



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันปาล์มสำหรับรถจักรยานยนต์สี่ล้อ
โดย นางสาวอิศราวัจน์ อุดรเทพ

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงศ์)

16 พฤษภาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไกรพัฒน์ จินขจร)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.กานต์ พนาศุภมัสสุ)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม ปทุมสวัสดิ์)

กรรมการ

(ดร.สุบงกช โตไพฑูรย์)

การพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันปาล์มสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ

นางสาวอิศราวิจน์ อุดรเทพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นางสาวอิศราวิจน์ อุดรเทพ
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันปาล์มสำหรับรถจักรยานยนต์
สี่จังหวะ
สาขาวิชา : วิศวกรรมเคมี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไกรพัฒน์ จินขจร
ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

เครื่องยนต์ของรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นโลหะ การเคลื่อนไหวชิ้นส่วนต่างๆ จะเสียดสีกันตลอดเวลา จึงต้องอาศัยน้ำมันหล่อลื่นมาเคลือบผิวโลหะเพื่อลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ แต่ในสภาวะปัจจุบันปัญหามลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อม จากน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียมได้เกิดขึ้นมาก เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงศึกษาค้นคว้าและวิจัยน้ำมันหล่อลื่นจากพืชน้ำมัน เพราะมีประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมหลายประการ เช่น มีระดับความเป็นพิษต่อระบบนิเวศต่ำ สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติได้ดี ซึ่งเป็นข้อดีที่แตกต่างจากน้ำมันที่ได้จากปิโตรเลียม จากการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นตามมาตรฐานของ American Society of Testing Materials (ASTM) และ JASO T 903 เพื่อหาค่าความหนืด ดัชนีความหนืด จุดวาบไฟ ร้อยละคราบเกลือของกรดกำมะถัน ปริมาณร้อยละของการสูญเสียไปจากการระเหย กลายเป็นไอ พฤติกรรมการต่อต้านการสึกกร่อน การเกิดฟอง การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง แล้วพบว่าอัตราส่วนผสมปริมาณร้อยละของน้ำมันปาล์มต่อร้อยละของน้ำมันฐานต่อร้อยละของสารเพิ่มคุณภาพเป็น 50:6:41.6:7.8 โดยปริมาตร มีค่าความหนืด ดัชนีความหนืด จุดวาบไฟ ร้อยละคราบเกลือของกรดกำมะถัน ปริมาณร้อยละของการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอ พฤติกรรมการต่อต้านการสึกกร่อนใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 117 หน้า)

คำสำคัญ : น้ำมันหล่อลื่น, น้ำมันปาล์ม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Miss Isarawat Udonthep
Thesis Title : A Development of a Four-stroke Engine Oil for Motorcycles Using
Palm Oil as a Base Stock
Major Field : Chemical Engineering
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisor : Assistant Professor Dr.Kraipat Cheenkachorn
Academic Year : 2006

Abstract

Four-stroke motorcycle engines are mainly composed of metal parts which require lubricant in order to prevent wearing and over heating during the engine operation. As a petroleum industrial product, most lubricants are made of mineral oils and know as non-degradable chemicals unlike the vegetable oils that are degradable. Further more, while the quantity of petroleum in the world reserve is decreasing and the demand is still increasing, the price of imported oil is rising as well. Many researchers are seeking for an alternative source of lubricant, for instance, using vegetable oil as the base stock. This biodegradable lubricant offers many advantages such as less toxicity, good lubricity, etc. In this work, a blend of palm oil, mineral oil and an additive package at the ratio of 50.6:41.6:7.8 by volume, respectively, was formulated. The properties of this formulated oil were performed using ASTM and JASO T 903 standard procedures including viscosity, viscosity index, flash point, evaporative loss, sulfur ash, foaming charact, wear scar, and waste fuel. The results showed that palm oil based lubricant has a potential to be used as a base stock for a biodegradable lubricant.

(Total 113 pages)

Keywords : Engine Oil, Palm Oil

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องการพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันปาล์มสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะสำเร็จลงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไกรพัฒน์ จินขจร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ตลอดจนความช่วยเหลือในด้านต่างๆ รวมทั้งได้สละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา และตรวจแก้ไขข้อผิดพลาดตลอดเวลาในการทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.กานต์ พนาศุภมัสสุ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม ปทุมสวัสดิ์ และ ดร.สุบงกช โตไพบุลย์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่ายิ่งเพื่อเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ อาจารย์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดีในการทำงานของผู้วิจัย จนสำเร็จลงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ชาคริต แยมอุไร อาจารย์จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาน้ำมันปาล์มโอเลอินในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล ราษฎร์นุ้ย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบหาปริมาณธาตุโลหะหนักในน้ำมันหล่อลื่น

ขอขอบคุณ บริษัทชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาน้ำมันปาล์มในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยผลิตภัณฑ์หล่อลื่น บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาสารเพิ่มคุณภาพ ให้ความรู้เกี่ยวกับน้ำมันหล่อลื่น และวิธีการทดลอง ตลอดจนอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบน้ำมันหล่อลื่น

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบเชื้อเพลิงชีวภาพ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่อำนวยความสะดวกในการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นเพื่อการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือให้ข้อเสนอแนะ และเป็นกำลังใจในการศึกษาตลอดมา

