีผลต่อระบบการหล่อลื่นของเครื่องยนต์มากน้อยเพียงใด
- 4) ตรวจวัดการสึกหรอของชิ้นส่วนอื่น ๆ เครื่องยนต์โดยทำการตรวจหาสิ่งปนเปื้อนประเภทโลหะและอโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก (Fe) อลูมิเนียม (Al) ทองแดง (Cu) และ

โครเมียม (Cr) เป็นต้น เพื่อดูการสึกหรอของชิ้นส่วนอื่น ๆ ของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันไบโอดีเซล ทั้งนี้เพราะชิ้นส่วนของเครื่องยนต์แต่ละชิ้นผลิตมาจากวัสดุที่ต่างชนิดกัน ดังนั้นถึงปนเปื้อนต่าง ๆ ที่ตรวจพบในน้ำมันเครื่องจึงสามารถที่จะใช้เป็นแนวทางในการบ่งชี้ถึงการสึกหรอของชิ้นส่วนนั้น ๆ ของเครื่องยนต์ได้

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

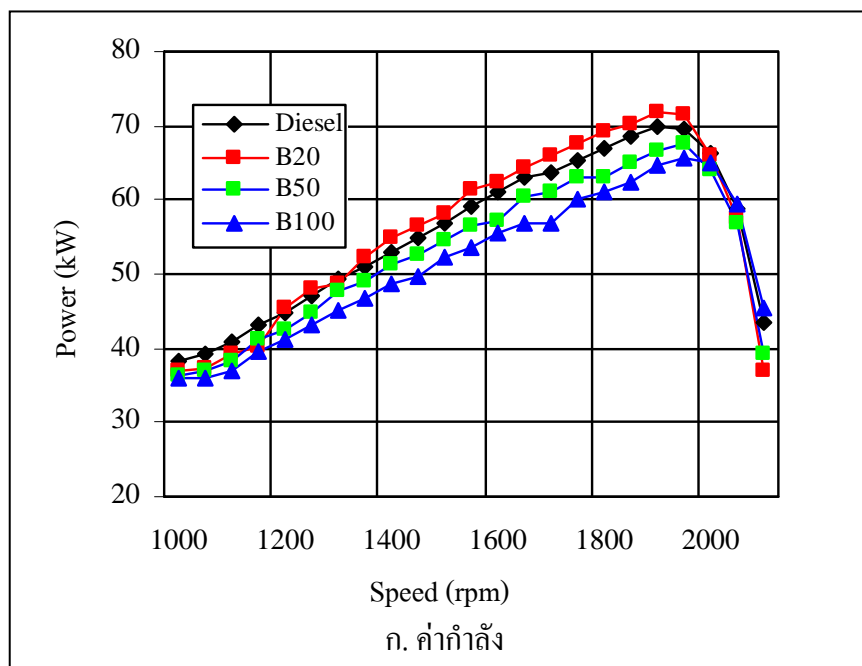
บทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการศึกษา รวมถึงการวิเคราะห์ผลทั้งหมดที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งผลจากการทดสอบในครั้งนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ การทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ และการทดสอบระยะยาวเพื่อหาผลกระทบต่อเครื่องยนต์ โดยแบ่งผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลดังนี้

4.1 ผลการทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์

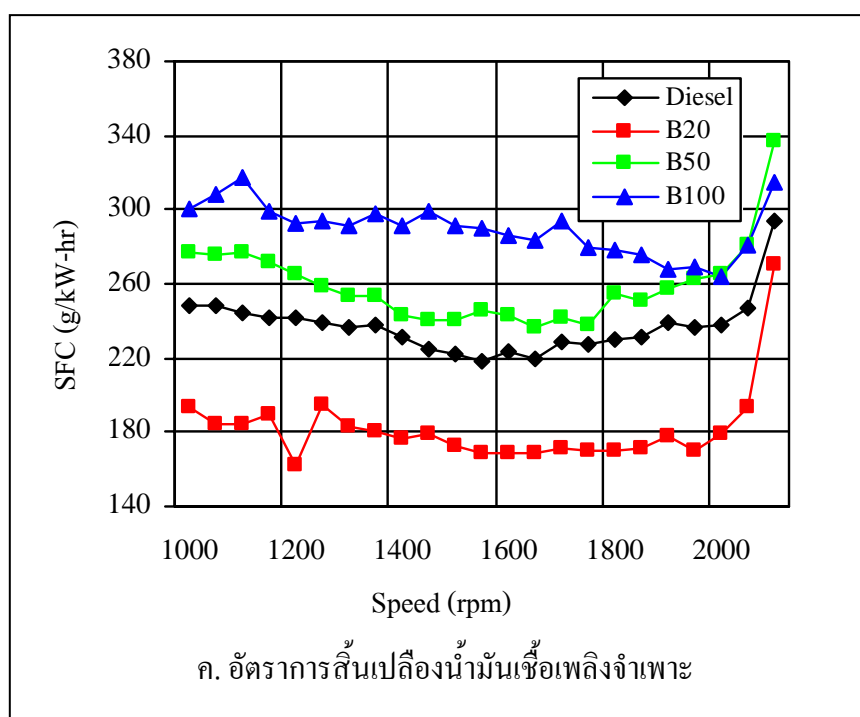
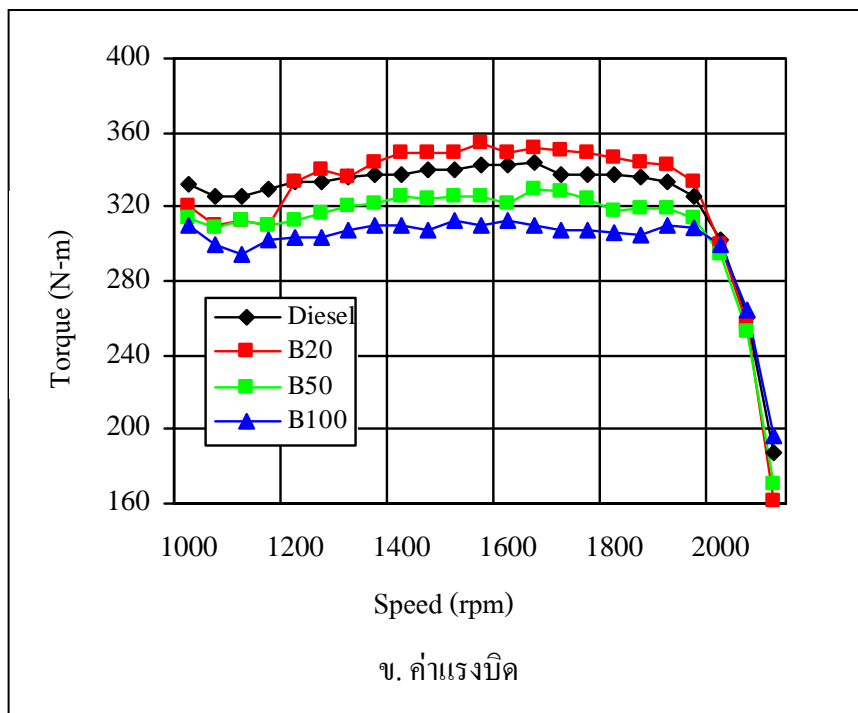
เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าที่แสดงถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ 3 ตัวหลัก ได้แก่

- 1) ค่ากำลังของเครื่องยนต์ (engine power)
- 2) ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ (engine torque)
- 3) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (specific fuel consumption)

4.1.1 เครื่องยนต์ Hino



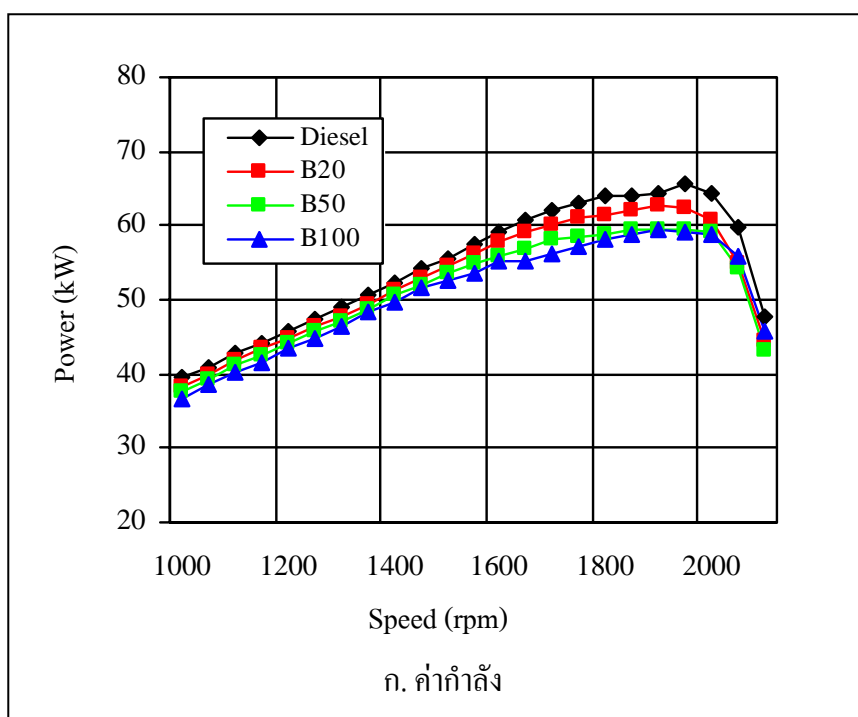
รูปที่ 4.1 สมรรถนะเครื่องยนต์ Hino



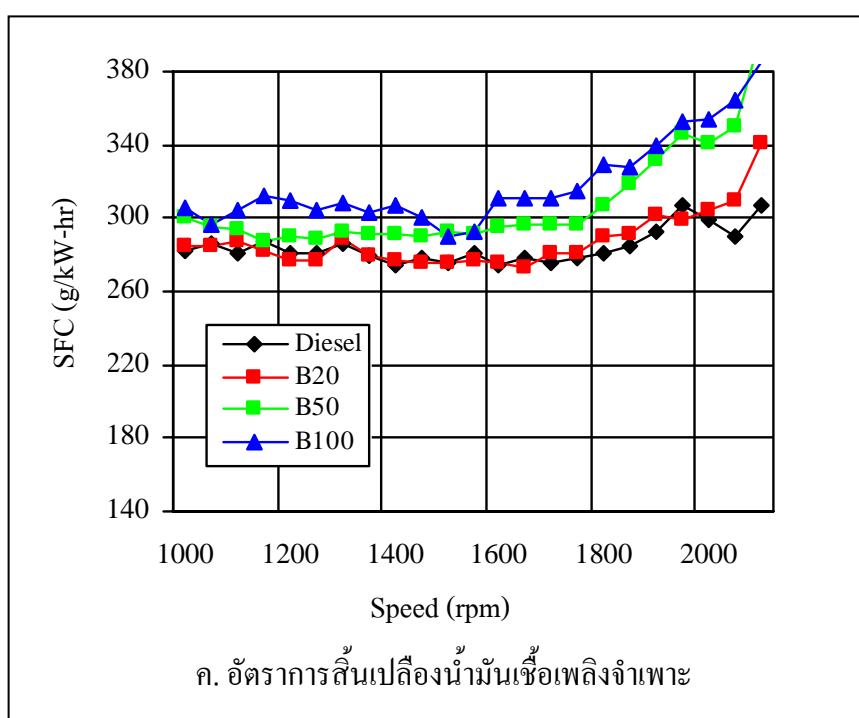
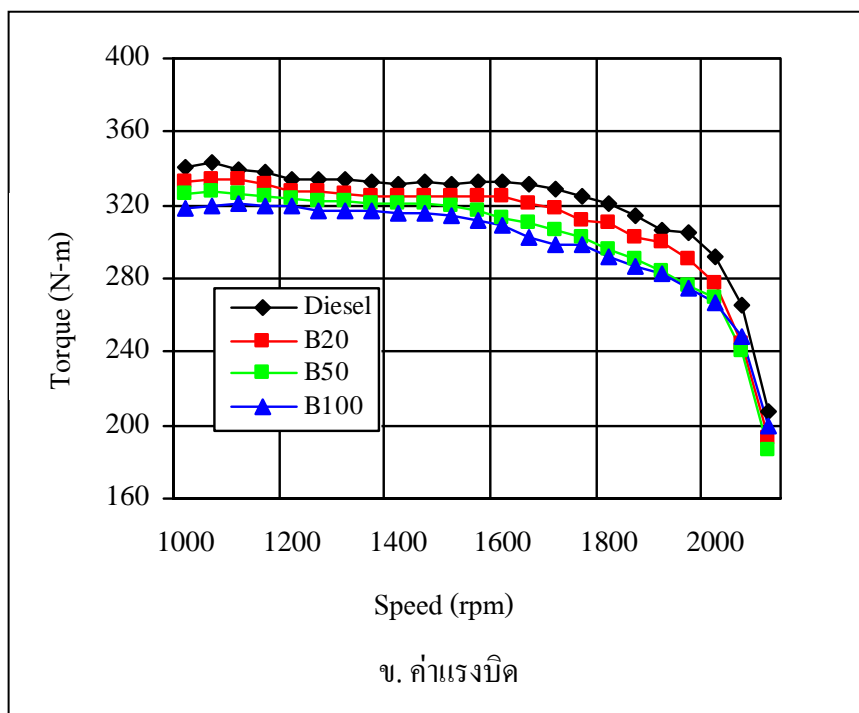
รูปที่ 4.1 สมรรถนะเครื่องยนต์ Hino (ต่อ)

จากรูปที่ 4.1 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ พบว่าค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ (รูปที่ 4.1ก.) จะอยู่ในช่วงความเร็วรอบ 1,800–2,000 รอบต่อนาทีสำหรับเครื่องยนต์ Hino รุ่นนี้ น้ำมัน B20 จะให้ค่ากำลังของเครื่องยนต์สูงที่สุด รองลงมาคือ น้ำมัน Diesel B50 และ B100 โดยมีค่ากำลังสูงสุดที่ 71.7 69.8 67.5 และ 65.6 kW ตามลำดับ ซึ่งค่ากำลังสูงสุดนี้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ (รูปที่ 4.1ข.) เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ดังในรูปที่ 4.1ค. พบว่าเครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C เมื่อใช้ B20 เป็นเชื้อเพลิงจะให้ค่า SFC เฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 0.172 kg/kW-hr โดยคิดค่าเฉลี่ยในช่วงที่รอบเครื่องยนต์เรือใช้งานจริง (1,500–1,800 รอบต่อนาที) ในขณะที่น้ำมัน B100 B50 และน้ำมัน Diesel มีค่า SFC เฉลี่ยสูงกว่าคือ 0.291 0.242 และ 0.224 kg/kW-hr ตามลำดับ

4.1.2 เครื่องยนต์ Cummins



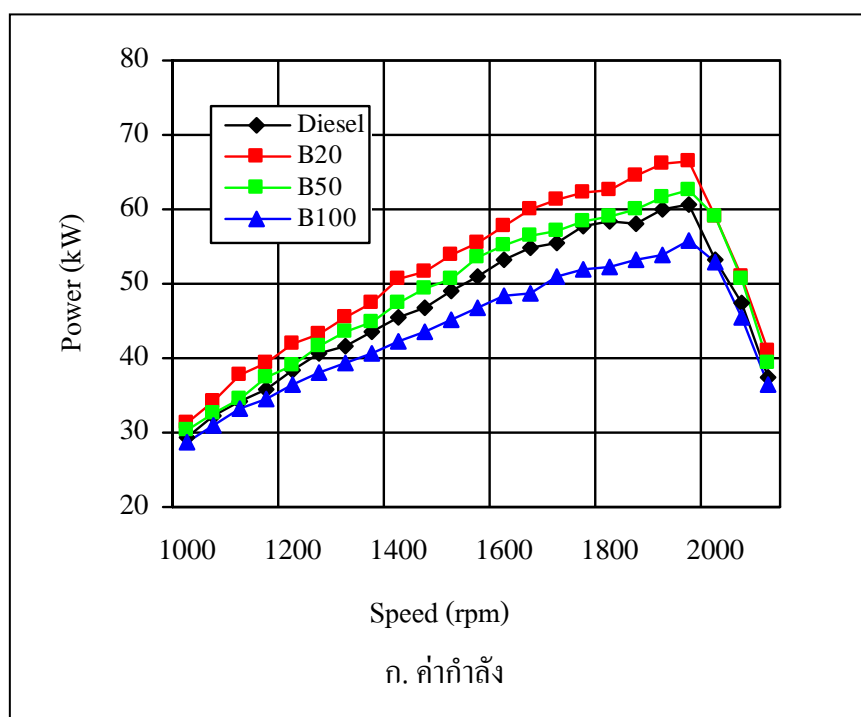
รูปที่ 4.2 สมรรถนะเครื่องยนต์ Cummins



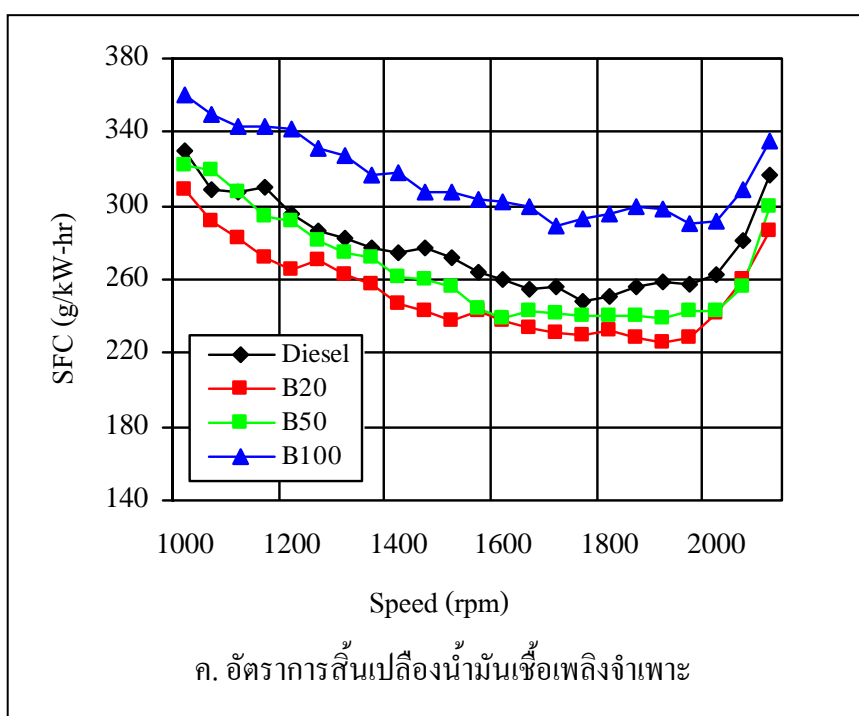
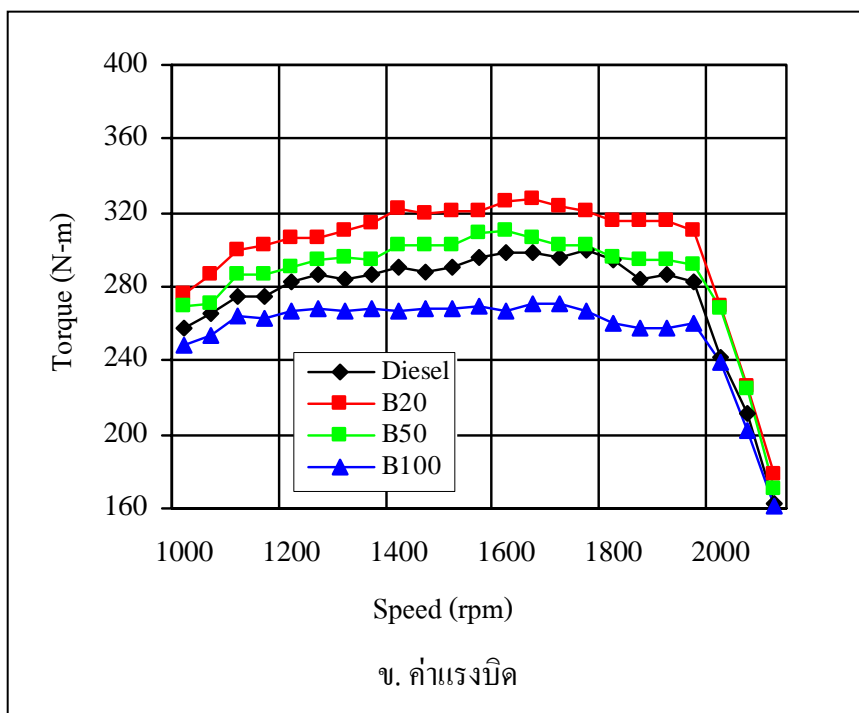
รูปที่ 4.2 สมรรถนะเครื่องยนต์ Cummins (ต่อ)

ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Cummins โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์จะอยู่ในช่วงความเร็วรอบ 1,800–2,000 รอบต่อนาที เมื่อใช้น้ำมัน Diesel เป็นเชื้อเพลิงซึ่งแตกต่างกับเครื่องยนต์ Hino โดยน้ำมันที่ให้ค่ากำลังสูงสุดสำหรับเครื่องยนต์ Cummins คือ น้ำมัน Diesel B20 B50 และ B100 ตามลำดับ โดยมีค่าที่ 65.5 62.9 59.5 และ 59.3 kW ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจะสังเกตเห็นได้ว่ากำลังของเครื่องยนต์ Cummins จะลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลในส่วนผสมที่สูงขึ้นเนื่องจากเครื่องยนต์ Cummins มีระบบปั๊มจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบ rotary ซึ่งเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถรักษาระดับกำลังของเครื่องยนต์ได้ โดยดูจากค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ ซึ่งพบว่าตลอดช่วงความเร็วรอบที่ทำการทดสอบค่าแรงบิดยังคงสม่ำเสมอสำหรับทุก ๆ ชนิดของน้ำมันและเมื่อพิจารณาค่า SFC เฉลี่ยพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ระหว่าง 0.277–0.303 kg/kW-hr

4.1.3 เครื่องยนต์ Komatsu



รูปที่ 4.3 สมรรถนะเครื่องยนต์ Komatsu



รูปที่ 4.3 สมรรถนะเครื่องยนต์ Komatsu (ต่อ)

จากรูปที่ 4.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ พบว่าค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์จะอยู่ในช่วงความเร็วรอบเดียวกันกับเครื่องยนต์ Hino และเครื่องยนต์ Cummins คือ 1,800–2,000 รอบต่อนาที สำหรับเครื่องยนต์ Komatsu รุ่นนี้จะให้ผลการทดสอบคล้ายคลึงกันกับผลการทดสอบของเครื่องยนต์ Hino โดยน้ำมันที่ให้ค่ากำลังสูงสุดสำหรับเครื่องยนต์ Komatsu เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยคือ B20 B50 Diesel และ B100 โดยมีค่ากำลังสูงสุดที่ 66.5 62.7 60.6 และ 55.9 kW ตามลำดับ

นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่า กำลังของเครื่องยนต์ Komatsu เมื่อใช้น้ำมัน B50 จะมีกำลังสูงใกล้เคียงกับน้ำมัน Diesel ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเครื่อง Komatsu มีระบบ turbo-charge ที่ช่วยในการบรรจุก๊าซที่มากเกินไปทำให้การเผาไหม้ก่อนข้างสมบูรณ์ สามารถรองรับน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลสูง ๆ ได้ดี

เมื่อพิจารณาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) พบว่าการทดสอบกับน้ำมัน B20 จะให้ค่า SFC เฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 0.238 kg/kW-hr โดยคิดค่าเฉลี่ยในช่วงที่รอบเครื่องยนต์เร็วใช้งานจริง (1,500–1,800 รอบต่อนาที) รองลงมาคือ B50 Diesel และ B100 โดยมีค่า SFC เฉลี่ยที่ 0.250 0.269 และ 0.304 kg/kW-hr ตามลำดับ

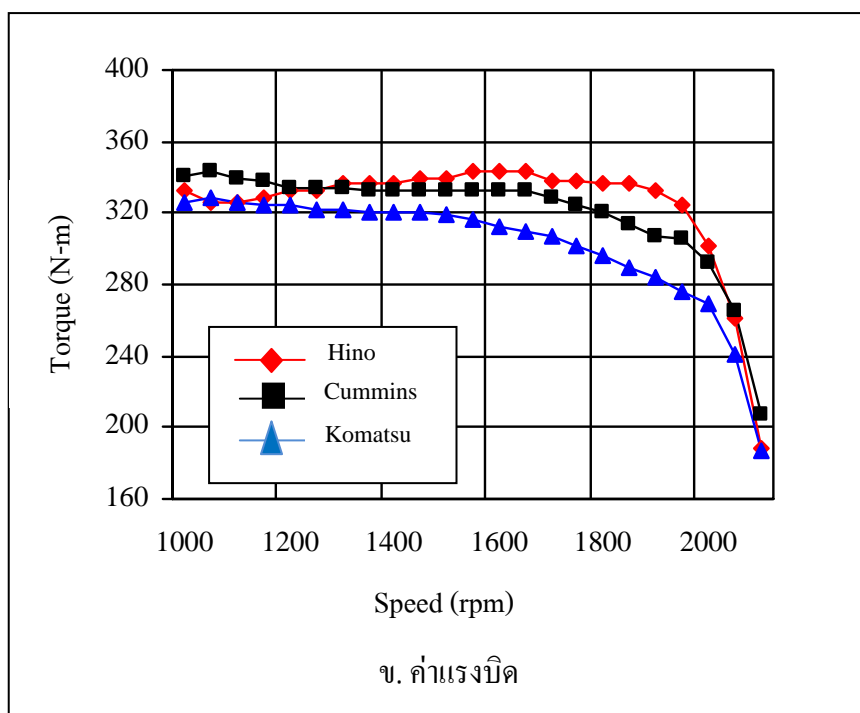
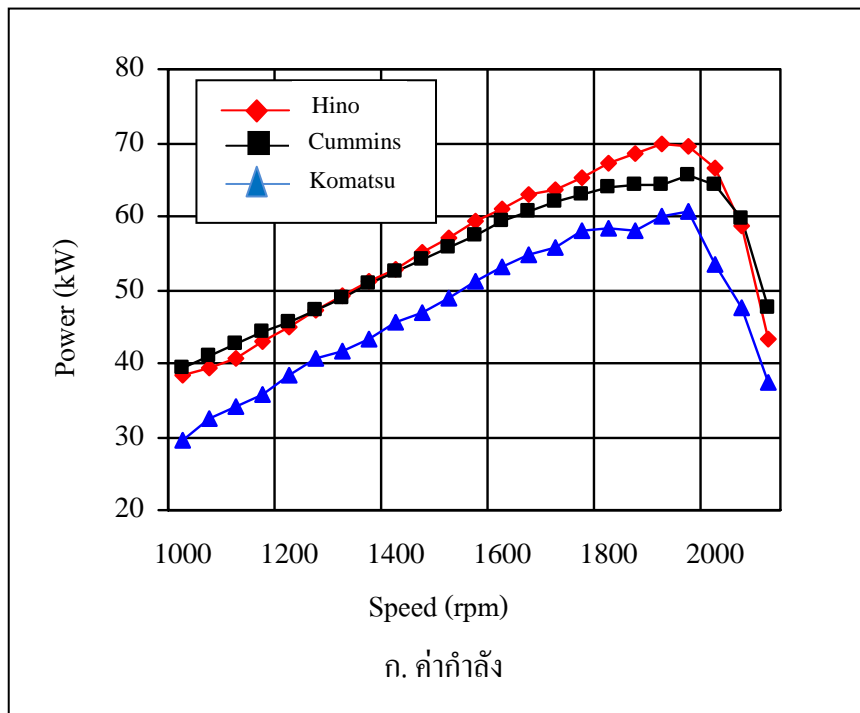
4.1.4 สรุปและอภิปรายผล

จากผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ 3 ยี่ห้อคือ (1) เครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C (2) เครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9 และ (3) เครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3 โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 4 ชนิดคือ น้ำมัน Diesel B20 B50 และ B100 ในภาพรวมพบว่าน้ำมัน B20 มีแนวโน้มในการให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ดีกว่าน้ำมันในสัดส่วนอื่น ๆ ที่นำมาวิเคราะห์ในการทดสอบนี้ไม่ว่าจะเป็น ค่ากำลังสูงสุด ค่าแรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมัน B20 สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลกับเรือประมงรอบกลางได้ และสามารถส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีขึ้นด้วย

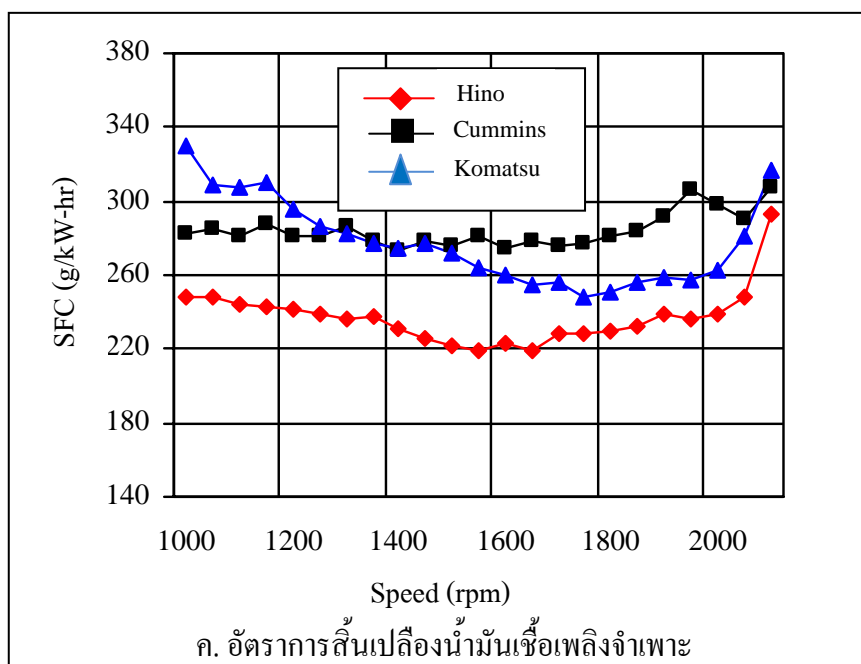
4.2 ผลเปรียบเทียบอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะจำแนกตามเครื่องยนต์

เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างในด้านของสมรรถนะของเครื่องยนต์ให้ชัดเจนขึ้นได้ แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ทั้ง 3 ยี่ห้อ โดยเปรียบเทียบที่การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเดียวกันคือน้ำมัน Diesel B20 B50 และ B100 ดังแสดงในรูปที่ 4.4–4.7 ซึ่งแสดงค่ากำลังแรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ทั้ง 3 ยี่ห้อเมื่อใช้น้ำมัน Diesel B20 B50 และ B100 เป็นเชื้อเพลิง ตามลำดับ

4.2.1 เครื่องยนต์ใช้น้ำมัน Diesel

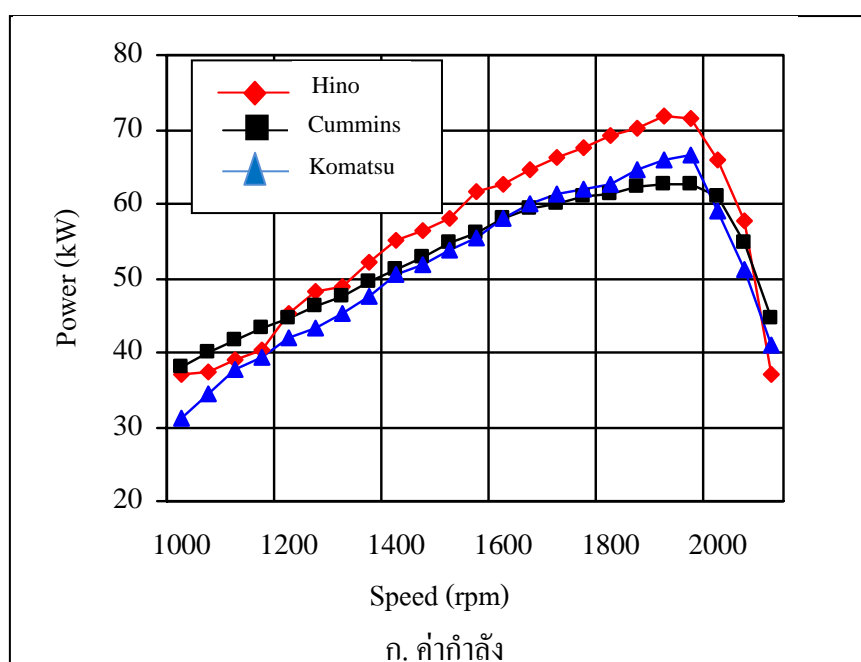


รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซล

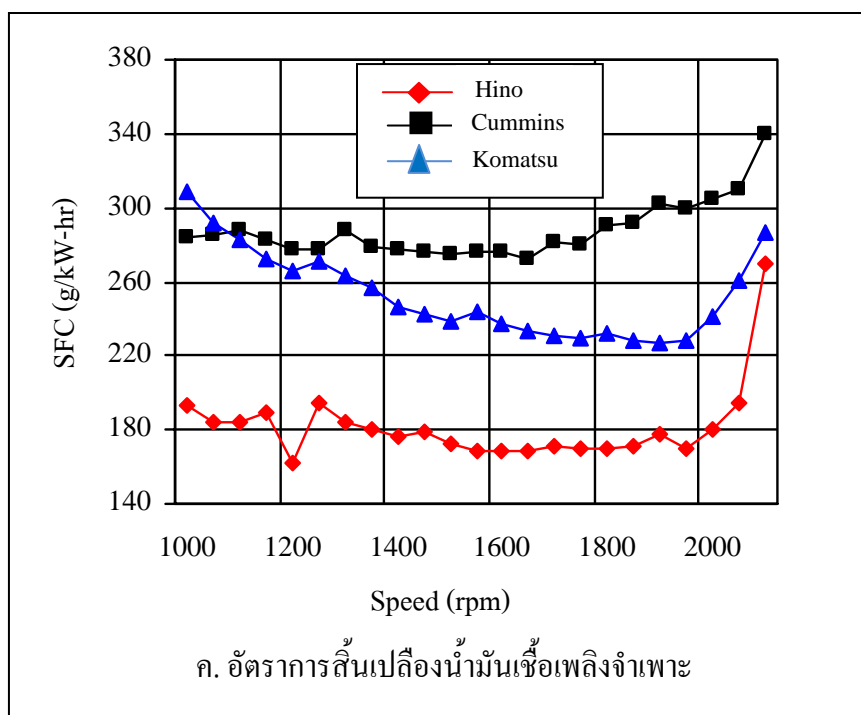
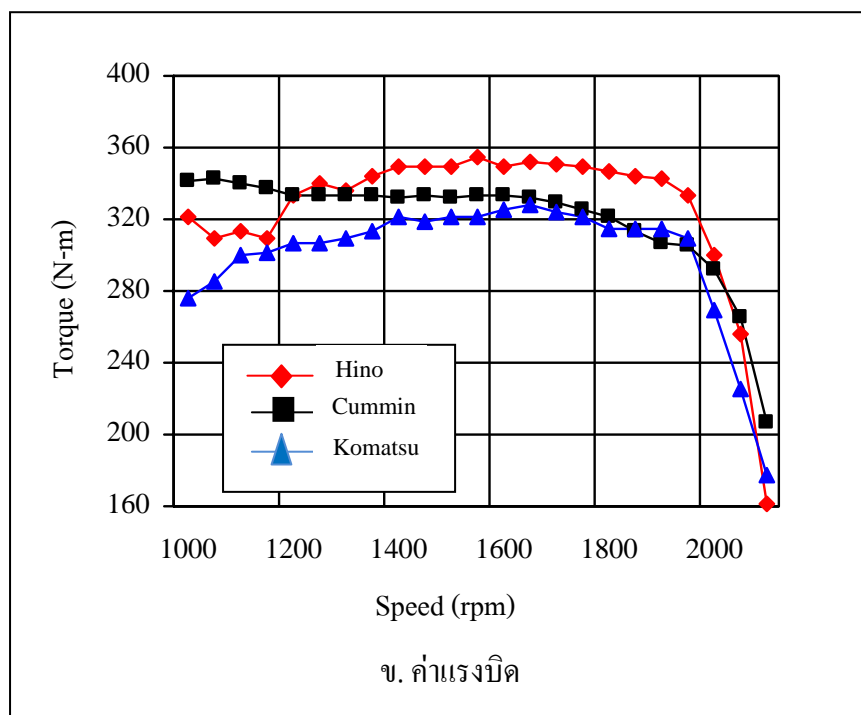


รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซล (ต่อ)

4.2.2 เครื่องยนต์ใช้น้ำมัน B20

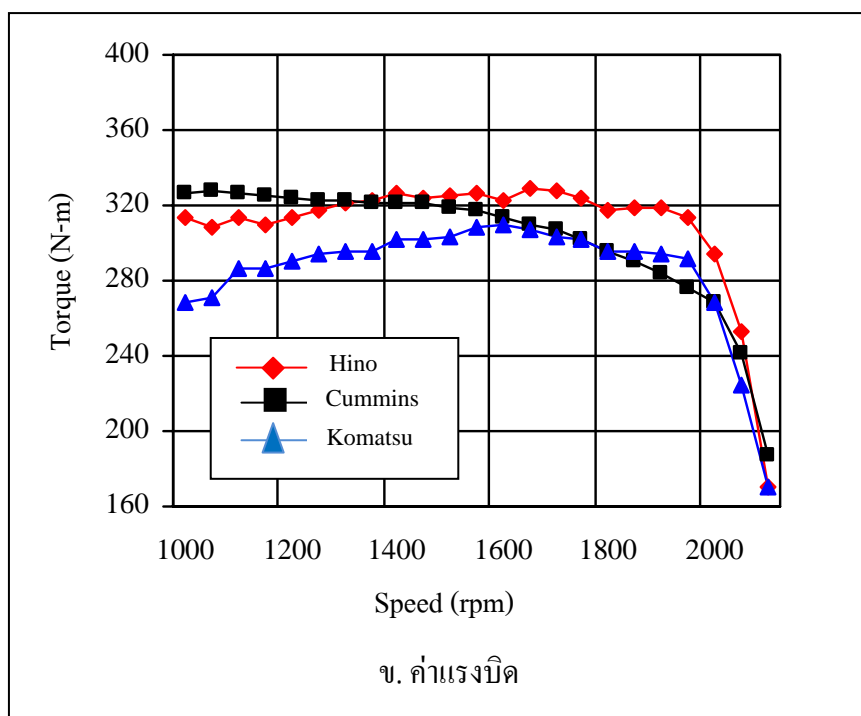
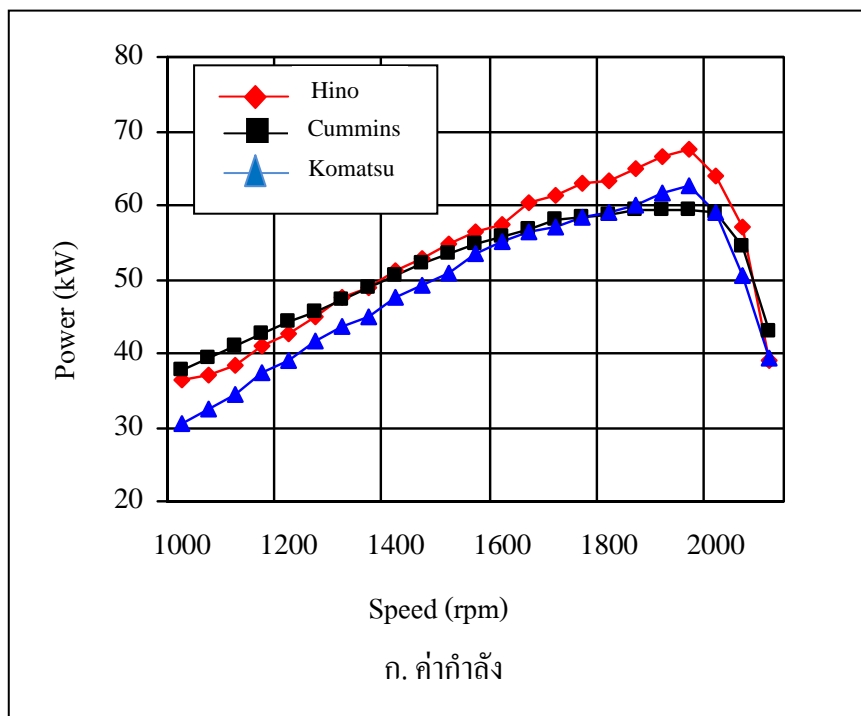


รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B20

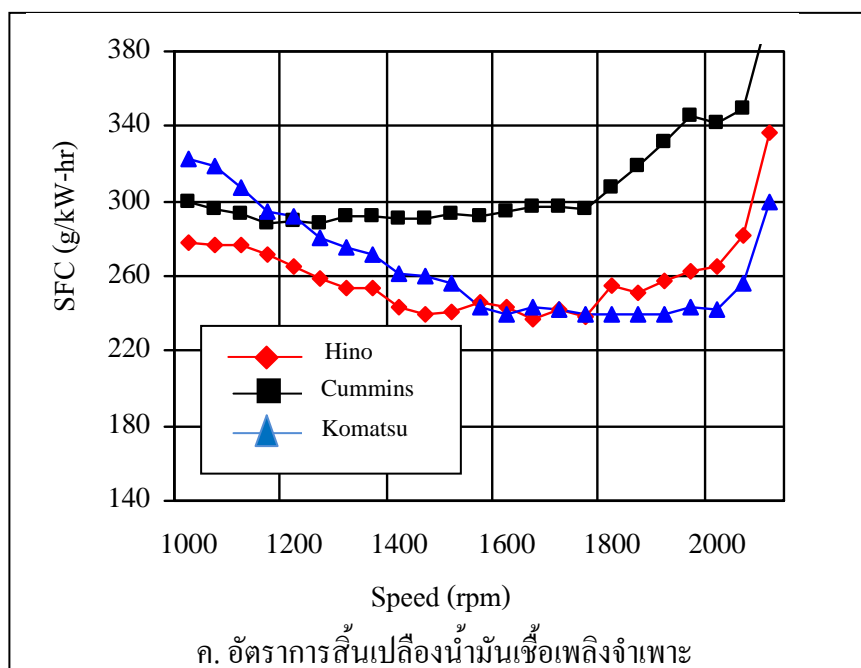


รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B20 (ต่อ)

4.2.3 เครื่องยนต์ใช้น้ำมัน B50

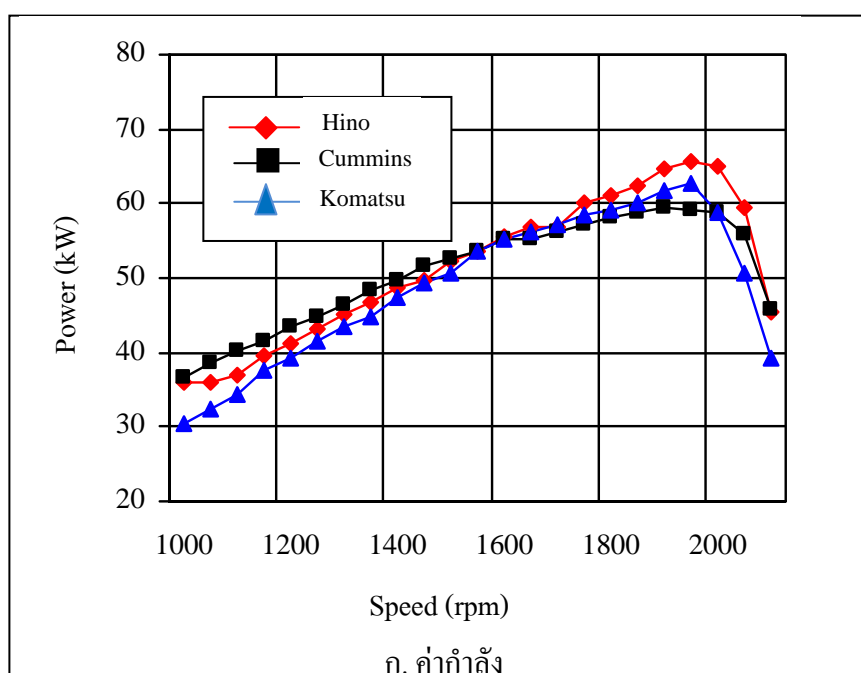


รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B50

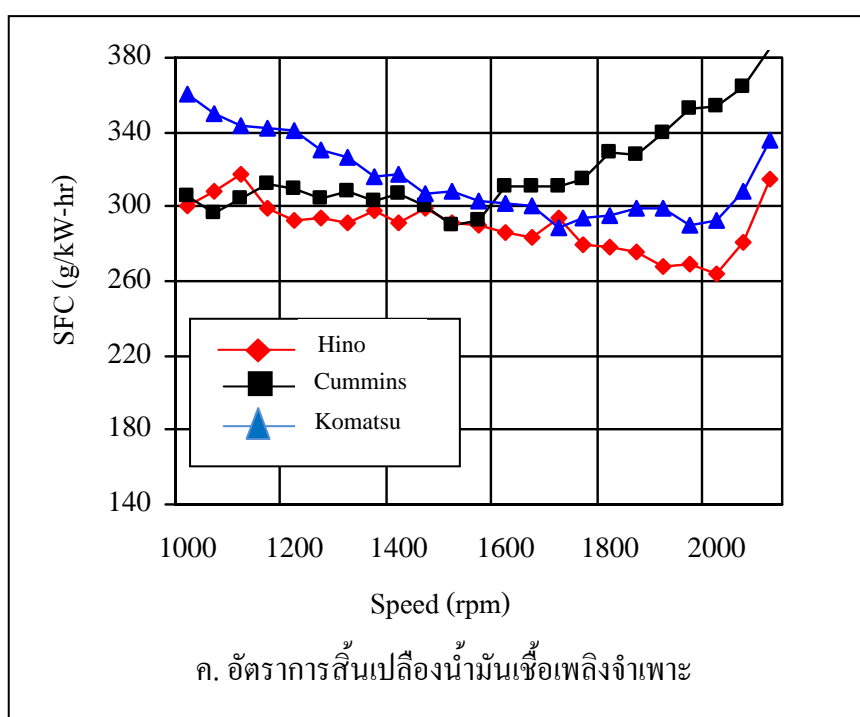
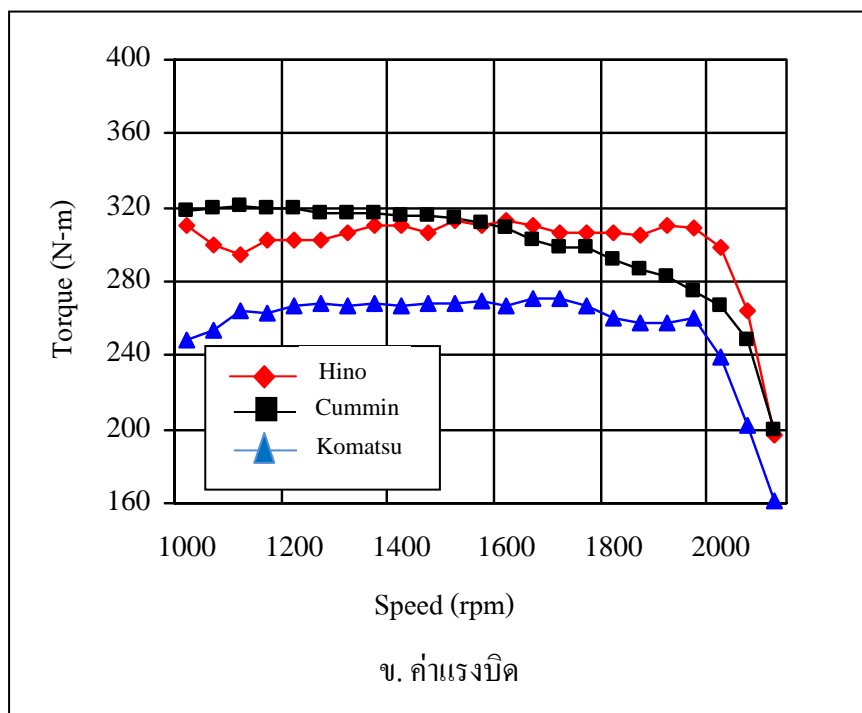


รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B50 (ต่อ)

4.2.4 เครื่องยนต์ใช้น้ำมัน B100



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B100



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ใช้น้ำมัน B100 (ต่อ)

4.2.5 สรุปและอภิปรายผล

จากผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ 3 ยี่ห้อคือ (1) เครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C (2) เครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9 และ (3) เครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3 โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 4 ชนิดคือ น้ำมัน Diesel B20 B50 และ B100 และเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์แต่ละชนิดผลการทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซลซึ่งเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กันปกติพบว่าเครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C มีสมรรถนะค่อนข้างดี (ค่ากำลังสูงสุดและค่าแรงบิด) เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9 และเครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3 ในสภาพการทำงานที่มีภาระ (โหลด) การทำงานสูงสุดที่ความเร็วรอบใช้งานจริง (1,500–1,800 รอบต่อนาที) นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องยนต์ Hino มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ต่ำกว่าเครื่องยนต์ Cummins และเครื่องยนต์ Komatsu

ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลคือ B20 B50 และ B100 พบว่าในสภาวะการทำงานที่ภาระการทำงานสูงสุด และความเร็วรอบใช้งานจริงในช่วง 1,500–1,800 รอบต่อนาที ผลของค่ากำลังสูงสุดและค่าแรงบิดของเครื่องยนต์จะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อใช้น้ำมัน B20 และลดต่ำลงเมื่อใช้น้ำมัน B50 และ B100 ตามลำดับ เครื่องยนต์ Hino สามารถตอบสนองต่อน้ำมันไบโอดีเซลได้ดีกว่าเครื่องยนต์ Cummins และเครื่องยนต์ Komatsu รวมไปถึงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ที่ต่ำกว่าแสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์ Hino รุ่นนี้เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวกำลังสำหรับเรือประมงรอบเดินกลาง

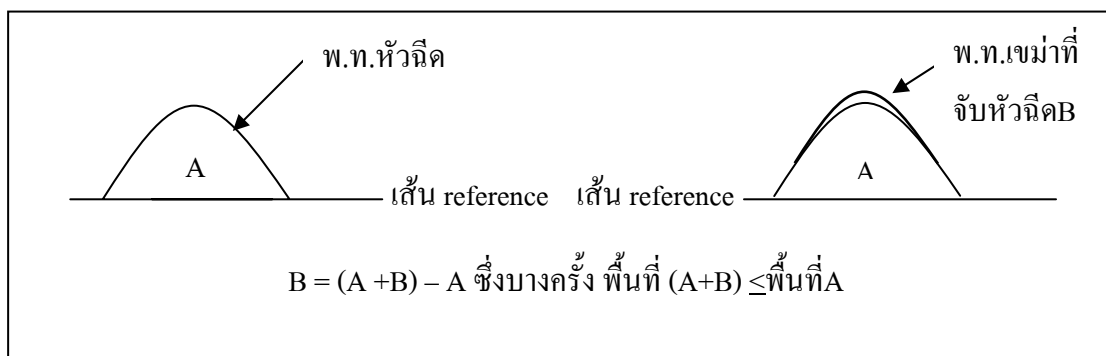
แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ประเภทน้ำมันเชื้อเพลิงและการเลือกใช้น้ำมันของเครื่องยนต์สำหรับเรือประมงรอบเดินกลางจำเป็นต้องทำการศึกษาถึงปัจจัยด้านมลพิษและการสึกหรอของเครื่องยนต์เพื่อใช้เป็นข้อมูลและองค์ประกอบในการตัดสินใจเลือกใช้งานเครื่องยนต์ด้วย

4.3 ผลการทดสอบระยะยาวเพื่อหาผลกระทบจากการใช้ไบโอดีเซล

4.3.1 ผลการวิเคราะห์คราบเขม่าที่หัวฉีด

การวิเคราะห์คราบเขม่าหัวฉีดใช้ดัชนีบ่งบอกคือ Coking Index (CI) ซึ่งหมายถึงค่าดัชนีที่เป็นตัวบ่งปริมาณเขม่าที่จับที่หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเนื่องจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง B20 B50 และ B100 ว่าเป็นกี่เท่าเมื่อเทียบกับการเผาไหม้ด้วยน้ำมันดีเซลปกติ ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{Coking Index} = \frac{\text{พื้นที่ที่เขม่าอันเกิดจากการเผาไหม้เชิงเพลิง Bxx}}{\text{พื้นที่เขม่าอันเกิดจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลปกติ}} \quad (4.1)$$



รูปที่ 4.8 การกำหนดเส้น reference เพื่อหาพื้นที่เขม่าที่จับหัวถืด

วิธีการหาค่า Coking Index ทำโดยการถ่ายภาพและใช้ Plane meter เพื่อหาพื้นที่ของหัวถืดที่ล้างสะอาด (พื้นที่ A) และนำไปทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซลนำกลับมาถ่ายภาพและใช้ Plane meter เพื่อหาพื้นที่ของหัวถืดอีกครั้ง (พื้นที่ A+B) และนำมาคำนวณหาพื้นที่หัวถืดที่เพิ่มขึ้น (พื้นที่ B) ซึ่งเป็นพื้นที่เขม่าอันเกิดจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลปกติ จากนั้นเริ่มทำการทดสอบและหาพื้นที่หัวถืดโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็น B20 B50 และ B100 โดยผลการวิเคราะห์ Coking Index เมื่อเครื่องยนต์รับภาระ 80% ของกำลังสูงสุดหรือ rated power แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า Coking Index ที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมัน B20 B50 และ B100 ที่ภาระ 80% ของกำลังสูงสุด (rated power) ที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที

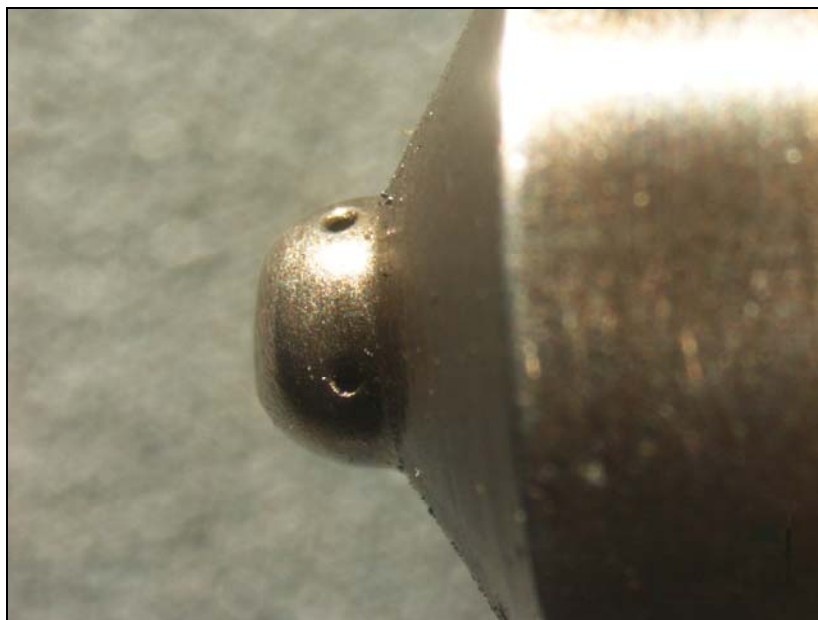
เครื่องยนต์	Coking Index		
	B20	B50	B100
เครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C	1.16	2.18	2.25
เครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9	1.27	2.01	2.85
เครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3	1.15	1.91	3.58

ผลการวิเคราะห์ค่า CI แสดงให้เห็นว่าค่า CI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลในส่วนผสมที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลกระทบของสมบัติและอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลที่สัดส่วนผสมสูง ๆ มีความหนืด และมีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง อีกทั้งมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีอัตราการใช้น้ำมันสูงกว่าเป็นผลทำให้เกิดเขม่าที่หัวถืดมากกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งสรุปได้ว่าน้ำมันไบโอดีเซลมีผลต่อเขม่าที่ติดกับหัวถืด ดังนั้นควรพิจารณาถึง

ผลกระทบที่จะตามมาจากการเกิดเขม่าที่หัวฉีดประกอบด้วย เช่น ผลกระทบต่อปั๊มหัวฉีด ซึ่งในการทดสอบ 500 ชั่วโมง ยังไม่พบความผิดปกติของปั๊มหัวฉีดในเครื่องยนต์ใด นอกจากนี้ยังพบว่าค่า CI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเครื่องยนต์รับภาระมากขึ้น โดยที่เครื่องยนต์แต่ละชนิดมีค่า CI ใกล้เคียงกัน

อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตบางประการคือ ในการวิเคราะห์พื้นที่หัวฉีดซึ่งใช้ Planimeter จากภาพถ่ายที่มีกำลังขยาย 15 เท่า นั้นการกำหนดเส้น reference เพื่อหาพื้นที่โดยใช้ Plane meter อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากภาพถ่ายที่ไม่ชัดเจนและการกำหนดเส้น reference ให้อยู่ในตำแหน่งเดิมจึงค่อนข้างเป็นไปได้ยาก ซึ่งภาพถ่ายหัวฉีดดังกล่าวแสดงไว้ในหัวข้อ 4.3.2–4.3.4 ในรูปที่ 4.9–4.23

4.3.2 หัวฉีดเครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C



รูปที่ 4.9 หัวฉีดเครื่องยนต์ Hino ที่ล้างสะอาด



รูปที่ 4.10 หัวฉีดเครื่องยนต์ Hino ที่มีเขม่าจับอันเมื่อใช้น้ำมันดีเซลที่ 1,800 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.11 หัวฉีดเครื่องยนต์ Hino ที่มีเขม่าจับอันเมื่อใช้น้ำมัน B20 ที่ 1,800 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.12 หัวฉีดเครื่องยนต์ Hino ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B50 ที่ 1,800 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.13 หัวฉีดเครื่องยนต์ Hino ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B100 ที่ 1,800 รอบต่อนาที

4.3.3 หัวฉีดเครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9



รูปที่ 4.14 หัวฉีดเครื่องยนต์ Cummins ที่ล้างสะอาด



รูปที่ 4.15 หัวฉีดเครื่องยนต์ Cummins ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมันดีเซลที่ 1,800 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.16 หัวฉีดเครื่องยนต์ Cummins ที่มีเขม่าเมื่อใช้น้ำมัน B20 ที่ 1,800 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.17 หัวฉีดเครื่องยนต์ Cummins ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B50 ที่ 1,800 รอบต่อนาที

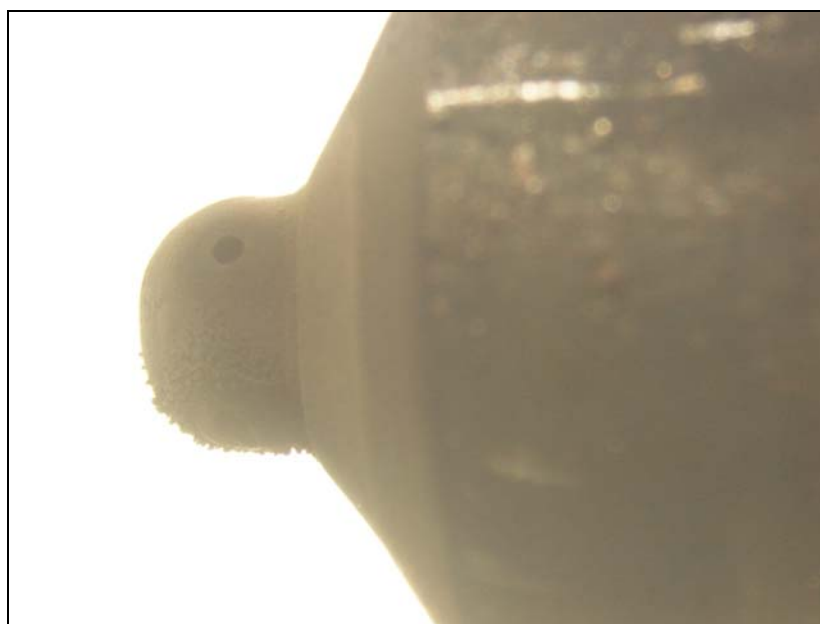


รูปที่ 4.18 หัวฉีดเครื่องยนต์ Cummins ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B100 ที่ 1,800 รอบต่อนาที