อิศราวัจน์ อุดรเทพ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	
สารบัญภาพ	
คำอธิบายสัญลักษณ์และหน่วยย่อ	
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 สิ่งที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การหล่อลื่น	5
2.2 น้ำมันหล่อลื่น	6
2.3 การหล่อลื่นเครื่องยนต์สันดาปภายใน	7
2.4 เกรดน้ำมันหล่อลื่น	14
2.5 ระบบหล่อลื่น	16
2.6 หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่น	18
2.7 สารเพิ่มคุณภาพ	21
2.8 การตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น	23
2.9 มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ	27
2.10 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุโลหะในน้ำมันหล่อลื่น	31
2.11 ปาล์มน้ำมัน	31
2.12 ผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์ม	33
2.13 ภาวะการตลาด	39
2.14 แนวคิด และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	45
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	45
3.2 ขั้นตอนการวิจัย	45
3.3 วิธีการทดลอง	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลและอภิปรายผลการทดลอง	49
4.1 การหาค่าความหนืด และดัชนีความหนืด	49
4.2 การทดสอบหาจุดวาบไฟ	52
4.3 การทดสอบหาคราบเกลือของกรดกำมะถันจากน้ำมันหล่อลื่น และ สารเพิ่มคุณภาพ	53
4.4 การทดสอบหาปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอของ น้ำมันหล่อลื่น	53
4.5 การทดสอบหาลักษณะแนวโน้มในการเกิดฟองในน้ำมันหล่อลื่น	54
4.6 การทดสอบหาพฤติกรรมการต่อต้านการสึกกร่อน ของน้ำมันหล่อลื่น แบบลูกบอล 4 ลูก	55
4.7 การทดสอบหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอ	55
4.8 การทดสอบหาลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ความดันสูงสุด ของน้ำมันหล่อลื่น	56
4.9 การทดสอบการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นกับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ	57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปผลการวิจัย	69
5.2 ข้อเสนอแนะทั่วไป	70
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง	77
ภาคผนวก ข รูปประกอบการทำวิจัย	93
ภาคผนวก ค ตัวอย่างวิธีการทดสอบ	105
ภาคผนวก ง ตารางและแผนภาพประกอบการหาความหนืด	111
ประวัติผู้วิจัย	117

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1	หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่น 9
2-2	อุณหภูมิใช้งานในเครื่องยนต์ 10
2-3	ส่วนประกอบของก๊าซรั่วที่ใช้ น้ำมันแบบมีสารตะกั่ว 13
2-4	แสดงมาตรฐาน SAE J 300 14
2-5	แบ่งชั้นมาตรฐาน API ของน้ำมันหล่อลื่นยนต์เบนซิน 16
2-6	มาตรฐานระดับชั้นคุณภาพ 27
2-7	คุณสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ 27
2-8	มาตรฐานความเสียดทานของระบบคลัตช์ โดยใช้วิธีทดสอบตาม JASO T 903 28
2-9	คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นแบบ V-120 เบนซิน (ปตท.) และ แบบ V-SF เกรดเดี่ยว (ปตท.) 28
2-10	คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์เบนซินของ ปตท. (แบบV-150 เกรดรวม 20W/50 และแบบซูเปอร์ V-SF เกรดรวม 20W/50) 29
2-11	ผลิตภัณฑ์น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เบนซินของบริษัทเชลล์ 29
2-12	คุณสมบัติบางอย่างของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เบนซิน (คาสโตรอล) คาสโตรอล GTX SAE 20 W/50 30
2-13	คุณสมบัติบางอย่างของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เบนซิน (BP) BP วิสโก้ 2000 SAE 15 W/50 30
2-14	คุณสมบัติบางอย่างของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เบนซิน (BP) BP ซูเปอร์วี (วิสโก้สแตติก 20 W/50) 30
2-15	ราคาเฉลี่ยน้ำมันปาล์มดิบ (บาท/กิโลกรัม) ในปี 2549 40
4-1	ค่าความหนืด และดัชนีความหนืด ของน้ำมันต่างๆ 49
4-2	ค่าความหนืดที่ 100 °C ของอัตราส่วนผสมของน้ำมันตามสูตรต่างๆ ตาม มาตรฐาน ASTM D445 50
4-3	ค่าจุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นในอัตราส่วนต่างๆ 52
4-4	การหาคราบเกลือของกรดกำมะถันจากน้ำมันหล่อลื่น และสารเพิ่มคุณภาพ 53
4-5	การหาปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอ ของ น้ำมันหล่อลื่น 54

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-6 การทดสอบหาลักษณะแนวโน้มในการเกิดฟองในน้ำมันหล่อลื่น	54
4-7 การทดสอบหาพฤติกรรมการต่อต้านการสึกกร่อน ของน้ำมันหล่อลื่น แบบลูกบอล 4 ลูก	55
4-8 การทดสอบหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอ ตามมาตรฐาน ASTM G 133-95	55
4-9 ตารางแสดงค่าการทดสอบหาลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่ความดันสูงสุดของน้ำมันหล่อลื่น ตามมาตรฐาน ASTM D 2893	57
4-10 ตารางแสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นต่างๆ	58
4-11 แสดงปริมาณก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์	58
4-12 อนุภาคเศษโลหะสึกหรอที่มีขนาดละเอียด (Fine) ซึ่งมีขนาดโดยประมาณ เล็กกว่า 8 ไมครอน ที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น	64
4-13 อนุภาคเศษโลหะสึกหรอที่มีขนาดหยาบ (Coarse) ซึ่งมีขนาด โดยประมาณ จาก 5-150 ไมครอน ที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น	65
4-14 อนุภาคสิ่งสกปรกปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น	66
4-15 ธาตุโลหะของสารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันหล่อลื่น	66
ก-1 การทดสอบการหาค่าความหนืด	78
ก-2 การทดสอบการหาดัชนีความหนืด	79
ก-3 การทดสอบการหาค่าจุดวาบไฟ	79
ก-4 การทดสอบการหาคราบเกลือของกรดกำมะถันจากน้ำมันหล่อลื่น และสารเพิ่มคุณภาพ	80
ก-5 การทดสอบการหาปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอ	80
ก-6 การทดสอบหาลักษณะแนวโน้มการเกิดฟองในน้ำมันหล่อลื่น	80
ก-7 การทดสอบหาพฤติกรรมการต่อต้านการสึกกร่อน ของน้ำมันหล่อลื่น แบบลูกบอล 4 ลูก	81
ก-8 การทดสอบวัดก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียของน้ำมันปาล์มผสม 1-100 กิโลเมตร	81
ก-9 การทดสอบวัดก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียของน้ำมันปาล์มผสม 101-200 กิโลเมตร	83
ก-10 การทดสอบวัดก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียของน้ำมันปาล์มผสม 1-300 กิโลเมตร	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก-11	การทดสอบวัดก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียของน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาด ใน 1-100 กิโลเมตรแรก	87
ก-12	การทดสอบวัดก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียของน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาด ใน 101-200 กิโลเมตร	89
ก-13	การทดสอบวัดก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียของน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาด ใน 201-300 กิโลเมตร	91
ง-1	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิที่มีค่าดัชนีความหนืดสูงและต่ำ (หน่วยวินาทีเซย์โบลต์)	112
ง-2	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิที่มีค่าดัชนีความหนืดสูงและต่ำ (หน่วยเซนติสโตก)	113

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	แสดงผิวหน้าของชิ้นงานที่มีสารหล่อลื่นเป็นฟิล์มเพื่อลดการเสียดสี	5
2-2	แสดงการกลั่นน้ำมันหล่อลื่น (หากลั่นแบบสุญญากาศ)	6
2-3	ไดอะแกรมแสดงการผลิตน้ำมันหล่อลื่น	7
2-4	วงรอบการทำงานของเครื่องยนต์สี่จังหวะ	7
2-5	วงรอบการทำงานของเครื่องยนต์สองจังหวะ	8
2-6	การกระจายค่าพลังงานของเครื่องยนต์เบนซินกับเครื่องยนต์ดีเซล	8
2-7	จุดสำคัญๆ ในการหล่อลื่นภายในเครื่องยนต์	9
2-8	ระดับค่าความหนืดในระบบ SAE มาช่วงอุณหภูมิใช้งาน	11
2-9	ปฏิกิริยาเคมี และสารเคมีที่เกิดจากการเผาไหม้	12
2-10	ลักษณะการทำงานของปั๊มข้อมูล	17
2-11	ลักษณะการหล่อลื่นเครื่องยนต์	18
2-12	ต้นปาล์มน้ำมัน	32
2-13	เมล็ดปาล์มและทะเลาะปาล์ม	32
2-14	น้ำมันปาล์มดิบ	33
2-15	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	33
2-16	น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์	34
2-17	น้ำมันปาล์มโอเลอิน	34
2-18	ไขปาล์มบริสุทธิ์ชนิดแข็ง	35
2-19	กรดไขมันปาล์ม	35
2-20	กากในเมล็ดปาล์ม	36
2-21	การสกัดน้ำมันปาล์มในระบบอุตสาหกรรม	38
4-1	ค่าความหนืดที่ 100 °C จากการผสมน้ำมัน	51
4-2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	56
4-3	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ HC CO และ NO ในไอเสียของเครื่องยนต์เบนซิน	61
4-4	ลักษณะโดยทั่วไปของเศษโลหะจากการสึกหรอ	63
4-5	อนุภาคเศษโลหะสึกหรอที่มีขนาดละเอียด	64
4-6	อนุภาคเศษโลหะสึกหรอที่มีขนาดหยาบ	65
ข-1	ปริมาณการบริโภคน้ำมันพืชของโลก	94
ข-2	ปริมาณการผลิตน้ำมันพืชของโลก	94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ข-3	อุณหภูมิน้ำมันเครื่องที่ส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ขณะใช้งานปกติ	95
ข-4	น้ำมันปาล์มโอเลอิน	95
ข-5	น้ำมันผสมสูตร 50.60%:41.60%:7.80% โดยปริมาตร	96
ข-6	น้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ	96
ข-7	เครื่องทดสอบ 4 ball wear	97
ข-8	เครื่องทดสอบ microscope	97
ข-9	ลูกบอลที่ใช้ในการทดสอบ 4 ball wear	98
ข-10	เครื่อง Tribometer	98
ข-11	เครื่อง Tribometer พร้อมการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	99
ข-12	ชิ้นส่วนลูกสูบริดจักรยานยนต์สี่จังหวะ	99
ข-13	เครื่องมือในการหยดน้ำมันหล่อลื่น	100
ข-14	เครื่อง Cannon-Fenske RouTine Type	100
ข-15	เครื่อง Koehler Model	101
ข-16	เครื่องทดสอบค่าความหนืดที่เปลี่ยนไป	101
ข-17	รถจักรยานยนต์สี่จังหวะ	102
ข-18	เครื่อง testo 350 - XL	102
ข-19	การดูน้ำมันหล่อลื่นออกจากถังน้ำมันหล่อลื่นของรถจักรยานยนต์	103
ข-20	การต่อเครื่องวัดก๊าซที่ท่อไอเสียรถจักรยานยนต์	103
ข-21	น้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดโดยทั่วไป	104
ข-22	น้ำมันหล่อลื่น ที่ผสมจากสูตร 50.6%:41.6%:7.8%	104
ค-1	ตำแหน่งที่ต้องถอดสกรูเพื่อถ่ายน้ำมันหล่อลื่น	106
ค-2	สกรู และ ปะเก็นที่ต้องถอดเพื่อถ่ายน้ำมันหล่อลื่น	106
ค-3	ระดับน้ำมันหล่อลื่นในแคร้ง	107
ค-4	เครื่องทดสอบ 4 ball test	109
ค-5	การทดสอบหาจุดวาบไฟ	110
ง-1	ค่าความหนืดผสมระหว่างของเหลวสองชนิดที่มีหน่วยเป็นวินาทีเซย์โบลต์	115
ง-2	ค่าความหนืดผสมระหว่างของเหลวสองชนิดที่มีหน่วยเป็นเซนติสโตก	116