4.3.4 หัวฉีดเครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3



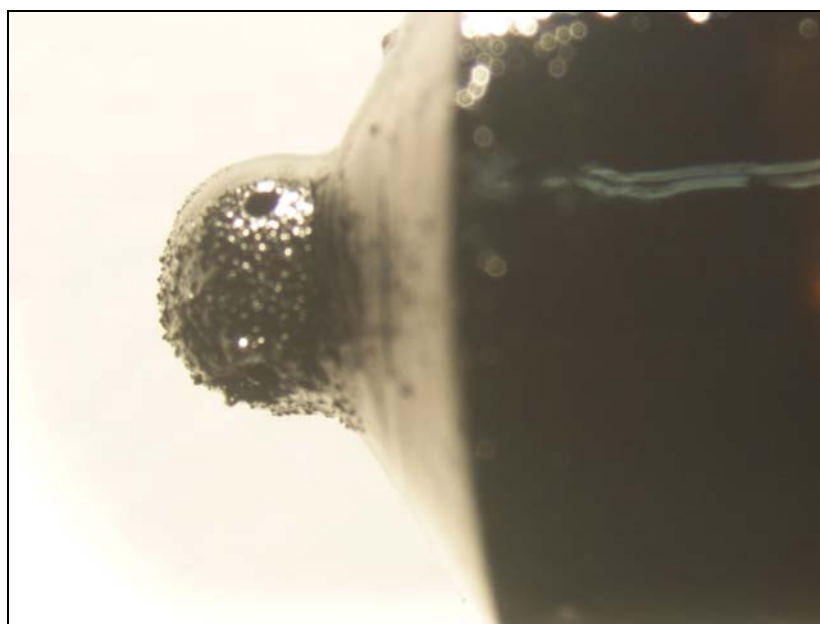
รูปที่ 4.19 หัวฉีดเครื่องยนต์ Komatsu ที่ล้างสะอาด



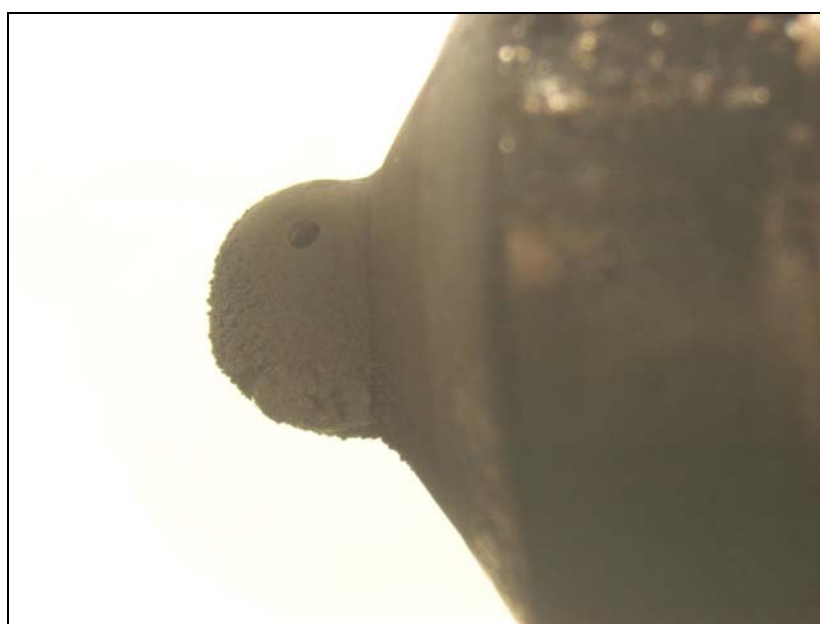
รูปที่ 4.20 หัวฉีดเครื่องยนต์ Komatsu ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมันดีเซล ที่ 1,800 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.21 หัวฉีดเครื่องยนต์ Komatsu ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B20 ที่ 1,800 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.22 หัวฉีดเครื่องยนต์ Komatsu ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B50 ที่ 1,800 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.23 หัวฉีดเครื่องยนต์ Komatsu ที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมัน B100 ที่ 1,800 รอบต่อนาที

จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการจำนวน 500 ชั่วโมง พบว่าแรงดันปั๊มหัวฉีดเชื้อเพลิงมีค่าแรงดันและปริมาตรอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปั๊มหัวฉีดรุ่นเดียวกันจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซลสามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์เรือประมงความเร็วรอบกลางได้โดยไม่มีผลกระทบต่อระบบส่งจ่ายเชื้อเพลิง เช่น ปั๊มหัวฉีด หัวฉีด เป็นต้น

4.3.5 การสึกหรอของแหวนลูกสูบ

ในการตรวจวัดการสึกหรอของแหวนลูกสูบนั้นทำโดยการชั่งน้ำหนักแหวนลูกสูบที่เปลี่ยนใหม่ก่อนการทดสอบ โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 (ความละเอียด 0.0001 กรัม) และชั่งน้ำหนักแหวนลูกสูบเมื่อชั่วโมงทำงานสะสมครบ 200 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักแหวนลูกสูบหลังทำการทดสอบ long-term test ที่ 500 ชั่วโมง โดยทำการทดสอบกับน้ำมัน Diesel B20 B50 และ B100 ผลการตรวจวัดน้ำหนักแหวนลูกสูบที่หายไปแสดงในตารางที่ 4.2–4.5

ตารางที่ 4.2 การสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อใช้น้ำมันดีเซล

เครื่องยนต์	น้ำหนักแหวนลูกสูบที่หายไป (%)	
	200 ชั่วโมง	500 ชั่วโมง
เครื่องยนต์ Hino (6 สูบ)	0.12	0.29
เครื่องยนต์ Cummins (6 สูบ)	0.03	0.06
เครื่องยนต์ Komatsu (4 สูบ)	0.30	0.71

ตารางที่ 4.3 การสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อใช้น้ำมัน B20

เครื่องยนต์	น้ำหนักแหวนลูกสูบที่หายไป (%)	
	200 ชั่วโมง	500 ชั่วโมง
เครื่องยนต์ Hino (6 สูบ)	0.11	0.31
เครื่องยนต์ Cummins (6 สูบ)	0.03	0.06
เครื่องยนต์ Komatsu (4 สูบ)	0.34	0.80

ตารางที่ 4.4 การสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อใช้น้ำมัน B50

เครื่องยนต์	น้ำหนักระบายของแหวนลูกสูบที่หายไป (%)	
	200 ชั่วโมง	500 ชั่วโมง
เครื่องยนต์ Hino (6 สูบ)	0.23	0.51
เครื่องยนต์ Cummins (6 สูบ)	0.08	0.19
เครื่องยนต์ Komatsu (4 สูบ)	0.40	0.92

ตารางที่ 4.5 การสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อใช้น้ำมัน B100

เครื่องยนต์	น้ำหนักระบายของแหวนลูกสูบที่หายไป (%)	
	200 ชั่วโมง	500 ชั่วโมง
เครื่องยนต์ Hino (6 สูบ)	1.37	2.88
เครื่องยนต์ Cummins (6 สูบ)	0.55	1.11
เครื่องยนต์ Komatsu (4 สูบ)	0.70	1.57

4.3.6 สรุปผลการสึกหรอของแหวนลูกสูบ

จากการตรวจวัดการสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อทำการทดสอบ long-term test ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าเมื่อสัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้น การสึกหรอของแหวนลูกสูบ (น้ำหนักระบายของแหวนลูกสูบที่หายไป) ก็ยิ่งสูงขึ้น และการสึกหรอของแหวนลูกสูบ เมื่อใช้น้ำมันที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

4.3.7 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่อง

การทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ 3 ยี่ห้อ โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 4 ชนิด คือน้ำมัน Diesel B20 B50 และ B100 ในส่วนของคุณภาพน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานในชั่วโมงการทำงานทุก ๆ 50 ชั่วโมง โดยทำการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องเมื่อทำงานได้ 200 ชั่วโมง โดยใช้น้ำมันเครื่องยี่ห้อ Castrol Tecron Extra SAE 15W-40 ซึ่งเป็นน้ำมันเครื่องสำหรับใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล โดยผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 4.6-4.17 ตามลำดับ ซึ่งจากการตรวจวัดสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ความหนาแน่นของน้ำมันเครื่อง (ASTM D 1298-99)

- จากผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นที่ห้องสาขาของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการทดสอบ ณ ชั่วโมงการทำงานที่ 50 100 150 และ 200 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้น (ความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่า 0.870 g/ml) โดยจะแปรผันตรงกับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินเครื่องยนต์ซึ่งความหนาแน่นจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถเรียงลำดับจากค่ามากไปน้อยตามยี่ห้อเครื่องยนต์ได้ดังนี้คือ เครื่องยนต์ Hino เครื่องยนต์ Komatsu และเครื่องยนต์ Cummins ผลของความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องจากการทดสอบด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเดียวกันคือน้ำมัน B20 อาจเนื่องมาจากสภาพของเครื่องยนต์ที่มีอายุการใช้งานมานาน และลักษณะเฉพาะด้านการออกแบบของเครื่องยนต์ที่แตกต่างกัน

- เมื่อพิจารณาผลของการทดสอบการใช้น้ำมัน B20 B50 และ B100 กับเครื่องยนต์ Hino พบว่าสัดส่วนของปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมน้ำมันดีเซลมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของน้ำมันเครื่อง โดยเมื่อสัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลมากกว่าร้อยละ 20 โดยปริมาตรจะทำให้ความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณควันดำที่เกิดขึ้นคือน้ำมัน B20 มีค่ามากกว่าน้ำมัน B50 และน้ำมัน B100 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากควันดำที่เกิดจากการเผาไหม้ถูกชะล้างลงไปอยู่ในน้ำมันเครื่อง ดังนั้นเพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์และน้ำมันเครื่องควรใช้สัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลน้อยกว่าร้อยละ 20 โดยปริมาตร

2) ความหนืดของน้ำมันเครื่อง (ASTM D 445-04)

- คุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันเครื่อง (น้ำมันหล่อลื่น) ที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทดสอบเพิ่มมากขึ้นอาจเนื่องจาก เขม่า สารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ซึ่งลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแยกประเภทอย่างง่ายโดยดูจากสีของเปลวไฟ และปริมาณของเขม่าควัน ตัวอย่างเช่นเชื้อเพลิงคุณภาพดีจะให้เปลวไฟสีขาวถึงฟ้า มีเขม่าและควันน้อย เป็นต้น

- จากผลการวิเคราะห์ความหนืดของน้ำมันเครื่องที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อทดสอบด้วยเครื่องยนต์ Hino Komatsu และ Cummins โดยใช้น้ำมัน B20 (รูปที่ 4.5) พบว่าความหนืดของน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทดสอบเครื่องยนต์นานขึ้น จาก 50 100 150 และ 200 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องมาจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบเครื่องยนต์ทำให้เกิดสารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน และเขม่า ซึ่งจะถูกระบายลงมายังน้ำมันเครื่องส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและเสื่อมสภาพลงในที่สุด และเมื่อพิจารณา

ถึงประสิทธิภาพของการสันดาปของเครื่องยนต์ และใช้ความหนืดของน้ำมันเครื่องเป็นเกณฑ์ โดยเรียงลำดับจากค่ามากไปน้อยพบว่า ประสิทธิภาพของการสันดาปของเครื่องยนต์ Cummins มีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ Komatsu และเครื่องยนต์ Hino ตามลำดับ

- เมื่อพิจารณาผลของการทดสอบการใช้ น้ำมัน B20 B50 และ B100 กับเครื่องยนต์ Hino พบว่าสัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันดีเซลมีผลต่อความหนืดของน้ำมันเครื่อง ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องรวมถึงปริมาณเขม่าและควันดำที่ท่อไอเสีย ค่าความหนืดนี้อาจใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์หรือชนิดของเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ชนิดนั้น ๆ สำหรับเครื่องยนต์ Hino นี้สรุปได้ว่าน้ำมัน B20 มีความเหมาะสมที่สุด

3) ปริมาณโลหะและอโลหะปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง (XRF: X-Ray Fluorescence)

- ปริมาณโลหะปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะในน้ำมันเครื่องพบค่า Fe Pb Cr และ Cu ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของน้ำมันเชื้อเพลิงต่อการสึกหรอพบว่า น้ำมัน B100 ทำให้เครื่องยนต์ทั้ง 3 ยี่ห้อ มีการสึกหรอสูงสุด รองมาคือ น้ำมัน B50 น้ำมันดีเซล และน้ำมัน B20 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการสึกหรอระหว่างเครื่องยนต์พบว่า เครื่องยนต์ Hino มีค่าการสึกหรอมากที่สุด รองลงมาคือ เครื่องยนต์ Komatsu และเครื่องยนต์ Cummins ตามลำดับ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการสึกหรอของชิ้นส่วนโลหะภายในเครื่องยนต์เช่น แหวน ระบายอกสูบ และอื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นและความหนืดของน้ำมันเครื่องที่เพิ่มขึ้นอันส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการหล่อลื่นลดลง

- ปริมาณอโลหะปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง

จากการวิเคราะห์ปริมาณอโลหะในน้ำมันเครื่องพบว่า อโลหะ Al และ Si มีแนวโน้มทำให้ความหนืดของน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้นซึ่งค่า Al เป็นตัวบ่งชี้ถึงการสึกหรอของลูกสูบหรือ Bearing ส่วนค่า Si ที่พบนั้นอาจมาจากฝุ่นละอองที่สามารถผ่านกรองอากาศเข้ามาในเครื่องยนต์ได้ นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์อีก เช่น (1) ค่าความชื้นที่เหลืออยู่ในกระบอกสูบ ซึ่งจะทำให้เกิดการสึกหรอในช่วง start เครื่องยนต์ (2) การกระจายตัวของน้ำมันเครื่องที่ไม่ดีพอ (3) น้ำมันเครื่องสกปรกหรือเสื่อมสภาพ (4) ชนิดของเชื้อเพลิงและ (5) ระบบกรองอากาศที่ไม่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น

ตารางที่ 4.6–4.9 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C เมื่อใช้น้ำมัน Diesel B20 B50 และ B100 เป็นเชื้อเพลิงตามลำดับ ในขณะที่ตารางที่ 4.10–4.13 แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3 และตารางที่ 4.14–4.17

แสดงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9 เมื่อใช้น้ำมันดีเซล B20 B50 และ B100 เป็นเชื้อเพลิงตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืด ที่ 40°C (cSt)	110	119	128	137	110	118	126	134	142	150
ความหนืด ที่ 100°C (cSt)	15.10	15.71	16.32	16.91	15.03	15.58	16.13	16.68	17.23	17.78
ความหนาแน่น 40°C (kg/m ³)	882.1	882.3	882.4	882.6	882.2	882.5	882.8	883.1	883.5	883.6
ความหนาแน่น 100°C (kg/m ³)	852.5	853.0	853.5	854.0	852.4	852.9	853.6	854.1	854.5	855.1
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	11	10.2	9.5	8.5	11.2	10.3	9.4	8.2	8.0	7.8
Fe (ppm)	15.48	16.05	17.72	17.97	14.31	15.35	16.71	17.22	17.97	18.44
Pb (ppm)	0.36	0.50	0.63	0.87	0.47	0.57	0.58	0.76	0.95	1.10
Cr (ppm)	0.17	0.32	0.53	0.69	0.21	0.39	0.47	0.69	0.87	0.91
Cu (ppm)	0.31	0.50	0.84	1.27	0.34	0.56	1.09	1.40	2.12	2.62
Al (ppm)	0.73	1.10	1.32	1.51	0.65	0.97	1.39	1.50	1.88	2.22
Si (ppm)	3.92	4.09	4.65	5.91	3.25	3.57	4.57	5.73	7.08	8.01

ตารางที่ 4.7 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability
ของเครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืด ที่ 40°C (cSt)	112	123	138	152	111	125	139	153	167	181
ความหนืด ที่ 100°C (cSt)	15.1	16.2	16.9	17.8	15.1	15.9	16.8	17.7	18.5	19.3
ความหนาแน่น 40°C (kg/m ³)	882.2	882.4	882.6	882.6	882.0	882.4	882.6	882.8	883.0	883.1
ความหนาแน่น 100°C (kg/m ³)	851.0	852.1	853.2	854.4	851.5	852.5	853.5	854.6	855.7	856.5
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	11.45	11.21	10.85	10.4	11.21	10.54	10.01	9.5	9.2	9.3
Fe (ppm)	15.48	16.05	17.72	17.97	14.32	15.36	16.71	17.22	17.97	18.44
Pb (ppm)	0.32	0.45	0.56	0.78	0.42	0.51	0.52	0.68	0.85	0.98
Cr (ppm)	0.15	0.29	0.47	0.62	0.19	0.35	0.42	0.62	0.78	0.81
Cu (ppm)	0.28	0.45	0.75	1.13	0.30	0.51	0.97	1.25	1.89	2.34
Al (ppm)	0.65	0.98	1.18	1.35	0.58	0.87	1.24	1.34	1.68	1.98
Si (ppm)	3.5	3.65	4.15	5.28	2.95	3.19	4.08	5.12	6.32	7.14

ตารางที่ 4.8 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability
ของเครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืด ที่ 40°C (cSt)	111	131	150	170	110	135	156	174	193	224
ความหนืด ที่ 100°C (cSt)	15	16.2	17.4	17.7	18.3	15.2	16.4	17.9	18.7	20.1
ความหนาแน่น 40°C (kg/m ³)	881.3	881.6	881.9	882.2	881.5	881.8	882.1	882.4	882.7	883.0
ความหนาแน่น 100°C (kg/m ³)	851.6	853.0	854.5	856.0	851.5	853.0	854.1	856.2	857.8	859.7
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	10.8	10.2	10.5	9.8	11.2	10.8	10.3	9.6	9.8	9.3
Fe (ppm)	14.89	15.40	16.89	17.12	13.85	14.78	15.9	16.45	17.15	17.54
Pb (ppm)	0.12	0.22	0.76	1.32	0.28	0.38	0.97	1.25	1.32	1.45
Cr (ppm)	0.18	0.32	0.52	0.78	0.2	0.35	0.48	0.65	0.71	0.79
Cu (ppm)	0.31	0.58	1.15	1.4	0.29	0.42	1.05	1.54	2.08	2.74
Al (ppm)	0.85	1.12	1.65	2.98	0.72	0.98	1.57	1.95	2.47	2.51
Si (ppm)	3.1	3.24	4.25	5.02	3.15	3.52	4.98	5.49	6.89	7.43

ตารางที่ 4.9 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability
ของเครื่องยนต์ Hino รุ่น HO7C เมื่อใช้น้ำมัน B100 เป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืด ที่ 40°C (cSt)	110	135	161	185	111	134	159	182	209	235
ความหนืด ที่ 100°C (cSt)	15.5	16.6	17.7	18.5	15.7	162	17.9	19.1	20.2	21.3
ความหนาแน่น 40°C (kg/m ³)	882.5	882.9	883.3	883.8	883.2	883.7	884.1	884.6	885.0	885.5
ความหนาแน่น 100°C (kg/m ³)	851.2	853.4	855.1	857.2	851.5	853.4	855.2	857.2	859.6	861.2
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	11.1	10.85	10.2	10.3	11.5	10.4	10.2	9.5	9.8	10.1
Fe (ppm)	16.22	17.25	18.15	18.62	16.34	17.21	17.51	18.72	19.12	19.51
Pb (ppm)	0.25	0.39	0.89	1.2	0.35	0.42	1.1	1.15	1.28	1.5
Cr (ppm)	0.21	0.35	0.50	0.65	0.25	0.38	0.52	0.61	0.72	0.81
Cu (ppm)	0.45	0.68	1.05	1.25	0.35	0.58	1.15	1.67	2.14	2.87
Al (ppm)	0.95	1.25	1.87	2.52	0.87	1.11	1.75	2.15	2.51	2.45
Si (ppm)	2.53	3.15	4.58	5.12	2.17	2.95	4.67	5.35	7.21	7.56