คำอธิบายสัญลักษณ์และหน่วยย่อ

API	องศาเอพีไอ (American Petroleum Institute)
cSt	เซนติสโตก
H	ค่าความหนืดที่ 40 °C ของน้ำมันมาตรฐานที่มีค่าดัชนีความหนืดเท่ากับ 100 และจะมีค่าความหนืดเทียบเท่ากับน้ำมันที่จะนำมาหาค่าดัชนีความหนืดที่ 100 °C
hr	ชั่วโมง
kgf	กิโลกรัม(แรง)
km	กิโลเมตร
L	ค่าความหนืดที่ 40 °C ของน้ำมันมาตรฐานที่มีค่าดัชนีความหนืดเท่ากับ 0 และจะมีค่าความหนืดที่ 100 °C เหมือนกับที่จะนำมาหาค่าดัชนีความหนืดที่ 100 °C
mm	มิลลิเมตร
mm ²	ตารางมิลลิเมตร
ppm	หนึ่งในล้านส่วน (1×10^{-6})
rpm	รอบต่อนาที
s	วินาที
Seq.	ขั้นตอนที่
Sq.gr.60/60 °F	ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันที่ 60 °F
U	ค่าความหนืดที่ 40 °C
°C	องศาเซลเซียส (Celsius degrees)
°F	องศาฟาเรนไฮต์ (Fahrenheit degrees)
%wt	ร้อยละโดยน้ำหนัก

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาเครื่องยนต์ให้สามารถลดมลพิษ และมีระบบส่งถ่ายกำลังที่มีประสิทธิภาพ ทำให้เทคโนโลยีน้ำมันหล่อลื่นได้เปลี่ยนรูปแบบไปมาก เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ผลิตเครื่องยนต์ (Original Equipment Manufacturers, OEMs) และมีปัจจัยต่างๆ ที่มีส่วนผลักดันให้มีการพัฒนาเทคโนโลยี ได้แก่ การออกข้อกำหนดเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมของรัฐบาลที่เข้มงวดมากขึ้น การขยายตัวเพิ่มขึ้นของ OEMs และการแข่งขันทางการค้า ซึ่งความก้าวหน้าของเทคโนโลยีน้ำมันหล่อลื่น ไม่เพียงแต่ทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังคงหวังว่าจะช่วยยืดอายุและลดค่าบำรุงรักษาเครื่องยนต์อีกด้วย [1]

ประเทศไทยมียอดการจำหน่ายรถจักรยานยนต์สี่จังหวะมากขึ้น เนื่องจากการคมนาคมขนส่งที่สะดวก และสินค้าทางการเกษตร ที่เน้นความรวดเร็ว และปริมาณน้อย ทำให้บุคคลทั่วไปหันมานิยมใช้รถจักรยานยนต์โดยเฉพาะรถจักรยานยนต์สี่จังหวะกันเป็นจำนวนมาก เพราะมีขนาดที่พอดี ขับขี่ง่าย รวดเร็ว ประหยัด สะดวกในการเดินทาง และขนส่งสินค้าและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีจำนวนไม่มากได้อย่างรวดเร็ว จึงเป็นที่นิยมใช้มากทั้งในชนบท และในเมือง [2] ส่งผลให้การนำเข้าน้ำมันหล่อลื่นจากต่างประเทศเพิ่มจำนวนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นมีความสำคัญในการดูแลรักษาเครื่องยนต์ โดยจะเข้าไปแทรกระหว่างผิวของโลหะที่ขัดสีกัน เพื่อลดความเสียหาย หากไม่มีการหล่อลื่น และทำให้เกิดการสึกหรอ อุณหภูมิที่เกิดจากแรงเสียดทานสูงขึ้น จะทำให้ผิวโลหะเชื่อมติดเป็นเนื้อเดียวกัน ส่งผลให้เครื่องยนต์เกิดความเสียหายขึ้นได้ [3]

น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating Oil) เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันหล่อลื่นเป็นวัสดุหล่อลื่นที่มีลักษณะเป็นของเหลว โดยทั่วไปจะนำไปใช้หล่อลื่นชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ และเครื่องจักรกลที่มีลักษณะปิด เช่น ภายในห้องเพลาช้อเหวี่ยง ห้องเกียร์ และเฟืองท้าย เป็นต้น การผลิตน้ำมันหล่อลื่นเพื่อให้ได้น้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปที่มีคุณภาพดีและเหมาะสมกับการใช้งานสำหรับเครื่องยนต์และเครื่องจักรกลแต่ละชนิดนั้น จะต้องผ่านมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วกัน เช่นรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ ต้องผ่านมาตรฐาน JASO T 903

ในสภาวะปัจจุบัน เกิดปัญหามลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อมจากน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียมขึ้นมากมาย เช่นการกำจัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว หรือน้ำมันหล่อลื่นที่รั่วออกมาเมื่อเกิดอุบัติเหตุโดยไม่คาดคิด ประกอบกับน้ำมันหล่อลื่นนำเข้ามีราคาสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำมันดิบของโลกลดลง ประเทศผู้ค้าน้ำมันจึงมีการลดเพดานการผลิตและได้มีการกักตุน เพื่อ

เก็งกำไรจากการค่าน้ำมันในตลาดโลก จึงทำให้เข้าสู่สภาวะการราคาสูงขึ้นของน้ำมันปิโตรเลียม เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการศึกษาค้นคว้า และวิจัยน้ำมันหล่อลื่นจากพืชน้ำมัน เพราะเป็น วัตถุดิบทดแทนที่สามารถเพาะปลูกได้ อีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากมายหลายอย่าง เช่น มีระดับความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ต่ำมาก สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติได้ดี ซึ่งเป็น ข้อแตกต่างจากน้ำมันที่ได้จากปิโตรเลียม

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีประชากรส่วนมากประกอบอาชีพการเกษตร มีพืชหลายชนิด ที่เกษตรกรเพาะปลูกเพื่อเลี้ยงชีพ และเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ ซึ่งพืชน้ำมันเศรษฐกิจที่มี บทบาทมากที่สุดในการนำมาใช้ทดแทนน้ำมันฐานในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นคือ ปาล์มน้ำมัน เนื่องจากนิยมปลูกกันมากภายในประเทศ ให้ผลผลิตน้ำมันสูง ทำให้มีต้นทุนการผลิตและราคา ต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น

ด้วยเหตุผลเหล่านี้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการคิดค้น และวิจัยเพื่อแก้ปัญหา ปรับปรุง น้ำมันปาล์มให้เป็นน้ำมันหล่อลื่น โดยวิจัยปริมาณสารเพิ่มคุณภาพที่เหมาะสม และรักษา สิ่งแวดล้อมไปพร้อมๆ กัน โดยใช้ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ผสมกับน้ำมันปิโตรเลียมและสารเพิ่มคุณภาพ นำมาผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ ให้มีคุณภาพดี ราคาถูก เพื่อ ทดแทนปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ทำให้ประเทศไทยสามารถประหยัด ค่าใช้จ่ายได้เป็นอันมาก และรู้จักใช้ทรัพยากรในประเทศอย่างมีค่า และมีประโยชน์สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ

1.2.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันปาล์ม โดยเติมสาร เพิ่มคุณภาพ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของน้ำมันปาล์ม ให้เหมาะสมเพื่อใช้เป็น น้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ

1.2.3 ทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากน้ำมันปาล์ม หลังจากเติมสาร เพิ่มคุณภาพแล้ว

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

การพัฒนา น้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันปาล์ม โดยผสมน้ำมันปาล์มกับน้ำมันปิโตรเลียมและ สารเพิ่มคุณภาพในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อนำมาใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์ สี่จังหวะ โดยมีคุณสมบัติทางด้านเคมี และฟิสิกส์ ตลอดจนคุณสมบัติที่สำคัญต่างๆ อยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานที่ยอมรับได้

1.4 สิ่งที่เราคาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

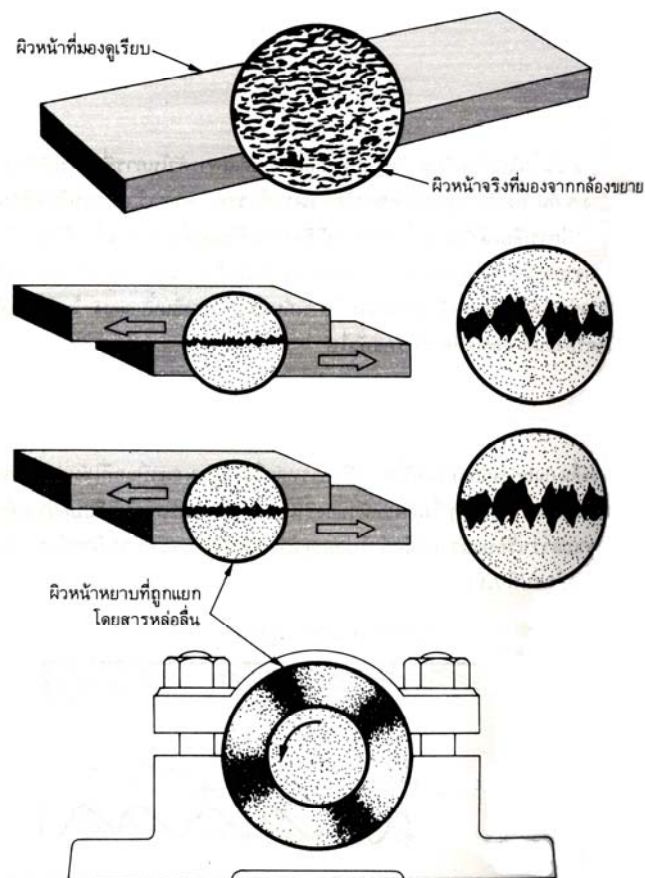
งานวิจัยนี้สามารถกำหนดอัตราส่วนผสมที่ทำให้ได้คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ต้องการใช้งานได้ โดยผสมจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันปิโตรเลียม และเติมสารเพิ่มคุณภาพในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อผลิตน้ำมันหล่อลื่นให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถนำไปใช้กับรถจักรยานยนต์สี่ล้อได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การหล่อลื่น