ตารางที่ 4.10 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability
ของเครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3 เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืด ที่ 40°C (cSt)	110	112	115	117	111	115	114	118	120	123
ความหนืด ที่ 100°C (cSt)	15.6	16.2	16.5	17.2	15.6	16.4	16.8	17.2	17.8	18.2
ความหนาแน่น 40°C (kg/m ³)	873.5	874.4	876.3	873.1	874.5	875.3	876.2	877.1	878.6	878.2
ความหนาแน่น 100°C (kg/m ³)	845.2	846.3	847.5	848.5	846.2	847.5	848.5	849.6	850.6	851.5
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	10.2	10.5	10.6	9.8	11.1	10.5	10.2	9.6	9.2	9.7
Fe (ppm)	15.41	16.19	16.44	17.47	17.73	18.16	15.14	15.88	16.12	17.10
Pb (ppm)	0.30	0.36	0.86	0.99	1.10	1.29	0.29	0.34	0.82	0.94
Cr (ppm)	0.21	0.34	0.45	0.52	0.63	0.69	0.20	0.31	0.42	0.49
Cu (ppm)	0.32	0.54	0.98	1.43	1.84	2.47	0.29	0.47	0.94	1.35
Al (ppm)	0.75	0.95	1.51	1.85	2.15	2.06	0.71	0.95	1.43	1.75
Si (ppm)	2.80	2.53	4.01	4.60	6.19	6.50	2.11	2.41	3.81	4.37

ตารางที่ 4.11 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability
ของเครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3 เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืด ที่ 40°C (cSt)	112	114.5	116.4	119.5	111.2	113.5	116.6	121.5	123.5	125.7
ความหนืด ที่ 100°C (cSt)	15.2	16.8	18.3	19.8	15.1	16.8	18.30	19.8	21.3	22.8
ความหนาแน่น 40°C (kg/m ³)	873.2	875.6	877.2	879.1	873.1	875.2	877.1	879.5	881.1	883.2
ความหนาแน่น 100°C (kg/m ³)	845.2	847.5	849.5	851.3	845.1	847.5	849.3	851.2	853.1	855.1
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	11.2	10.8	10.5	10.3	10.2	9.7	9.5	9.8	9.1	9.3
Fe (ppm)	14.83	15.52	15.75	16.67	16.90	17.29	14.59	15.26	15.47	16.34
Pb (ppm)	0.27	0.32	0.77	0.88	0.98	1.15	0.26	0.31	0.73	0.84
Cr (ppm)	0.19	0.29	0.40	0.46	0.55	0.61	0.18	0.28	0.38	0.44
Cu (ppm)	0.27	0.44	0.88	1.28	1.64	2.20	0.26	0.42	0.84	1.22
Al (ppm)	0.67	0.85	1.34	1.61	1.92	1.84	0.63	0.81	1.28	1.53
Si (ppm)	1.98	2.26	3.58	4.10	5.53	5.80	1.88	2.15	3.40	3.90

ตารางที่ 4.12 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability
ของเครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3 เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืด ที่ 40°C (cSt)	112.3	113.9	117.8	120.5	111.5	114.2	119.9	121.9	124.5	128.7
ความหนืด ที่ 100°C (cSt)	15.2	17.3	19.5	20.8	15.1	16.9	18.6	20.1	22.3	23.8
ความหนาแน่น 40°C (kg/m ³)	874.2	876.5	879.2	881.5	875.2	877.2	880.2	882.5	885.3	887.5
ความหนาแน่น 100°C (kg/m ³)	846.2	848.5	851.2	853.5	846.5	849.2	851.2	854.6	856.7	859.5
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	9.5	10.2	9.6	9.4	10.3	9.5	9.2	9.6	9.4	9.1
Fe (ppm)	15.01	15.85	16.58	16.94	15.09	15.81	16.06	17.03	17.27	17.67
Pb (ppm)	0.20	0.31	0.72	0.97	0.28	0.34	0.81	0.93	1.03	1.21
Cr (ppm)	0.17	0.28	0.40	0.52	0.20	0.31	0.42	0.48	0.58	0.66
Cu (ppm)	0.36	0.55	0.85	0.10	0.28	0.47	0.92	1.35	1.73	2.32
Al (ppm)	0.77	1.01	1.51	2.03	0.7	0.91	1.41	1.73	2.02	1.94
Si (ppm)	2.25	2.54	3.71	4.13	1.85	2.38	3.77	4.32	5.82	6.10

ตารางที่ 4.13 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability
ของเครื่องยนต์ Komatsu รุ่น S4D105-3 เมื่อใช้น้ำมัน B100 เป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืด ที่ 40°C (cSt)	110.8	115.2	119.5	123.8	112.1	115.8	119.5	123.8	128.2	132.5
ความหนืด ที่ 100°C (cSt)	15.1	17.2	19.3	21.4	15.2	17.5	19.4	21.3	23.4	25.7
ความหนาแน่น 40°C (kg/m ³)	874.2	877.5	880.7	883.2	876.5	879.1	882.5	885.4	888.2	891.5
ความหนาแน่น 100°C (kg/m ³)	846.5	849.2	852.2	855.2	848.6	851.6	854.9	857.6	869.2	868.1
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	11.2	10.9	10.5	10.5	11.5	11.2	10.5	10.9	10.3	9.8
Fe (ppm)	15.27	16.16	16.93	17.31	15.36	16.12	16.38	17.40	17.65	18.08
Pb (ppm)	0.21	0.33	0.76	1.02	0.30	0.36	0.85	0.98	1.09	1.28
Cr (ppm)	0.18	0.32	0.43	0.55	0.21	0.32	0.44	0.51	0.62	0.69
Cu (ppm)	0.38	0.58	0.89	1.06	0.31	0.49	0.98	1.42	1.82	2.44
Al (ppm)	0.81	1.06	1.59	2.14	0.74	0.94	1.49	1.79	2.13	2.04
Si (ppm)	2.13	2.68	3.89	4.35	1.84	2.51	3.97	4.55	6.13	6.43

ตารางที่ 4.14 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability
ของเครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9 เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืด ที่ 40°C (cSt)	111.2	113.5	115.6	117.8	111.6	113.4	115.8	117.5	121.5	123.5
ความหนืด ที่ 100°C (cSt)	15.2	15.7	16.4	16.8	15.2	16.3	16.8	17.5	17.9	18.4
ความหนาแน่น 40°C (kg/m ³)	873.4	873.8	874.2	874.6	873.2	873.6	874.5	874.4	874.9	875.2
ความหนาแน่น 100°C (kg/m ³)	844.9	845.3	845.7	846.1	845.2	845.5	845.9	846.2	846.7	847.8
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	10.2	10.5	9.6	9.9	10.5	10.9	9.8	9.5	9.6	9.2
Fe (ppm)	17.50	19.92	20.31	21.96	22.89	23.06	18.23	19.41	19.80	21.37
Pb (ppm)	0.48	0.58	1.45	1.58	1.76	2.06	0.46	0.55	1.31	1.50
Cr (ppm)	0.34	0.52	0.85	0.83	0.99	1.10	0.33	0.50	0.68	0.78
Cu (ppm)	0.48	0.81	1.61	2.32	2.94	3.95	0.46	0.76	1.52	2.19
Al (ppm)	1.21	1.53	2.41	2.89	3.44	3.32	1.14	1.45	2.29	2.74
Si (ppm)	3.63	5.42	6.42	7.36	9.85	10.41	3.38	3.85	6.45	6.99

ตารางที่ 4.15 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability
ของเครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9 เมื่อใช้ B20 เป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืด ที่ 40°C (cSt)	111.5	113.5	116.5	121.5	112.1	115.3	118.6	120.5	123.8	126.8
ความหนืด ที่ 100°C (cSt)	15.5	16.9	18.2	19.3	15.4	17.2	18.3	19.55	20.8	21.9
ความหนาแน่น 40°C (kg/m ³)	873.1	874.2	875.6	876.1	873.5	874.5	875.9	876.4	877.5	878.5
ความหนาแน่น 100°C (kg/m ³)	845.1	846.2	847.5	844.5	845.2	846.5	847.6	848.9	849.5	855.2
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	11.2	10.5	10.8	9.5	10.8	10.5	9.7	9.2	9.5	9.1
Fe (ppm)	17.50	18.25	18.59	19.97	20.31	20.89	16.86	17.84	18.17	19.47
Pb (ppm)	0.40	0.48	1.15	1.32	1.47	1.72	0.38	0.46	1.09	1.25
Cr (ppm)	0.29	0.44	0.60	0.69	0.83	0.92	0.27	0.41	0.57	0.65
Cu (ppm)	0.40	0.66	1.32	1.91	2.45	3.29	0.38	0.63	1.25	1.82
Al (ppm)	1.02	1.27	2.01	2.41	2.86	2.75	0.95	1.21	1.91	2.29
Si (ppm)	3.00	4.50	5.35	6.13	8.6	8.66	2.81	3.21	5.08	5.82

ตารางที่ 4.16 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability
ของเครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9 เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืด ที่ 40°C (cSt)	111.6	114.8	118.5	122.6	112.5	115.9	119.5	123.5	128.4	130.7
ความหนืด ที่ 100°C (cSt)	15.4	17.2	19.5	20.9	15.5	17.5	19.2	20.3	22.5	23.4
ความหนาแน่น 40°C (kg/m ³)	873.5	875.6	877.1	879.6	873.6	875.4	877.6	879.5	881.6	883.5
ความหนาแน่น 100°C (kg/m ³)	845.6	847.5	849.2	851.6	845.2	847.5	849.2	851.6	853.9	855.4
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	11.2	10.8	10.2	10.5	11.5	11.1	10.5	10.4	10.2	9.8
Fe (ppm)	17.60	18.69	19.05	20.49	20.86	21.46	17.22	18.25	18.59	19.97
Pb (ppm)	0.42	0.51	1.21	1.39	1.54	1.81	0.42	0.48	1.15	1.32
Cr (ppm)	0.36	0.46	0.63	0.72	0.87	0.97	0.29	0.44	0.60	0.69
Cu (ppm)	0.42	0.70	1.39	2.01	2.58	3.46	0.45	0.67	1.32	1.91
Al (ppm)	1.05	1.34	2.11	2.53	3.02	2.90	1.00	1.27	2.01	2.41
Si (ppm)	3.10	3.56	5.63	6.45	8.90	9.16	2.96	3.38	5.35	6.13

ตารางที่ 4.17 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability
ของเครื่องยนต์ Cummins รุ่น 6B5.9 เมื่อใช้ B100 เป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความหนืด ที่ 40°C (cSt)	111.6	115.8	120.6	125.7	112.3	117.8	124.6	126.9	132.5	135.7
ความหนืด ที่ 100°C (cSt)	15.6	16.9	19.5	21.3	15.7	16.8	20.8	22.5	23.5	26.8
ความหนาแน่น 40°C (kg/m ³)	873.9	876.5	879.2	882.5	873.5	876.9	879.5	882.5	885.6	888.1
ความหนาแน่น 100°C (kg/m ³)	845.6	848.5	851.6	854.2	845.6	848.2	851.3	854.2	857.6	860.3
ค่าความเป็นด่าง (gKOH/g)	11.3	10.8	10.4	9.5	10.2	9.5	9.4	9.6	9.5	9.2
Fe (ppm)	16.50	17.42	17.73	18.97	19.28	19.79	16.17	17.05	17.35	18.52
Pb (ppm)	0.36	0.43	1.03	1.19	1.32	1.55	0.34	0.41	0.98	1.13
Cr (ppm)	0.26	0.39	0.54	0.62	0.74	0.82	0.24	0.37	0.51	0.59
Cu (ppm)	0.36	0.60	1.19	1.72	2.21	2.96	0.34	0.57	1.13	1.64
Al (ppm)	0.90	1.14	1.80	2.17	2.58	2.47	0.85	1.09	1.71	2.06
Si (ppm)	3.36	3.04	4.81	5.52	7.43	7.79	2.53	2.89	4.57	5.24

4.4 ผลการทดสอบการติดเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำ

การทดสอบการสตาร์ทเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำนั้น เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลผลิตจากน้ำมันพืช ซึ่งสามารถกลายเป็นของแข็งหรือเป็นไขได้ ดังนั้นการนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้งานในเครื่องยนต์ การทดสอบในส่วนนี้จึงมีความสำคัญเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องยนต์ที่ต้องทำงานอยู่ในสภาพอากาศที่ค่อนข้างเย็น หรือมีอุณหภูมิต่ำ และต้องดับเครื่องยนต์เป็นเวลานาน ๆ การสตาร์ทเครื่องยนต์อาจไม่สามารถทำได้ เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีสภาพเป็นไข (wax)

การทดสอบนี้ ได้กระทำในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2551-มกราคม 2552 ซึ่งที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา อยู่ในช่วงฤดูหนาว (อุณหภูมิกาศบริเวณพื้นที่ที่ทดสอบวัดได้ อยู่ในช่วง 12-15 องศาเซลเซียส เป็นช่วงเวลาเช้า 06.00 น.-09.00 น. ซึ่งคาดว่าเพียงพอต่อการ

ทดสอบการติดเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำทะเลในประเทศไทยเฉลี่ยต่ำสุดสูงกว่า 15 องศาเซลเซียส จากฐานข้อมูลเอกสารการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39 สาขาวิทยาศาสตร์การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมระบุว่าเดือนที่มีอุณหภูมิน้ำทะเลต่ำสุดจะอยู่ในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคมมีค่าระหว่าง 25.5–29 องศาเซลเซียส)

พบว่าน้ำมัน B20 ในถังน้ำมันเชื้อเพลิงจับตัวเป็นไขแต่มีปริมาณไม่มากจึงสามารถติดเครื่องยนต์ได้แต่ในกรณีของน้ำมัน B50 และ B100 นั้นไม่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์เพื่อทำการทดสอบได้ เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลที่อยู่ในถังน้ำมันเชื้อเพลิงจับตัวเป็นไข จึงทำให้ไม่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้จนกระทั่งเวลาประมาณ 10.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มิแสงแดดแล้วทำให้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีสภาพเป็นไขสามารถกลับคืนมาอยู่ในรูปของเหลวจึงทำให้เครื่องยนต์สามารถสตาร์ทติดได้ สำหรับค่าอุณหภูมิปกติทั่วไปที่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้จะอยู่ที่ประมาณ 20 องศาเซลเซียส

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในห้องปฏิบัติการ (short-term test) ทั้ง 3 ยี่ห้อ ที่คัดเลือกได้แก่ (1) เครื่องยนต์ Hino (2) เครื่องยนต์ Cummins และ (3) เครื่องยนต์ Komatsu กับ น้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิดได้แก่น้ำมัน Diesel B20 B50 และ B100 โดยมีมุ่งศึกษาถึงผลของน้ำมันชนิดต่าง ๆ ว่าจะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์อย่างไรนั้น

จากข้อมูลการทดสอบในเบื้องต้นพบว่า สามารถนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืช (vegetable oil) หรือ ไขมันสัตว์ (animal fat) ที่ผ่านมาตรฐานไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ของกรมธุรกิจพลังงานมาผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์เรือประมงได้ โดยในภาพรวมพบว่า เครื่องยนต์ไม่เกิดอาการเสียหาย หรือมีปัญหาในการใช้งานที่ น่าเป็นห่วงมากนัก แต่ก็ยังมีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงมีข้อควรพิจารณาในการนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้งานซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การทดสอบระยะสั้นเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์เรือที่จะนำมาใช้งานกับน้ำมันไบโอดีเซลนั้นควรใช้สัดส่วนผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันไบโอดีเซลอย่างเหมาะสม เนื่องจากสัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซล ที่มากขึ้นส่งผลให้อัตราการใช้น้ำมันที่เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ทั้งในส่วนของกำลังและแรงบิดที่ลดลงของเครื่องยนต์ด้วย จากการทดสอบพบว่าสำหรับเครื่องยนต์ Hino น้ำมัน B20 ให้ค่ากำลังของเครื่องยนต์ (engine power) มากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยน้ำมัน B20 ให้ค่ากำลังสูงกว่าน้ำมันดีเซล 2.72% ส่วนน้ำมัน B50 และ B100 ให้ค่ากำลังของเครื่องยนต์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 4.58 และ 7.16% ตามลำดับ สำหรับค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ (engine torque) พบว่าน้ำมัน B20 ให้ค่าแรงบิดสูงกว่าน้ำมันดีเซล 3.24% ส่วนน้ำมัน B50 และ B100 ให้ค่าแรงบิดต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 4.41 และ 7.94% ตามลำดับ

สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) พบว่าน้ำมัน B20 มีค่า SFC น้อยกว่าน้ำมัน Diesel 23.15% ส่วนน้ำมัน B50 และ B100 มีค่า SFC มากกว่าน้ำมันดีเซล 7.68 และ 29.79% ตามลำดับ และจากข้อมูลสมรรถนะเครื่องยนต์พบว่าควรเลือกใช้น้ำมัน B20

สำหรับเครื่องยนต์ Hino เนื่องจากน้ำมัน B20 ให้ค่ากำลังและแรงบิดที่สูงกว่า น้ำมันดีเซล และมีค่า SFC น้อยกว่าของน้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบการใช้งานในช่วง 1,500–1,800 รอบต่อนาที

สำหรับเครื่องยนต์ Cummins เมื่อทดสอบกับน้ำมันชนิดต่าง ๆ พบว่าน้ำมัน B20 และน้ำมันดีเซลให้ค่ากำลังใกล้เคียงกับน้ำมัน Diesel โดยน้ำมัน B20 ให้ค่ากำลังน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 4.57% ส่วนน้ำมัน B50 และ B100 ให้กำลังน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 9.30 และ 9.60% ตามลำดับ ค่าแรงบิดเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลพบว่าน้ำมัน B20 B50 และ B100 ให้ค่าแรงบิดน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 2.62 4.37 และ 9.60% ตามลำดับ สำหรับค่า SFC พบว่าน้ำมัน B20 B50 และ B100 มีอัตราการสิ้นเปลืองมากกว่าน้ำมัน Diesel 1.81 6.14 และ 9.39% ตามลำดับ จากข้อมูลสมรรถนะพบว่าควรเลือกใช้ใช้น้ำมัน B20 เพราะมีค่ากำลัง และแรงบิด ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่แตกต่างจากของน้ำมันดีเซลมากนัก

ในส่วน of เครื่องยนต์ Komatsu พบว่าน้ำมัน B20 และ B50 ให้ค่ากำลังของเครื่องยนต์สูงกว่าน้ำมัน Diesel 9.74 และ 3.47% ตามลำดับ แต่พบว่าน้ำมัน B100 ให้ค่ากำลังน้อยกว่าน้ำมัน Diesel 7.76% สำหรับผลการตรวจวัดค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ พบว่าน้ำมัน B20 และ B50 ให้ค่าแรงบิดที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 9.33 และ 3.33% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมัน B100 ให้ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์สูงกว่าน้ำมันดีเซล 9.67% สำหรับค่า SFC พบว่าน้ำมัน B20 B50 มีค่ามากกว่าน้ำมัน Diesel 11.52 และ 7.06% ตามลำดับ โดยน้ำมัน B100 มีค่า SFC มากกว่าน้ำมันดีเซลสูงที่สุดคือ 13.01% ซึ่งจากข้อมูลสมรรถนะของเครื่องยนต์พบว่าน้ำมัน B100 ให้ค่ากำลังและแรงบิดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก แต่ค่า SFC ก็มีค่ามากเช่นกัน ดังนั้นถ้าหากพิจารณาการใช้งานในระยะยาวแล้ว ควรเลือกใช้ใช้น้ำมัน B20 เนื่องจากมีค่า SFC ที่น้อยกว่าน้ำมัน B100 มาก และในการใช้งานจริงการเปลี่ยนแปลงภาระ (load) ที่จะส่งผลต่อกำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ก็มีไม่มากนัก

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์ Cummins ให้กำลังเครื่องยนต์น้อยกว่าเครื่องยนต์ Hino อยู่ระหว่าง 6–12% สำหรับทุกสัดส่วนน้ำมันที่นำมาทดสอบ (B20 B50 และ B100) และเช่นเดียวกันกับเครื่องยนต์ Komatsu ที่ให้กำลังน้อยกว่าเครื่องยนต์ Hino ในทุกสัดส่วนน้ำมันคือ มีค่าอยู่ระหว่าง 6–13% ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากค่าสมรรถนะทางด้านกำลังของเครื่องยนต์เป็นหลักแล้วเครื่องยนต์ Hino ให้กำลังของเครื่องยนต์สูงสุด โดยที่น้ำมัน B20 ให้กำลังของเครื่องยนต์มากกว่าน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ Hino และ Komatsu แต่สำหรับเครื่องยนต์ Cummins กำลังจะตกลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล (อาจเนื่องจากปั๊มเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ Cummins เป็นชนิดโรตารีทำให้มีการจ่ายน้ำมันคงที่ซึ่งต่างจากเครื่องยนต์ Hino และ Komatsu ซึ่งมี