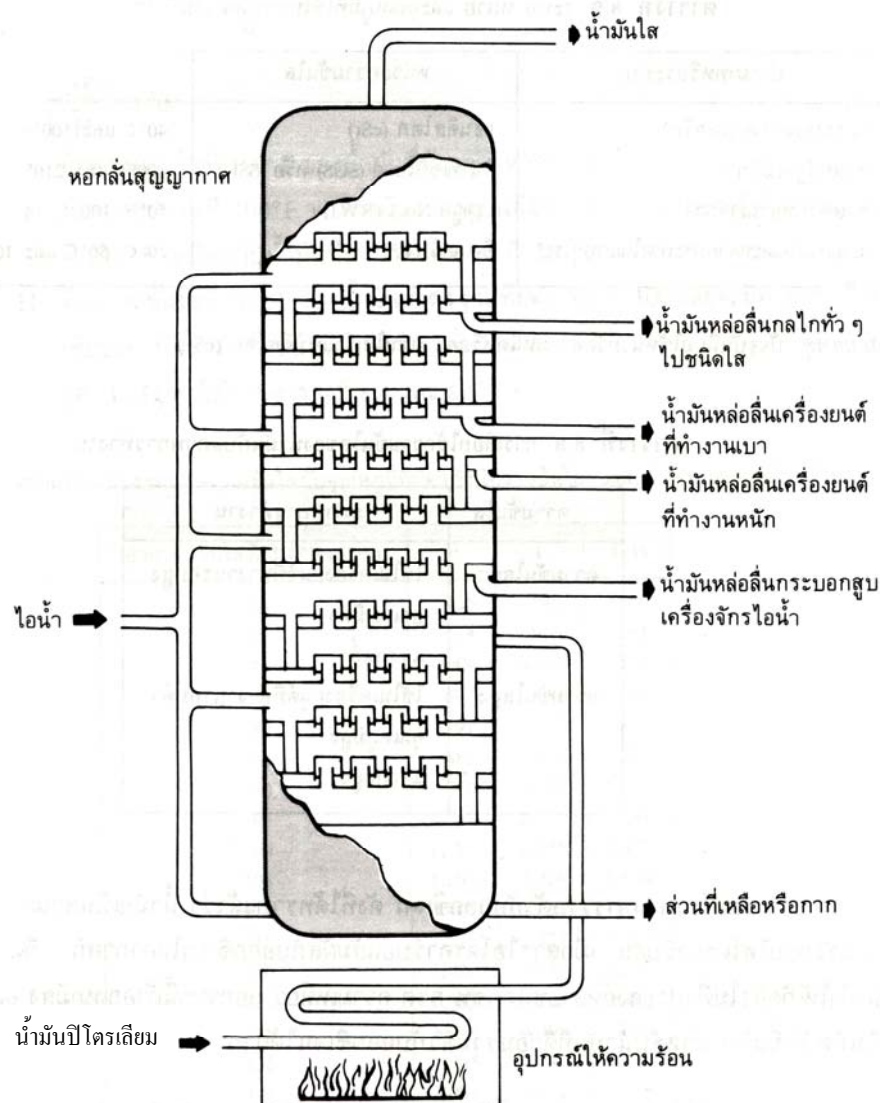
เมื่อวัตถุสองชิ้นขึ้นไปเสียดสีกัน วัตถุทุกชิ้นมีคุณสมบัติเฉพาะตัวในการที่จะทำให้เกิดความฝืด (Friction) ในระดับต่างๆ กัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ภาระที่กระทำ ความเร็วในการเสียดสีกัน และรูปแบบในการเคลื่อนที่ เมื่อมีการเสียดสีกันมากขึ้นย่อมทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้น จนอาจทำให้วัสดุที่เสียดสีกันชำรุดเสียหายได้ นอกจากจะมีสารหล่อลื่นมาเป็นตัวคั่นกลางการเสียดสี และระบายความร้อนของผิวหน้าของวัสดุทั้งสองนั้น จะช่วยให้การชำรุดเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับวัสดุทั้งสองชิ้นนั้นลดลง ดังภาพที่ 2-1



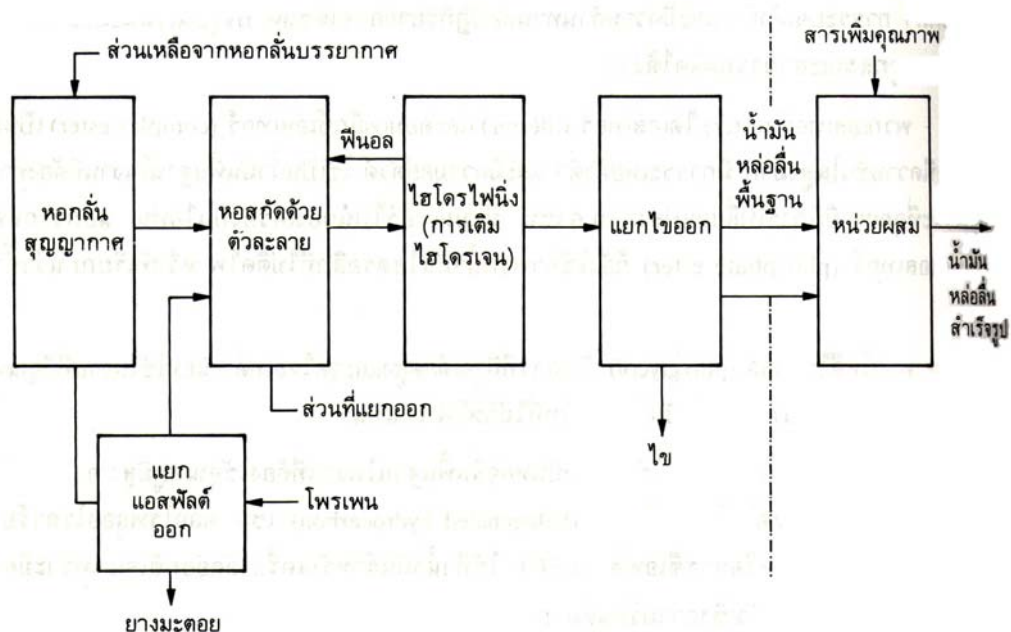
ภาพที่ 2-1 ผิวหน้าของชิ้นงานที่มีสารหล่อลื่นเป็นฟิล์มเพื่อลดการเสียดสี [4]

2.2 น้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oil) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม น้ำมันหล่อลื่นเป็นวัสดุหล่อลื่นที่มีลักษณะเป็นของเหลว โดยทั่วไปจะนำไปใช้หล่อลื่นชิ้นส่วนของเครื่องยนต์และเครื่องจักรกลที่มีลักษณะปิด เช่น ภายในห้องเพลาช้อเหวี่ยง ห้องเกียร์ และเฟืองท้าย เป็นต้น [4] การผลิตน้ำมันหล่อลื่นเพื่อให้ได้น้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปที่มีคุณภาพดี และเหมาะสมกับการใช้งานสำหรับเครื่องยนต์ และเครื่องจักรกลแต่ละชนิดนั้น ขั้นตอนในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ขั้นตอนการผลิตน้ำมันฐาน ดังภาพที่ 2-2 และขั้นตอนในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปโดยการเติมสารเพิ่มคุณภาพต่างๆ ลงในน้ำมันฐาน ดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-2 การกลั่นน้ำมันหล่อลื่น (หอกลิ้นแบบสูญญากาศ) [4]

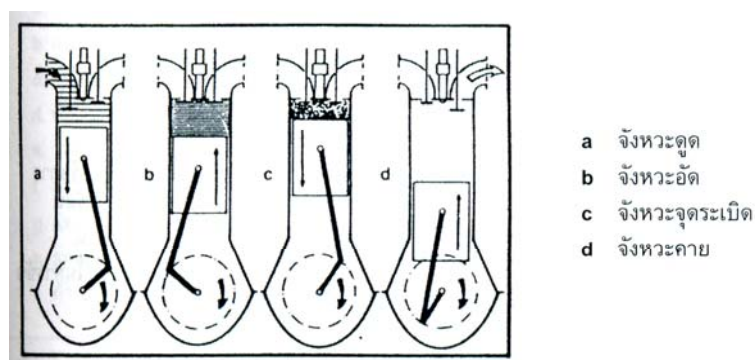


ภาพที่ 2-3 ไตอะแกรมแสดงการผลิตน้ำมันหล่อลื่น [4]

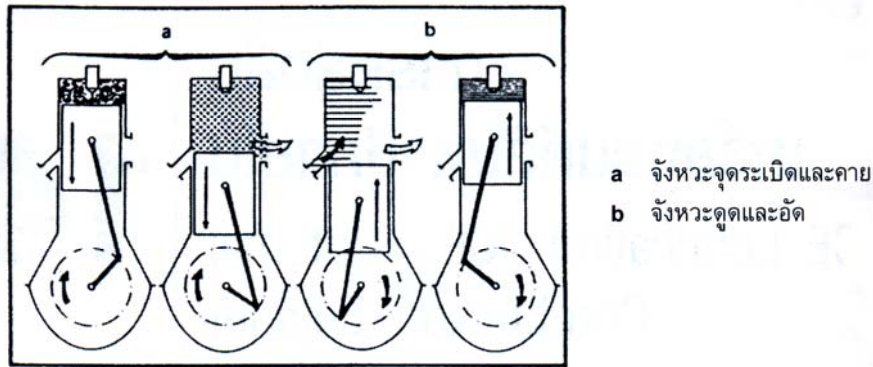
2.3 การหล่อลื่นเครื่องยนต์สันดาปภายใน

2.3.1 หลักการทั่วไป

พลังงานความร้อนสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานทางกล [6, 7] เช่น ทำให้ลูกสูบมีการเคลื่อนที่ไป-มา หรือทำให้เกิดการหมุนของลูกสูบโรตารี เทอร์โบน์ มอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งพลังงานต้นกำลังได้แก่ เชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นหลัก ระบบที่ใช้ในการเผาไหม้ฟอสซิลเพื่อให้เกิดพลังงานทางกล จึงถูกเรียกกันว่าเครื่องยนต์สันดาปภายใน หลักการของเครื่องยนต์สันดาปภายในแบ่ง ออกเป็นแบบชนิดสี่จังหวะ และสองจังหวะ ดังแสดงในภาพที่ 2-4 และ 2-5



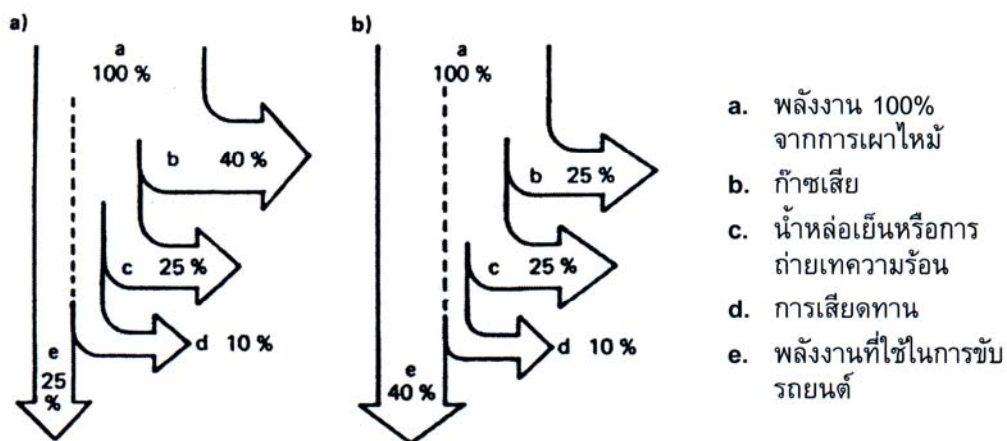
ภาพที่ 2-4 วงรอบการทำงานของเครื่องยนต์สี่จังหวะ [7]