การจ่ายน้ำมันแปรผันตามกำลังเครื่องยนต์ เมื่อค่าความร้อนของน้ำมัน B20 ต่ำกว่าดีเซลเล็กน้อย เมื่อจ่ายน้ำมันคงที่จึงทำให้ได้กำลังออกมาน้อยกว่าเล็กน้อย) แต่โดยรวมแล้วจากการทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมัน B20 กำลังของเครื่องยนต์ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และน้ำมันผสมที่ใช้ในการทดสอบนี้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากออกซิเจนที่อยู่ในน้ำมันไบโอดีเซลพอดีกับความต้องการในการสันดาปทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น ส่งผลให้ได้กำลังของเครื่องยนต์มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนมากขึ้นเป็น B50 และ B100 ให้กำลังน้อยกว่าน้ำมันดีเซล อาจเนื่องจากออกซิเจนในน้ำมันไบโอดีเซลที่เพิ่มมากเกินไปส่งผลให้ความร้อนที่ได้จากการสันดาปในห้องเผาไหม้ถูกพาออกไปพร้อมกับอากาศส่วนเกิน ส่งผลให้กำลังของเครื่องยนต์ที่ได้น้อยกว่าน้ำมันดีเซล

ในขณะที่สมรรถนะทางด้านแรงบิดของเครื่องยนต์พบว่า เครื่องยนต์ Cummins ให้ค่าแรงบิดใกล้เคียงกับของเครื่องยนต์ Hino ส่วนเครื่องยนต์ Komatsu ให้แรงบิดน้อยกว่าเครื่องยนต์ Hino ประมาณ 5–13.5% ในทุกชนิดของน้ำมันที่นำมาทดสอบ ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากค่าสมรรถนะทางด้านแรงบิดของเครื่องยนต์ก็ควรเลือกเครื่องยนต์ Hino หรือไมก็เครื่องยนต์ Cummins เนื่องจากให้ค่าแรงบิดที่สูงและมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก

สุดท้ายเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะทางด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) พบว่าเครื่องยนต์ Cummins มีค่า SFC มากกว่าเครื่องยนต์ Hino อยู่ในช่วง 4–65% สำหรับทุกน้ำมันที่นำมาทดสอบและเครื่องยนต์ Komatsu มีค่า SFC มากกว่าเครื่องยนต์ Hino 5–40% สำหรับทุกน้ำมันที่นำมาทดสอบ ดังนั้นถ้าจะพิจารณาสมรรถนะทางด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะหรือค่า SFC เครื่องยนต์ Hino ควรได้รับการเลือกมาใช้งาน เนื่องจากมีค่า SFC ต่ำที่สุดที่ความเร็วรอบใช้งานจริง

5.1.2 การทดสอบระยะยาวเพื่อหาผลกระทบจากการใช้ไบโอดีเซล

1) การสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อทำการทดสอบ long-term test ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าการสึกหรอของแหวนลูกสูบ (น้ำหนักที่สูญหาย) สูงขึ้นเมื่อสัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้น

2) ผลการวิเคราะห์ค่า Coking Index (CI) พบว่าเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลในส่วนผสมที่สูงขึ้นค่า CI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากผลกระทบของสมบัติและอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลที่มีส่วนผสมสูง ๆ มีความหนืดและมีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง อีกทั้งมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลทำให้อัตราการใช้น้ำมันสูงกว่าเป็นผลทำให้เกิดเขม่าที่หัวฉีดมากกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าน้ำมันไบโอดีเซลมีผลต่อเขม่าที่หัวฉีด ดังนั้นควรพิจารณาถึงผลกระทบที่จะตามมาจากการเกิดเขม่าที่หัวฉีดประกอบด้วยเช่น ผลกระทบต่อ

ปั๊มหัวฉีด ซึ่งในการทดสอบครบ 500 ชั่วโมง ยังไม่พบความผิดปกติของปั๊มหัวฉีดในเครื่องยนต์ทุกชนิดทุกยี่ห้อ นอกจากนี้ยังพบว่าค่า CI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเครื่องยนต์รับภาระมากขึ้น โดยที่เครื่องยนต์แต่ละชนิดมีค่า CI ใกล้เคียงกัน

3) การสึกหรอของเครื่องยนต์ในส่วนของคุณภาพน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งานในชั่วโมงการทำงานทุก ๆ 50 ชั่วโมง โดยทำการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องเมื่อทำงานได้ 200 ชั่วโมง ซึ่งจากผลการตรวจวัดพบว่าความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องและความหนืดของน้ำมันเครื่องที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะเพิ่มขึ้นโดยจะแปรผันตรงกับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินเครื่องยนต์ส่วนการใช้น้ำมัน B20 B50 และ B100 กับเครื่องยนต์พบว่าสัดส่วนของปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมน้ำมันดีเซลมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นและความหนืดของน้ำมันเครื่อง โดยเมื่อสัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลมากกว่าร้อยละ 20 โดยปริมาตรจะทำให้ความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง

4) การสึกหรอของเครื่องยนต์จากผลการวิเคราะห์สิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่องประเภทโลหะพบค่า Fe Pb Cr และ Cu ตามลำดับ พบว่าน้ำมัน B100 ทำให้เครื่องยนต์มีการสึกหรอสูงสุด รองมาคือน้ำมัน B50 น้ำมันดีเซล และน้ำมัน B20 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการสึกหรอระหว่างเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์ Hino มีค่าการสึกหรอมากที่สุด รองลงมาคือเครื่องยนต์ Komatsu และเครื่องยนต์ Cummins ตามลำดับ ส่วนสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่องประเภทอโลหะพบว่า อโลหะ Al และ Si มีแนวโน้มทำให้ความหนืดของน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้น ซึ่งค่า Al เป็นตัวบ่งชี้ถึงการสึกหรอของลูกสูบหรือ Bearing ส่วนค่า Si ที่พบนั้นอาจมาจากฝุ่นละอองที่สามารถผ่านกรองอากาศเข้ามาในเครื่องยนต์ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

การนำน้ำมันไบโอดีเซลผสมดีเซลมาใช้กับเครื่องยนต์เรือประมงความเร็วรอบปานกลาง ควรกำหนดการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นให้สั้นลงหากมีการใช้งานที่ภาระสูงเป็นเวลานานเพื่อป้องกันไม่ให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นมีค่าสูงกว่าระดับการเตือนสิ่งผิดปกติซึ่งจะทำให้การสึกหรอของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในเครื่องยนต์เกิดขึ้นมากกว่าปกติ หรืออาจป้องกันโดยการใช้น้ำมันหล่อลื่นที่มีสารเติมแต่งเพื่อลดการสึกหรอที่เหมาะสม รวมทั้งควรมีการศึกษาถึงวิธีปรับแต่งการทำงานของเครื่องยนต์เพื่อให้สามารถใช้น้ำมันผสมชนิดนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น การปรับจังหวะการฉีดของเชื้อเพลิง (injection timing) เป็นต้น

รายการอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด พูนสุข ประเสริฐสรรพ สมพร อิศวิลานนท์ และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาสถานภาพวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซล. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- กรกิจ ดิษฐาน. (2548). 9 พฤศจิกายน. จุดสุดยอดอับเบิร์ทจุดอันตรายน้ำมันโลก. โปสท์ทูเดย์.
- กรมธุรกิจพลังงาน. (2550). ประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550. กระทรวงพลังงาน. (มี.ค. 2552).
- กรมธุรกิจพลังงาน-ก. 2552. (2552). รายชื่อผู้ผลิตไบโอดีเซล (B100) ที่ได้รับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายจากกรมธุรกิจพลังงาน. กระทรวงพลังงาน. [Online]. available: <http://www.doeb.go.th/information/stat/B100.pdf>.
- กรมวิชาการเกษตร. (2545). โครงการวิจัยการใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล. (รายงาน. กษ 0901/461. 8 มีนาคม 2545).
- คณิต วัฒนวิเชียร. (2004). **Visualization of Crude Palm Diesel Combustion in IDI Engine.** JSAE Annual Congress 2004.
- ทบวงมหาวิทยาลัย.(2544). โครงการวิจัยการใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล. รายงาน. ทม 0204(5)/25498. 3 ธันวาคม 2544.
- ทวีข จิตรสมบูรณ์. (2544). โอกาสและปัญหาจากการใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซลในประเทศไทย. เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15 (หน้าEM20-EM29). กรุงเทพมหานคร: คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- เทอดศักดิ์ ชัยสุริยะพันธ์. (2547). การใช้น้ำมันปาล์มดีเซลในเครื่องยนต์ CI ชนิดห้องเผาไหม้ ล่วงหน้าของรถบรรทุกขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัยนิกรณ์ กุลวงษ์. (2545). การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

- นพพร เทนอิสสระ. (2546). การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นคร ทิพยาวงศ์และอนุสาล เพิ่มสุวรรณ. (2546). รายงานการวิจัยเรื่อง การประเมินการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้งานยาวนาน โดยใช้น้ำมันปาล์มดีเซลเป็นเชื้อเพลิง. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ปรีชา อ่องอารีย์และคณะ. (2543). รายงานการวิจัยเรื่อง การใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลระยะที่ 2. วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). (2545). โครงการวิจัยการใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์มดิบกับเครื่องยนต์เกษตรกรรม. (รายงานสำนักพระราชวัง พฤษภาคม 2545).
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.). (2549). รอบรู้เรื่องราวไบโอดีเซล. พิมพ์พินิจ การพิมพ์. สมุทรปราการ.
- สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.(2546). การประเมินสมรรถนะการปล่อยมลพิษและการสึกหรอของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันผสมดีเซลชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง.
- สุรพล ราษฎร์นุ้ย. (2545). วิศวกรรมการบำรุงรักษา. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- อนันต์มีนาท. (2545). การวิเคราะห์ผลกระทบของเชื้อเพลิงจากน้ำมันปาล์มต่อการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ดีเซล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- Bari, S., Lim, T.H., and Yu, C.W.(2002). 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.
- Bari, S., Yu, C.W., and Lim, T.H. (2002). Performance deterioration and durability issues whilerunning a diesel engine with crude palm oil. Proc. I. MECH. E. part D journal of automobile engineering vol.216 (2002): 785-792.
- Department of Energy. (1982). **Handbook of EMA 200 Hour Test–Hydrogenated Soy Ethyl Ester and Diesel Fuel**. University of Idaho, Department of Agricultural Engineering, USA. 78 p.

- Engelman, H. W., Guenther, D.A., and Silvis, T.W. (1978). Vegetable oil as a diesel fuel. **Diesel & Gas Engine Power Division of ASME No.78-DGP-19** (1978).
- Focus Laboratories Ltd. (2546). **Oil Analysis the complete course for maintenance professionals.** (เอกสารประกอบการสัมมนา 15-17 ตุลาคม 2546)
- International Standards for Business, Government and Society (ISBGS). (2002). ISO 15550: 2002 Internal Combustion Engines - Determination and Method for the Measurement of Engine Power - General Requirements. International Organization for Standardization (ISO). (March 2002). [Online]. available: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=28185.
- Jones, S., and Charles., L.P. (2003). Using unmodified vegetable oils as a diesel fuel extender-a literature review. [Online]. Available from: <http://www.uidaho.edu/bae/biodiesel/raw%20vegetable%20oilsliterature%20review.doc>. [November 2003].
- Lim, T.H. (2001). **Performance and emission analyses if diesel engine using heated blends of crude palm oil (CPO) with lighter fuel.** MSc, University Sains Malaysia.
- Kalam, M.A., and Masjuki, H.H. (2004). Emissions and deposit characteristics of a small diesel engine when operated on preheated crude palm oil. **Biomass and Bioenergy** 27 (2004): 289-297.
- Robinson, N. (2004). **Monitoring oil degradation with infrared spectroscopy.** Technical bulletin issue 18 [Online]. Available from: <http://www.wearcheck.com/literature/techdoc/WZA018.pdf> [12 March 2004].
- Nirod, A., PTT Public Company Limited. (2002). **A Study of Using Refined Palm Oil Blending in Diesel Fuel for Automobile in Thailand.,** 8'h Annual Fuels & LubesAsia Conference and Exhibition , Shangri-La Hotel, Singapore 2002.
- Norbert, H., Volker, K., and Herwig. (1991). Performance, Exhaust Emission and Durability of modern diesel engines running on rapeseed oil. **SAE paper** No.910848 (25 February – 1 March 1991).
- Pryor, R.W., Hanna, M.A., Schinstock, J.L., and Bashford, L.L., (n.d.). Soybean oil fuel in a small diesel engine. **Transaction of the ASAE** 26: 333-337.
- Sher, E. **Handbook of air pollution from internal combustion engines–Pollutant formation and control.** United States of America: Academic Press, 1998.

- Vanichseni, T., Intaravichai, S., Saitthiti, B., and Kiatiwat, T. (2002). **Potential Biodiesel Production from Palm Oil for Thailand**. Kasetsart J. Nat.Sci. 36 : pp 83-97.
- Ali, Y., and Hanna, M.A.(1994). Alternative diesel fuels from vegetable oil. **Bioresource Technology** 50 (21 July 1994): 153-163.
- Ziejewski, M.,and Goettler, H.J. (1996). EMA Durability tests on high oleic sunflowerand safflower oils in diesel engines. **SAE paper** No.961846 (26-28 August 1996).


ภาคผนวก ก

เอกสารรับรองคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล

เอกสารรับรองคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล

- ก1. หนังสือรับรองการให้ความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

เลขที่ ๒/๒๕๕๖ แบบ ภพ. ๓๕๐๑



หนังสือรับรอง
การให้ความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่าย
ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

หนังสือรับรองฉบับนี้ ออกให้เพื่อแสดงว่า ผู้ค้าน้ำมันชื่อ.....บริษัท ไบโอดีเซลเนอเชี่ยล จำกัด มีที่อยู่/ที่ตั้งสถานประกอบการหรือสำนักงานใหญ่ ตั้งอยู่เลขที่.....๑๑๑ ถนน ๒๐ มิถุนา แขวง ๘ แขวง.....สามเสนนอก เขต.....ปทุมธานี.....จังหวัด.....กรุงเทพมหานคร.....ได้รับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ณ สถานที่ที่กำหนดดังต่อไปนี้


สถานที่ผลิต.....๑๑๑ หมู่ ๒ ถนนสุขุมวิท แขวงคลองจิก.....ตัวเมืองบางปะอิน.....จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

สถานที่จำหน่าย.....๑๑๑ หมู่ ๒ ถนนสุขุมวิท แขวงคลองจิก.....ตัวเมืองบางปะอิน.....จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

โดยผู้ขอรับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนด


การจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามหนังสือรับรองฉบับนี้ ให้ใช้ได้ตั้งแต่วันที่.....๑๑ มิถุนายน.....๒๕๕๖.....จนถึงวันที่.....๑๑ มิถุนายน.....๒๕๕๖

ออกให้ ณ วันที่.....๑๑ มิถุนายน.....๒๕๕๖



ข้าแจกต่อ

ก2. คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล

 **Bio Energy Plus Co., Ltd.**
 QUALITY CONTROL DIVISION
 100 Soi 20 Mittra 11 Yak & Samsenok, Huaykwang, Bangkok 10320, Thailand
 Tel. +66(0)3525-8895 Fax. +66(0)3525-8896


Certificate of Analysis

Page 1 of 1


Product : Biodiesel (B -100)
 Customer / Supplier Name : บริษัท เอ็นเนอจี พลัส จำกัด
 Cert No. : SUT702
 Quantity : 19,000 litres
 Date of Issue : 21 November 2008
 Lot No. : 081121-109

TEST ITEM	TEST METHOD	Specification	RESULT
1. Appearance	Visual	C & B	C & B
2. Density @ 15°C, kg/m ³	ASTM E1298-99	860 - 900	873
3. Density @ 30°C, g/ml			0.863
4. Kinematic Viscosity @ 40°C, cSt	ASTM D445-04	3.5 - 5	4.430
5. Total Acid Number, mg KOH/g	ASTM D664-01	0.50 max	0.3508
6. Cloud Point, °C	ASTM D2500		19
7. Flash Point, °C	ASTM D93	120°C	>120
8. Iodine Value, g I ₂ /100g	EN 14111	120 max	30
9. Water Content, %wt	EN 12937	0.05 max	0.0292
10. Methyl Ester, %wt	EN 14103	96.5 min	98.04
11. Linoleic Acid Methyl Ester, %wt	EN 14106	12.0 max	0.049
12. Monoglyceride, %wt	EN 14105	0.00 max	0.000
13. Diglyceride, %wt	EN 14105	0.20 max	0.042
14. Triglyceride, %wt	EN 14105	0.20 max	<0.001
15. Free glycerin, %wt	EN 14105	0.02 max	<0.001
16. Total glycerin, %wt	EN 14105	0.25 max	0.105
17. Excess Methanol, %	EN 14110	0.20 max	<0.005
18. Oxidation Stability @ 110°C, hours	EN 14112	10 min	13.88

Remark :

Approved by : 
 Position Title : Quality Control Chemist
 Date of Issue : 21 November 2008

ก2. คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล (ต่อ)

 **Bio Energy Plus Co., Ltd.**
 QUALITY CONTROL DIVISION
 100 Soi 20 Mituna 11 Yak 8 Samsenok, Huaykwang, Bangkok 10320, Thailand
 Tel. +66(0)3525-8895 Fax. +66(0)3525-8698

Certificate of Analysis

Page 1 of 1

Product : Biodiesel (B-100)
 Customer / Supplier Name : บริษัท เอ็มเนทวิที จำกัด
 Cert No. : SUT/01
 Quantity : 12,000 litres
 Date of Issue : 1 November 2008
 Lot No. : 081101-101

TEST ITEM	TEST METHOD	Specification	RESULT
1. Appearance	Visual	C & B	C & B
2. Density @ 15°C, kg/m ³	ASTM D1298-99	863 - 900	873
3. Density @ 30°C, g/ml			0.863
4. Kinematic Viscosity @ 40°C, cSt	ASTM D445-04	3.5 - 5	4.623
5. Total Acid Number, mg KOH/g	ASTM D664-01	0.50 max	0.4067
6. Cloud Point, °C	ASTM D2500		19
7. Flash Point, °C	ASTM D93	120°C	>120
8. Iodine Value, g I ₂ /100g	EN 14111	120 max	30
9. Water Content, %wt	EN 12937	0.05 max	0.0341
10. Methyl Ester, %wt	EN 14103	96.5 min	98.11
11. Linolenic Acid Methyl Ester, %wt	EN 14103	12.0 max	0.039
12. Monoglyceride, %wt	EN 14105	0.80 max	0.361
13. Diglyceride, %wt	EN 14105	0.20 max	0.053
14. Triglyceride, %wt	EN 14105	0.20 max	<0.001
15. Free glycerin, %wt	EN 14105	0.02 max	<0.001
16. Total glycerin, %wt	EN 14105	0.25 max	0.108
17. Excess Methanol, %	EN 14110	0.20 max	<0.005
18. Oxidation Stability @ 110°C, hours	EN 14112	10 min	13.81

Remark :

Approved by : *Norathorn Sulewasee*
 Position Title : Quality Control Chemist
 Date of Issue : 1 November 2008

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ข1. ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

ตารางที่ ข1.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

Engine Speed (rpm)	กำลัง (kW)	แรงบิด (N.m)	อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW-hr)
2,202	43.4	188	293.56
2,000	69.8	333	238.61
1,801	63.7	338	228.71
1,599	57.0	340	221.75
1,399	49.2	336	235.92
1,199	40.8	326	244.17

ตารางที่ ข1.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง

Engine Speed (rpm)	กำลัง (kW)	แรงบิด (N.m)	อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW-hr)
2201	37.1	161	170.03164
2002	71.7	343	177.47914
1800	66.1	351	171.23720
1597	58.1	349	172.69801
1402	48.7	336	183.48826
1203	39.1	313	184.15761

ตารางที่ ข1.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง

Engine Speed (rpm)	กำลัง (kW)	แรงบิด (N.m)	อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW-hr)
2200	39.1	170	336.99880
1999	66.6	319	256.89118
1799	61.2	328	241.60900
1598	54.6	325	240.36145
1402	47.6	321	253.79472
1200	38.2	313	276.84390

ตารางที่ ข1.4 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เมื่อใช้น้ำมัน B100 เป็นเชื้อเพลิง

Engine Speed (rpm)	กำลัง (kW)	แรงบิด (N.m)	อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW-hr)
2200	45.4	197	314.85440
1999	64.8	310	267.57576
1799	56.9	307	293.29877
1601	52.4	313	290.85538
1399	45.1	307	290.79583
1199	37.1	294	317.34052

ตารางที่ ข1.5 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เมื่อน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

Engine Speed (rpm)	กำลัง (kW)	แรงบิด (N.m)	อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW-hr)
2200	47.7	207	307.52986
1999	64.2	307	292.14789
1801	62.1	329	276.11610
1600	55.6	332	275.19535
1400	48.9	334	286.19833
1200	42.7	340	281.01990

ตารางที่ ข1.6 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เมื่อน้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง

Engine Speed (rpm)	กำลัง (kW)	แรงบิด (N.m)	อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW-hr)
2200	44.5	193	340.33360
2000	62.6	300	302.23567
1801	60.1	318	281.01959
1599	54.6	325	275.43841
1399	47.7	326	288.39200
1201	41.8	334	287.96079

ตารางที่ ข1.7 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง

Engine Speed (rpm)	กำลัง (kW)	แรงบิด (N.m)	อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW-hr)
2200	43.1	187	401.16009
2000	59.5	284	331.85001
1802	58	307	296.53448
1602	53.6	319	293.10868
1400	47.2	322	292.12347
1200	41.1	326	293.39026

ตารางที่ ข1.8 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เมื่อใช้น้ำมัน B100 เป็นเชื้อเพลิง

Engine Speed (rpm)	กำลัง (kW)	แรงบิด (N.m)	อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW-hr)
2200	45.9	199	385.77001
2001	59.3	283	339.07028
1800	46.3	299	310.39216
1600	52.7	314	290.52626
1399	46.5	317	304.13318
1204	40.2	321	308.72841

ตารางที่ ข1.9 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เมื่อใช้น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิง

Engine Speed (rpm)	กำลัง (kW)	แรงบิด (N.m)	อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW-hr)
2201	37.3	162	316.36180
1999	60.0	286	258.10169
1798	55.6	296	256.19522
1600	48.9	291	271.35402
1404	41.7	284	282.98070
1196	34.2	275	307.07804

ตารางที่ ข1.10 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง

Engine Speed (rpm)	กำลัง (kW)	แรงบิด (N.m)	อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW-hr)
2201	41.0	178	286.10661
1998	66.0	315	226.28030
1804	61.2	324	230.67834
1601	53.9	321	237.96752
1399	45.4	310	263.16300
1207	37.8	300	282.58278

ตารางที่ ข1.11 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง

Engine Speed (rpm)	กำลัง (kW)	แรงบิด (N.m)	อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW-hr)
2200	39.2	170	299.32675
2000	61.6	294	239.49826
1799	57.1	303	241.98561
1602	50.8	303	256.28274
1401	43.5	296	274.66936
1197	34.5	286	307.52964

ตารางที่ ข1.12 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เมื่อใช้น้ำมัน B100 เป็นเชื้อเพลิง

Engine Speed (rpm)	กำลัง (kW)	แรงบิด (N.m)	อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW-hr)
2200	36.6	161	335.27604
1999	54	258	298.59903
1800	51.1	271	289.01685
1601	45.2	268	307.68252
1401	39.3	267	326.65297
1198	33.1	264	342.98662

ข2. การตรวจวัดการสึกหรอของเครื่องยนต์โดยพิจารณาจากการสึกหรอของแหวนลูกสูบ

ตารางที่ ข2.1 น้ำหนักแหวนลูกสูบใหม่ เทียบกับหลังการทดสอบ Durability (Long-term test) เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง ตามลำดับ

เครื่องยนต์	น้ำหนักแหวนลูกสูบ (กรัม)		
	แหวนลูกสูบใหม่	200 ชั่วโมง	500 ชั่วโมง
Hino (6 สูบ)	639.5635	638.7963	637.7029
Komatsu (4 สูบ)	303.4484	302.5346	301.3054
Cummins (6 สูบ)	383.2796	383.1808	383.0613

ตารางที่ ข2.2 น้ำหนักแหวนลูกสูบใหม่ เทียบกับหลังการทดสอบ Durability (Long-term test) เมื่อใช้น้ำมัน B20 เป็นเชื้อเพลิง ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง ตามลำดับ

เครื่องยนต์	น้ำหนักแหวนลูกสูบ (กรัม)		
	แหวนลูกสูบใหม่	200 ชั่วโมง	500 ชั่วโมง
Hino (6 สูบ)	638.9391	638.2096	636.8549
Komatsu (4 สูบ)	306.2315	305.1932	303.7915
Cummins (6 สูบ)	383.4497	383.3514	383.2334

ตารางที่ ข2.3 น้ำหนักแหวนลูกสูบใหม่ เทียบกับหลังการทดสอบ Durability (Long-term test) เมื่อใช้น้ำมัน B50 เป็นเชื้อเพลิง ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง ตามลำดับ

เครื่องยนต์	น้ำหนักแหวนลูกสูบ (กรัม)		
	แหวนลูกสูบใหม่	200 ชั่วโมง	500 ชั่วโมง
Hino (6 สูบ)	641.4437	639.969	638.1894
Komatsu (4 สูบ)	305.1849	303.9642	302.3773
Cummins (6 สูบ)	383.0433	382.7369	382.3293

ตารางที่ ข2.4 น้ำหนักแหวนลูกสูบใหม่ เทียบกับหลังการทดสอบ Durability (Long-term test)
เมื่อใช้น้ำมัน B100 เป็นเชื้อเพลิง ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง ตามลำดับ

เครื่องยนต์	น้ำหนักแหวนลูกสูบ (กรัม)		
	แหวนลูกสูบใหม่	200 ชั่วโมง	500 ชั่วโมง
Hino (6 สูบ)	642.1223	633.3253	623.6486
Komatsu (4 สูบ)	305.4243	303.2863	300.6207
Cummins (6 สูบ)	382.2930	380.1747	378.0575

ข3. ข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ก่อนและ หลังการทดสอบระยะยาว

ตารางที่ ข3.1 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบ
Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้น้ำมันดีเซล

Pre- test Hino				Diesel	Post-test Hino				Diesel
รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC	รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC
(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr	(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr
2202	188	43.4	15.1	293.6	2202	185	42.5	15.366	305.871
2000	333	69.8	19.7	238.6	2000	324	67.8	19.286	240.645
1801	338	63.7	17.2	228.7	1801	328	61.8	17.46	239.01
1599	340	57	14.9	221.8	1600	333	55.9	15.242	230.674
1399	336	49.2	13.7	235.9	1400	325	47.6	13.745	244.299
1199	326	40.8	11.8	244.2	1200	311	39	12.313	267.091

ตารางที่ ข3.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบ
Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้น้ำมัน B20

Pre- test Hino				B20	Post-test Hino				B20
รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC	รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC
(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr	(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr
2201	161	37.1	11.7	270	2200	165	38	13.1	293.2
2002	343	71.7	14.9	177.5	2001	292	61.6	15	207.4
1800	351	66.1	13.3	171.2	1800	299	56.4	12.9	195.9
1597	349	58.1	11.8	172.7	1600	306	51.3	12.4	206.5
1402	336	48.7	10.5	183.5	1400	296	43.4	10.9	214.5
1203	313	39.1	8.4	184.2	1201	291	36.5	10	233.8

ตารางที่ ข3.3 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบ
Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้น้ำมัน B50

Pre- test Hino				B50	Post-test Hino				B50
รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC	รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC
(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr	(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr
2200	170	39.1	15.2	337	2202	151	35.7	15.3	371.3
1999	319	66.6	19.8	256.9	2001	287	60.0	20.2	291.2
1799	328	61.2	17.1	241.6	1801	290	54.5	18.7	296.8
1598	325	54.6	15.2	240.4	1600	294	49.5	16.9	294.7
1402	321	47.6	14	253.8	1403	299	43.9	14.4	284.1
1200	313	38.2	12.2	276.8	1203	306	38.6	12.2	272.7

ตารางที่ ข3.4 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Hino เปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบ
Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้น้ำมัน B100

Pre- test Hino				B100	Post-test Hino				B100
รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC	รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC
(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr	(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr
2200	197	45.4	16.2	314.9	2200	184	42.5	16.8	349
1999	310	64.8	19.6	267.6	2000	291	60.7	20.9	303.8
1799	307	56.9	18.9	293.3	1800	296	56	18.3	289.3
1601	313	52.4	17.3	290.9	1600	299	50.1	17.5	309.1
1399	307	45.1	14.9	290.8	1400	294	43.1	15.3	313.5
1199	294	37.1	13.3	317.3	1200	277	34.7	13.8	351.1

ตารางที่ ข3.5 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เปรียบเทียบก่อนและหลัง
การทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้น้ำมันดีเซล

Pre- test Cummins				Diesel	Post-test Cummins				Diesel
รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC	รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC
(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr	(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr
2200	207	47.7	17.3	307.5	2200	210	48.4	17.7	310.2
1999	307	64.2	22.2	292.1	2000	309	64.6	22.1	289.5
1801	329	62.1	20.3	276.1	1801	315	59.3	20.2	288.4
1600	332	55.6	18.1	275.2	1600	324	54.2	18.5	288.5
1400	334	48.9	16.5	286.2	1402	333	48.9	16.5	286.2
1200	340	42.7	14.2	281	1200	340	42.7	14.7	291.4

ตารางที่ ข3.6 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เปรียบเทียบก่อนและหลัง
การทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการเมื่อน้ำมัน B20

Pre- test Cummins					B20	Post-test Cummins					B20
รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC		รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC	
(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr		(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr	
2200	193	44.5	17.7	340.3		2203	157	36.2	15.2	359.3	
2000	300	62.6	22.2	302.2		1999	307	64.1	22.6	301.3	
1801	318	60.1	19.8	281		1803	313	57.6	20.6	305.2	
1599	325	54.6	17.6	275.4		1603	313	52.5	17.6	286.5	
1399	326	47.7	16.1	288.4		1400	314	45.5	16.8	314.4	
1201	334	41.8	14.1	288		1199	317	40.4	15.3	322.6	

ตารางที่ ข3.7 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เปรียบเทียบก่อนและหลัง
การทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการเมื่อน้ำมัน B50

Pre- test Cummins					B50	Post-test Cummins					B50
รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC		รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC	
(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr		(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr	
2200	187	43.1	20	401.2		2202	171	39.4	18.7	410.6	
2000	284	59.5	22.8	331.9		2001	261	54.5	23.8	378.3	
1802	307	58	19.9	296.5		1800	280	52.8	19.9	326.6	
1602	319	53.6	18.2	293.1		1602	286	47.9	18.5	333.6	
1400	322	47.2	15.9	292.1		1401	291	42.7	16.8	340.9	
1200	326	41.1	13.9	293.4		1203	287	36.4	15	355.5	

ตารางที่ ข3.8 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Cummins เปรียบเทียบก่อนและหลัง
การทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการเมื่อน้ำมัน B100

Pre- test Cummins					B100	Post-test Cummins					B100
รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC		รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC	
(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr		(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr	
2200	199	45.9	20.1	385.8		2200	147	34.4	19.2	492.5	
2001	283	59.3	22.8	339.1		2008	268	54.7	24.5	396.2	
1800	299	56.3	19.8	310.4		1800	282	52.0	23.8	403.7	
1600	314	52.7	17.3	290.5		1600	288	48.3	22.4	410.1	
1399	317	46.5	16.3	308.7		1400	296	43.6	20.5	416.1	
1204	321	40.2	13.8	304.1		1197	300	37.3	18.9	446.3	

ตารางที่ ข3.9 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เปรียบเทียบก่อนและหลัง
การทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการเมื่อน้ำมันดีเซล

Pre- test Komatsu					Diesel	Post-test Komatsu					Diesel
รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC		รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC	
(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr		(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr	
2201	162	37.3	13.9	316.4		2201	151	34.8	14.6	354.1	
1999	286	60.0	18.3	258.1		2003	274	57.4	20.2	297.1	
1795	296	55.6	16.8	256.2		1800	292	55.0	19.1	293.7	
1600	291	48.9	15.7	271.4		1600	284	47.6	17.8	316.9	
1404	284	41.7	13.9	283		1401	269	39.5	14.9	319.4	
1196	275	34.2	12.4	307.1		1200	266	33.4	13.6	343.8	

ตารางที่ ข3.10 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เปรียบเทียบก่อนและหลัง
การทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้น้ำมัน B20

Pre- test Komatsu					B20	Post-test Komatsu					B20
รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC		รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC	
(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr		(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr	
2201	178	41.0	13.7	286.1		2201	157	36.2	14.8	348.8	
1998	315	66.0	17.5	226.3		2000	287	60.3	20.7	293.1	
1804	324	61.2	16.5	230.7		1800	292	55.0	18.9	292.5	
1601	321	53.9	15.0	238.0		1600	282	47.3	16.7	300.4	
1399	310	45.4	14.0	263.2		1402	275	40.4	15.8	333.4	
1207	300	37.8	12.5	282.6		1200	254	31.9	13.6	364.4	

ตารางที่ ข3.11 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เปรียบเทียบก่อนและหลัง
การทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้น้ำมัน B50

Pre- test Komatsu					B50	Post-test Komatsu					B50
รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC		รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC	
(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr		(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr	
2200	170	39.2	13.6	299.3		2200	165	38	14	319.1	
2000	294	61.6	17.1	239.5		2002	295	61.8	20.5	286.6	
1799	303	57.1	16	242		1801	300	56.5	19	290.6	
1602	303	50.8	15.1	256.3		1602	302	50.6	16.6	283.9	
1401	296	43.5	13.8	274.7		1401	288	42.2	15	307.3	
1197	286	34.5	12.3	307.5		1200	276	34.7	13	323.6	

ตารางที่ ข3.12 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Komatsu เปรียบเทียบก่อนและหลัง
การทดสอบ Durability ที่ 500 ชั่วโมงในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้น้ำมัน B100

Pre- test Komatsu				B100	Post-test Komatsu				B100
รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC	รอบ	แรงบิด	กำลัง	Fuel	SFC
(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr	(rpm)	(N-m)	(kW)	l/hr	g/kW-hr
2200	161	36.6	13.9	335.3	2203	153	35.3	15.1	364.8
1999	258	54	18.3	298.6	2002	235	49.2	18.7	306
1800	271	51.1	16.7	289	1800	262	49.4	18.9	325.8
1601	268	45.2	15.8	307.7	1601	248	41.6	17.4	340.3
1401	267	39.3	14.5	326.7	1401	237	34.7	16.2	362.9
1198	264	33.1	12.9	343	1199	213	26.7	13.3	353.8

ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

คงเดช พะทีนนาม และวีรชัย อัจหาญ. (2553). การศึกษาสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสม. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11. นวัตกรรมทางวิศวกรรมเกษตรเพื่อเศรษฐกิจพอเพียงและชุมชนเข้มแข็ง. หน้า 333. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ระหว่างวันที่ 6-7 พฤษภาคม 2553



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 ประจำปี 2553
6 - 7 พฤษภาคม 2553 อาคารศูนย์มหาวิทยาลัย ม.เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน



การศึกษาสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสม Performance and Wearing Studies of Diesel Engine Using Blended Biodiesel Fuel

คงเดช พะสินาม¹ และ วีรชัย อาจหาญ²
Khongdet Phasinam¹ and Weerachai Arjarn²

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลต่อเครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลาง โดยเปรียบเทียบสมรรถนะและการสึกหรอเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซล, B20, B50 และ B100 โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ และ 2) ทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ แสดงให้เห็นว่า ที่ความเร็วรอบการทำงานในช่วง 1,500 - 1,800 รอบต่อนาที น้ำมัน B20 ให้ค่ากำลังสูงกว่าน้ำมันดีเซล 2.72 % ส่วนน้ำมัน B50 และ B100 ให้ค่ากำลังของเครื่องยนต์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 4.58 และ 7.16 % ตามลำดับ สำหรับค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ พบว่า น้ำมัน B20 ให้ค่าแรงบิดสูงกว่าน้ำมันดีเซล 3.24 % ส่วนน้ำมัน B50 และ B100 ให้ค่าแรงบิดต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 4.41 และ 7.94 % ตามลำดับ สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) พบว่า น้ำมัน B20 มีค่า SFC น้อยกว่าน้ำมัน Diesel 23.15 % ส่วนน้ำมัน B50 และ B100 มีค่า SFC มากกว่าน้ำมันดีเซล 7.68 และ 29.79 % ตามลำดับ ผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ พบว่า เมื่อทำการทดสอบระยะยาว ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง การสึกหรอของแหวนลูกสูบ (น้ำหนักที่สูญหาย) สูงขึ้นเมื่อสัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้น
คำสำคัญ: ไบโอดีเซล การสึกหรอ เครื่องยนต์ดีเซล

ABSTRACT

The objective of this research was to investigate the effect on wearing of medium speed diesel engines using a variety of fuels which include diesel fuel, B20, B50 and B100. The experiment was divided into two parts: namely, 1) engine performances test and 2) engine durability test. The test on engine performance at speeds ranging from 1,500 to 1,800 RPM indicated that B20 provided 2.72% more power than diesel fuel. However, the power obtained from B50 and B100 were less than that from diesel fuel by 4.58% and 7.16%, respectively. Engine torque of B20 showed 3.24% greater than that of diesel fuel. B50 and B100, on the other hand, showed less engine torque than that of diesel fuel by 4.41% and 7.94% respectively. Specific fuel consumption (SFC) of B20 was found to be 23.15% less than that of diesel fuel. On the contrary, the SFCs of B50 and B100 were greater than that of diesel fuel by 7.68% and 29.79%, respectively. Concerning the durability test at long-term 200 and 500 hours, the wearing of piston rings (weight loss) increased as the mixture ratio of biodiesel increased.

Keywords: Biodiesel Wearing Diesel Engine Engine Performance

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ที่มีศักยภาพสูงในการผลิตวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยปัจจุบันมีการส่งเสริมการใช้น้ำมันไบโอดีเซลอย่างแพร่หลาย เพื่อช่วยลดการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศ และสามารถช่วยเพิ่มผลิตผลทางการเกษตร ตลอดจนเป็นการสร้างงานให้กับเกษตรกรด้วย

(นคร และอนุศาล, 2546) ประกอบกับรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมการปลูกพืชพลังงานเพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลอย่างชัดเจน นอกจากนี้รัฐบาลยังได้มีการดำเนินการส่งเสริมการใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนร้อยละ 5 กับรถยนต์ทั่วไป ตลอดจนมีแผนการขยายสัดส่วนน้ำมันไบโอดีเซลโดยมีเป้าหมายขยายสัดส่วนน้ำมันไบโอดีเซลให้มากกว่า

¹ Student, School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

² Assistant professor, School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

ร้อยละ 20 ขึ้นไป เพื่อนำไปใช้กับภาคธุรกิจอื่น ๆ เช่น ภาคเกษตรกรรมและประมง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การส่งเสริมให้มีการเพิ่มสัดส่วนน้ำมันไบโอดีเซลให้มากขึ้นนั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลสนับสนุน ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลด้านสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ รวมไปถึงศักยภาพการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลของประเทศ

จากการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลขึ้น โดยเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล 100% จะให้แรงบิดและกำลังเบรกว่ากว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 5% และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าประมาณ 10% ส่วนการสึกหรอพบว่ามีความใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (กิตติพงษ์ และคณะ, 2550; นคร และอนุศาล, 2548) นอกจากนี้ยังมีการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงพลาสม์ดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่าการสึกหรอของเหล็ก, ตะกั่ว, นิกเกิล และโครเมียม ในเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันพลาสม์ดีเซลสูงกว่าน้ำมันดีเซล ส่วนการสึกหรอของ อลูมิเนียม, ทองแดงและดีบุกในเครื่องยนต์ มีความใกล้เคียงกัน โดยการทดสอบใช้งานจริงในรถยนต์เป็นระยะทาง 200,000 กิโลเมตร (นคร และอนุศาล, 2548; อนันต์ มีนาค, 2545)

สำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลสัดส่วนที่มากกว่าร้อยละ 20 ต่อสมรรถนะและการสึกหรอต่อเครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลางที่ใช้ในเรือประมง โดยจะกระทำในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นการประเมินความทนทานของเครื่องยนต์และนำไปใช้เป็นแนวทางในการทดสอบในภาคสนามต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

น้ำมันดีเซลที่ใช้ในการทดสอบนี้ จะใช้น้ำมันดีเซล ULSD (Ultra low sulfur diesel) ตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน ส่วนน้ำมันไบโอดีเซล B100 เป็นน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานจากกรมธุรกิจพลังงาน (กรมธุรกิจพลังงาน-ก, 2552) โดยน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลที่ได้ จะนำมาผสมกันในสัดส่วน 20% โดยปริมาตร (B20) และสัดส่วน 50% โดยปริมาตร (B50) สำหรับคุณสมบัติของน้ำมันทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล, B20, B50, และ B100 ที่ใช้ในการทดสอบมีคุณสมบัติดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำมันทั้ง 4 ชนิด ที่ใช้ในการทดสอบ

	คุณสมบัติ	วิธีทดสอบ	Diesel	B20	B50	B100
1	Density @ 15 °C (kg/m ³)	ASTM D 1298-99	0.8681	0.867	0.869	0.873
	Density @ 30 °C (kg/m ³)		0.8513	0.856	0.859	0.863
2	Kinematic Viscosity @ 40 °C	ASTM D 445		2.91	3.60	4.65
	ไม่ต่ำกว่า – ไม่สูงกว่า (cSt)		1.8 – 4.1			
3	Flash Point (°C)	ASTM D 93	61	71	90	120
4	Cloud Point (°C)	ASTM D 97-96a	n.a.	n.a.	n.a.	16
5	Heating Value (MJ/kg)	ASTM D 240-92	44.61	43.79	41.99	39.22
6	Water Content (%wt.)	EN 14103	0.049	0.047	0.041	0.035
7	Sulfur (ดีเซล) ไม่สูงกว่า (%wt.)	ASTM D 4294	0.035	-	-	-
8	Sulfur (B100) ไม่สูงกว่า (%wt.)	ASTM 2622	-	n.a.	n.a.	0.0010

(n.a. = not analysis)

เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องยนต์ดีเซลยี่ห้อฮีโน่ รุ่น HO7C จำนวน 4 เครื่อง เป็นเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ สภาพเก่าซึ่งถอดออกมาจากเรือประมงแบบลากเดี่ยว ตามรูปที่ 1 ข้อมูลรายละเอียดดังตารางที่ 2



รูปที่ 1 เครื่องยนต์ฮีโน่ รุ่น HO7C ตารางที่ 2 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ

Model	HO7C
Brake power (bhp)	116 at 2,200 rpm
Engine torque (N-m)	442 at 2,000 rpm
Bore x stroke (mm)	110 x 113
Displacement (cc)	6,443
No. of cylinder	6
Firing order	1-4-2-6-3-5
Compression ratio	17.9: 1
Fuel consumption (l/hr)	22.3 at 2,000 rpm

มาตรฐานการทดสอบ

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงแรกเป็นการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้มาตรฐาน ISO 1550-2002 Internal Combustion Engine Determination and Method for the Measurement of Engine Power (ISBGS, 2002) เพื่อนำมาใช้ในการอ้างอิงในการกำหนดภาระเครื่องยนต์ในการดำเนินการทดสอบการสึกหรอ ทั้งนี้สมรรถนะเครื่องยนต์ ได้แก่ 1) ค่ากำลัง (Engine break power), 2) ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ (Engine break torque), 3) อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel consumption) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่าง ๆ จะนำมาแสดงผลวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์ (Performance curves)

ช่วงที่สองเป็นการทดสอบความสึกหรอของเครื่องยนต์ (Durability test) อ้างอิงตามมาตรฐาน 200-hr Screening Test for Alternative Fuels หรือ EMA 200-hr Test ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทางเลือก/ทดแทน (Alternative fuel) ที่กำหนดขึ้นโดยหน่วยงานชื่อ The Alternative Fuels Committee of the Engine Manufacturer's Association (1982) ของประเทศสหรัฐอเมริกา (Dept. of Energy, 1982) โดยการทดสอบได้กำหนดรูปแบบของภาระงานหรือโหลด (Load) เป็นลักษณะ Duty cycle ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยทำการทดสอบอย่างต่อเนื่อง 18 ชั่วโมง (6 Cycles) และหยุดพัก 6 ชั่วโมง เพื่อให้เครื่องยนต์มีอุณหภูมิเท่าบรรยากาศ และทำการทดสอบซ้ำและต่อเนื่องจนครบ 200 ชั่วโมง จำนวน 2 cycles ซึ่งจะทำให้ได้ชั่วโมงทดสอบเป็น 400 ชั่วโมง (สะสม) และในการทดสอบนี้ จะทำการเพิ่มชั่วโมงการทดสอบจนครบ 500 ชั่วโมง (สะสม) ทั้งนี้การสึกหรอของเครื่องยนต์จะประเมินจากน้ำหนักของแหวนลูกสูบที่หายไป ในชั่วโมงการทดสอบที่ 200 และ 500 ชั่วโมง

นอกจากนี้ยังได้ทำการประเมินการสึกหรอของชิ้นส่วนอื่น ๆ ของเครื่องยนต์ โดยทำการตรวจหาสิ่งปนเปื้อนประเภทโลหะและโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก (Fe), อลูมิเนียม (Al), ทองแดง (Cu), และโครเมียม (Cr) โดยใช้เครื่อง XRF (X-ray Fluorescence) และ วิเคราะห์คุณภาพน้ำมันเครื่องทุก ๆ 50 ชั่วโมงใช้งาน ได้แก่ ค่าความหนืดและความหนาแน่น โดยน้ำมันเครื่องที่ใช้เกรด 15W-40 ยี่ห้อเดียวกันตลอดการทดสอบและทำการเปลี่ยนถ่ายทุก ๆ 200 ชั่วโมง

ตารางที่ 3 แผนการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ตามมาตรฐาน EMA 200-hour Test

Cycle step	Engine Speed (rpm)	Torque	Power	Time (min)
1	Rated	-	Rated	60
2	85%	Maximum	95%	60
3	90%	28%	25%	30
4	Idle	0	0	30
Total				180

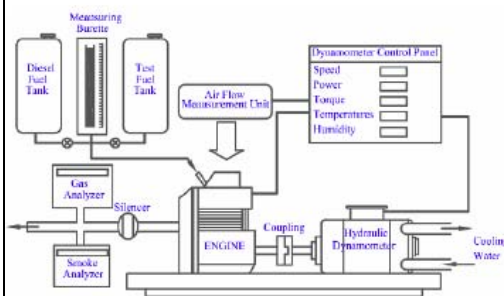
เครื่องมือทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

ใช้เครื่องไดนาโมมิเตอร์แบบ Hydraulic บริษัท AW Dynamometer, Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา รุ่น Neb 2-

300 ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4 โดยการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดแสดงไว้ในรูปที่ 2

ตารางที่ 4 รายละเอียดของเครื่องไดนาโมมิเตอร์

Dynamometer	
Make	AW Dynamometer, Inc.
Model	Neb 2 – 300
	74.6 kW/540 RPM
Max. power	156.6 kW/1000 RPM
	223.7 kW/2000 RPM
Torque (dynamometer)	1,490 N – m
Torque (drive line)	4,475 N – m

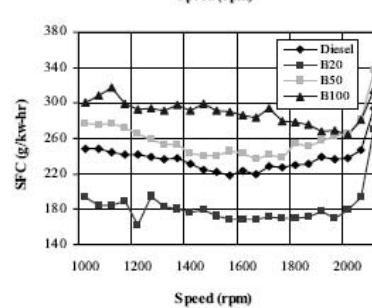
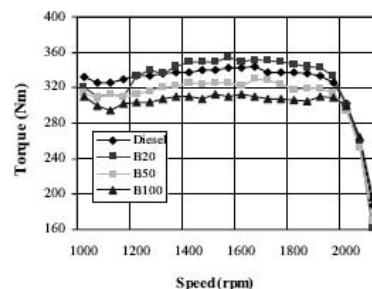
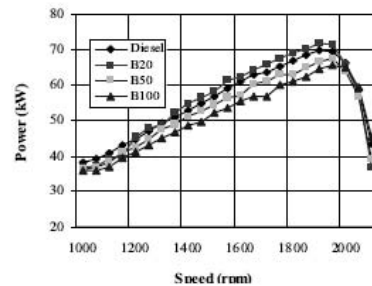


รูปที่ 2 Schematic diagram of the experimental set-up

ผลการทดลองและวิจารณ์

สมรรถนะเครื่องยนต์

จากรูปที่ 3 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ HINO รุ่น HO7C โดยใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ พบว่า ค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ จะอยู่ในช่วงความเร็วรอบ 1,800 – 2,000 rpm สำหรับเครื่องยนต์ HINO ที่ใช้ทดสอบนี้ B20 จะให้ค่ากำลังของเครื่องยนต์สูงสุด อาจเป็นเพราะในน้ำมันไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในเครื่องยนต์ แต่อย่างไรก็ตามกรณีใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีสัดส่วนสูง ๆ จะมีความหนืดสูง ซึ่งระบบจ่ายน้ำมันของเครื่องยนต์จะจ่ายเป็นปริมาตร ทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงมีน้อยและตอบสนองต่อกำลังของเครื่องยนต์ได้ไม่ดี ทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมัน B50 และ B100 ต่ำโดยมีค่ากำลังสูงสุดที่ 67.5 และ 65.6 kW ตามลำดับ ซึ่งค่ากำลังสูงสุดนี้ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption, SFC) พบว่า เครื่องยนต์เมื่อใช้ B20 จะให้ค่า SFC เฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 0.172 kg/kW-hr โดยคิดค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3 สมรรถนะเครื่องยนต์ HINO รุ่น HO7C

ในช่วงที่รอบเครื่องยนต์เร็วใช้งานจริง (1,500 – 1,800 rpm) ในขณะที่น้ำมัน B100, B50 และน้ำมัน Diesel มีค่า SFC เฉลี่ยสูงกว่า คือ 0.291, 0.242, และ 0.224 kg/kW-hr ตามลำดับ

การสึกหรอของเครื่องยนต์

1) การสึกหรอของแหวนลูกสูบ

ผลการศึกษาพบว่า น้ำมันหกวนลูกสูบมีการเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5 โดยจะเห็นว่าการสึกหรอของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลสัดส่วนร้อยละ 20 มีการสึกหรอเทียบเคียงได้กับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตามการทดสอบชี้ให้เห็นชัดเจนว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในสัดส่วนที่สูงร้อยละ 50 และ 100 จะมีการสึกหรอที่แหวนลูกสูบมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นเพราะน้ำมันไบโอดีเซลยังมีสมบัติการกัดกร่อนโลหะ

ตารางที่ 5 การสึกหรอของแหวนลูกสูบเครื่องยนต์ HINO รุ่น HO7C (6 สูบ)

เชื้อเพลิง	น้ำหนักแหวนลูกสูบที่หายไป (%)	
	200 ชั่วโมง	500 ชั่วโมง
Diesel	0.12	0.29
B20	0.11	0.31
B50	0.23	0.51
B100	1.37	2.88

2) คุณสมบัติของน้ำมันเครื่อง

ตัวอย่างข้อมูลผลการวิเคราะห์น้ำมันเครื่องแสดงไว้ในตารางที่ 6 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์น้ำมันเครื่องขณะทำการทดสอบ Durability ของเครื่องยนต์ชั่วโมงที่ 200

คุณสมบัติน้ำมันเครื่อง	ประเภทน้ำมันเชื้อเพลิง			
	D	B20	B50	B100
ความหนืด (cSt)	137	152	170	185
ความหนาแน่น (kg/m ³)	882.6	882.6	882.2	883.8
pH (gKOH/g)	8.5	10.4	9.8	10.3
Fe (ppm)	17.97	17.97	17.12	18.62
Pb (ppm)	0.87	0.78	1.32	1.2
Cr (ppm)	0.69	0.62	0.78	0.65
Cu (ppm)	1.27	1.13	1.4	1.25
Al (ppm)	1.51	1.35	2.98	2.52
Si (ppm)	5.91	5.28	5.02	5.12

2.1) ความหนืด (ASTM D 445-04)

ผลการวิเคราะห์ความหนืดของน้ำมันเครื่อง (น้ำมันทดสอบ) มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทดสอบเพิ่มมากขึ้นในทุก ๆ น้ำมันเชื้อเพลิง ทั้งนี้เนื่องจาก เมา สารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เมื่อพิจารณาอิทธิพลของสัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลมีผลต่อความหนืด พบว่า สัดส่วนน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นส่งผลต่อความหนืดที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันเครื่องที่ชั่วโมงการทำงานเท่ากัน โดยที่น้ำมัน B20 มีการเพิ่มขึ้นของความหนืดเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซล

2.2) ความหนาแน่น (ASTM D 1298-99)

จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำมันเครื่อง พบว่า มีความสอดคล้องกันกับความหนืดของน้ำมันเครื่อง

โดยผลของการทดสอบการใช้น้ำมัน ดีเซล, B20, B50, และ B100 กับเครื่องยนต์ พบว่า ความหนาแน่นของน้ำมันเครื่อง มีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง ซึ่งหากต้องการยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์และน้ำมันเครื่องควรใช้สัดส่วนน้ำมันไบโอดีเซลไม่เกินร้อยละ 20

2.3) ปริมาณโลหะและอโลหะปนเปื้อน

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง พบว่ามีโลหะปนเปื้อนเรียงจากมากไปหาน้อย คือ Fe, Pb, Cr, และ Cu ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่น และความหนืดของน้ำมันเครื่องที่เพิ่มขึ้น โดยที่การใช้ น้ำมัน B100 มีการปนเปื้อนของโลหะสูงสุดรองมา คือ น้ำมัน B50, น้ำมันดีเซล และ น้ำมัน B20 ตามลำดับ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการสึกหรอของชิ้นส่วนโลหะภายในเครื่องยนต์ เช่น แหวน กระบอกสูบ และอื่น ๆ เป็นต้น จากการวิเคราะห์ปริมาณอโลหะปนเปื้อนในน้ำมันเครื่องพบว่า Al และ Si ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งค่า Al เป็นตัวบ่งชี้ถึงการสึกหรอของ Bearing ส่วนค่า Si ที่พบนั้น อาจมาจากฝุ่นละอองที่สามารถผ่านกรองอากาศเข้ามาในเครื่องยนต์ได้นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์อีก เช่น 1) ค่าความชื้นที่เหลืออยู่ในกระบอกสูบ ซึ่งจะทำให้เกิดการสึกหรอในช่วง start เครื่องยนต์, 2) การกระจายตัวของน้ำมันเครื่องที่ไม่ดีพอ, 3) น้ำมันเครื่องสกปรกหรือเสื่อมสภาพ, 4) ชนิดของเชื้อเพลิง และ 5) ระบบกรองอากาศที่ไม่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น

สรุป

จากการทดสอบสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ คือ ดีเซล B20 B50 และ B100 พบว่า น้ำมัน B20 ให้ค่ากำลังของเครื่องยนต์ (Engine power) มากที่สุด เมื่อเทียบเคียงกับน้ำมันดีเซล โดยน้ำมัน B20 ให้ค่ากำลังสูงกว่าน้ำมันดีเซล 2.72 % ส่วนน้ำมัน B50 และ B100 ให้ค่ากำลังของเครื่องยนต์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 4.58 และ 7.16 % ตามลำดับ ส่วนอัตราการใช้เชื้อเพลิง (SFC) พบว่า น้ำมัน B20 มีค่า SFC น้อยกว่าน้ำมัน Diesel 23.15 % น้ำมัน B50 และ B100 มีค่า SFC มากกว่าน้ำมันดีเซล 7.68 และ 29.79 % ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ในห้องปฏิบัติการที่ 200 และ 500 ชั่วโมง พบว่า สัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลสูงชัน จะมีการสึกหรอของเครื่องยนต์มากขึ้น โดยน้ำมัน B20 น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการส่งเสริมให้มีการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 20

อย่างไรก็ดีข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการที่จะนำไปใช้ในการทดสอบภาคสนามต่อไป

คำขอบคุณ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยและทดสอบการใช้ไบโอดีเซลตั้งแต่ร้อยละ20ขึ้นไปกับเรือประมง ผู้วิจัยขอขอบคุณกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กิตติพงษ์ เสถียรเสาวภาคย์, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, อธิพิพล วรพันธ์. 2549. ผลกระทบต่อสมรรถนะและการสึกหรอในการใช้งานระยะยาวของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20. จังหวัดนครราชสีมา.
- กิตติพงษ์ เสถียรเสาวภาคย์, อธิพิพล วรพันธ์, กุลเชษฐ์ เพียรทอง. 2550. การศึกษาผลกระทบจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วต่อสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ทางเกษตรแบบสูบเดียวในการใช้งานระยะยาว. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3. โรงแรมใบหยกสกาย จัหวัดกรุงเทพมหานคร
- กรมธุรกิจพลังงาน. 2550. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550. กระทรวงพลังงาน. (มี.ค. 2552).
- กรมธุรกิจพลังงาน-ก. 2552. รายชื่อผู้ผลิตไบโอดีเซล (B100) ที่ได้รับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายจากกรมธุรกิจพลังงาน. กระทรวงพลังงาน. (ก.ค. 2552) Online available:<http://www.doeb.go.th/information/stat/B100.pdf>
- จักรวาล สารปริง และ วิษระ เพิ่มชาติ. 2551. การศึกษาการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9. โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิ้ง จังหวัดเชียงใหม่.
- ชัยนิกร กุลวงษ์. 2545. การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์. วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นคร ทิพย์วงศ์และอนุศาล เพิ่มสุวรรณ. 2546. การประเมินการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้งานยาวนาน โดยใช้น้ำมันปาล์มดีเซลเป็นเชื้อเพลิง. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นพพร เทนอิสสระ. 2546. การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรงโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์. วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- อนันต์ มีนาค. 2545. การวิเคราะห์ผลกระทบของเชื้อเพลิงจากน้ำมันปาล์มต่อการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ดีเซล. วิทยานิพนธ์. วิศวกรรมการผลิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- Antolin, G., Tinaut, F.V., Briceno, V., Castano, V., Perze, C., and Ramierz, A.I. Optimisation of Biodiesel Production by Sunflower Oil Transesterification, *Bioresource Technology* Vol. 83 pp. 111 – 114, 2002.
- Department of Energy. 1982. Handbook of EMA 200 Hours Test – Hydrogenated Soy Ethyl Ester and Diesel Fuel. University of Idaho, Department of Agricultural Engineering, USA. 78 p.
- International Standards for Business, Government and Society (ISBGS). 2002. ISO 15550: 2002 Internal Combustion Engines - Determination and Method for the Measurement of Engine Power - General Requirements. International Organization for Standardization (ISO). (March 2002). Online available: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=28185

ประวัติผู้เขียน

สืบเอกคงเดช พะสีนาม เกิดเมื่อวันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดนครราชสีมา เป็นบุตรของนายคำสิงห์ พะสีนาม และนางทองใส พะสีนาม สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนบัวใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2549 และได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ระดับภาคีวิศวกร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากสภาวิศวกร จากนั้นในปี พ.ศ. 2552 ได้รับปริญญาศิลปศาสตรบัณฑิต (สารสนเทศศาสตร์) จากมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช หลังจากสำเร็จการศึกษาจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2549 ได้เข้าทำงานที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในตำแหน่งผู้ช่วยสอนและวิจัยประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ จากนั้นในปี พ.ศ. 2551 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมการจัดการพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาจนถึงปัจจุบันได้ทำงานในตำแหน่งวิศวกรประจำศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยในระหว่างการศึกษาได้เสนอบทความในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 ประจำปี พ.ศ. 2553 เรื่อง “การศึกษาสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสม” โดยมีปรากฏในภาคผนวก ก.