ภาพที่ 2-5 วงรอบการทำงานของเครื่องยนต์สองจังหวะ [7]

นอกจากนี้ เครื่องยนต์สันดาปภายในยังสามารถแบ่งเป็นระบบที่ใช้การจุดระเบิดด้วยหัวเทียน ในเครื่องยนต์เบนซิน และระบบที่มีการจุดระเบิดตัวเองสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยเครื่องยนต์ทั้งสองชนิดมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น เครื่องยนต์เบนซินมักจะใช้งานที่ความเร็วรอบสูงๆ แต่เครื่องยนต์ดีเซลจะใช้งานที่ภาระสูงๆ

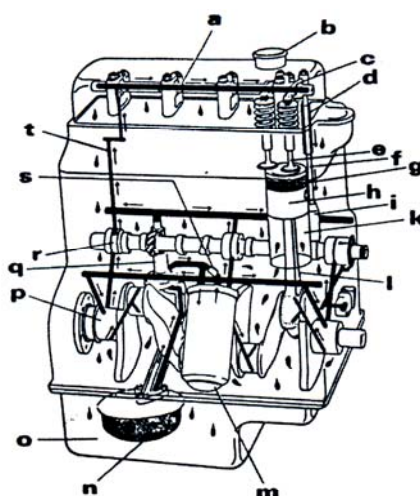
ในแง่ของพลังงานที่ใช้ในเครื่องยนต์ทั้งสองประเภท แสดงได้ดังภาพที่ 2-6 เปรียบเทียบให้เห็นว่า เครื่องยนต์ดีเซลให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าเครื่องยนต์เบนซิน



ภาพที่ 2-6 การกระจายค่าพลังงานของเครื่องยนต์เบนซิน (a) เครื่องยนต์ดีเซล (b) [7]

2.3.2 หน้าที่ และการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น

เครื่องยนต์มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่มากมาย และต้องการน้ำมันหล่อลื่นเพื่อเข้าไปลดแรงเสียดทาน และการสึกหรอ [7-10] ดังภาพที่ 2-7 หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่นแสดงในตารางที่ 2-1



- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ๑. ทางเดินน้ำมันไปยังกระต่องกวดาล์ว ๒. ฝาเติมน้ำมัน ๓. กระต่องกวดาล์ว ๔. ท่อน้ำมัน ๕. วาล์ว ๖. กันวาล์ว ๗. แหวนลูกสูบ ๘. ลูกสูบ ๙. กันดันวาล์ว | <ul style="list-style-type: none"> ๑๐. กระบอกสูบ ๑๑. เฟลาข้อเหวี่ยง ๑๒. ใส่กรองน้ำมัน ๑๓. กรองหยาบ ๑๔. อ่างน้ำมัน ๑๕. แบริงเฟลาข้อเหวี่ยง ๑๖. แบริงเฟลาสูบเบียว ๑๗. วาล์วระบายน้ำมันแบบบายพาสท์ ๑๘. ท่อน้ำมันป้อนไปยังลูกเบียว |
|--|---|

ภาพที่ 2-7 จุดสำคัญๆ ในการหล่อลื่นภายในเครื่องยนต์ [7]

ตารางที่ 2-1 หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่น [7]

หน้าที่	การทำงาน และตำแหน่งที่ต้องการหล่อลื่น	คุณสมบัติ
1. ป้องกันการสึกหรอและส่งผลถ่ายกำลังผ่านฟิล์มน้ำมัน	จุดสัมผัส และความเสียดทานในฟิล์ม น้ำมันแบบหล่อลื่นเติมฟิล์ม	ความหนืดสูงแม้มีอุณหภูมิสูง
2. ป้องกันการสึกหรอและส่งผลถ่ายกำลังผ่านฟิล์มที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำมัน กับโลหะ	จุดสัมผัสที่มีการหล่อลื่นแบบกึ่งสมบูรณ์	การเกิดขึ้นของฟิล์มป้องกัน การสึกหรอจากสารเพิ่มคุณภาพ
3. ทำให้สารตกค้างจากการเผาไหม้ไม่ทำลายระบบ	ทำให้สารต่างๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้ และเศษโลหะให้แขวนลอยอยู่ในน้ำมัน ทำให้ค่าความเป็นกรดที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้กลายเป็นค่าสะเทิน	การกระจายเขม่า และ ชะล้างสิ่งสกปรก มีคุณสมบัติทำให้น้ำมันหล่อลื่น มีสภาพเป็นกลาง
4. ป้องกันการกัดกร่อน	ปกป้องการกัดกร่อนทั้งในระหว่างการใช้งาน และหยุดใช้งาน	มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับผิวโลหะ

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

หน้าที่	การทำงาน และตำแหน่งที่ต้องการหล่อลื่น	คุณสมบัติ
5. ซีล	กระบอกสูบ และแหวนลูกสูบ ก้านวาล์ว และปลอกก้านวาล์ว	ความหนืดเหมาะสม และระเหยตัวน้อย
6. หล่อเย็น	จุดสัมผัสทุกจุดระบายความร้อน จากการเผาไหม้	นำความร้อนได้ดีและมีความหนืดต่ำ

จากตารางที่ 2-1 ทำให้ทราบว่าน้ำมันหล่อลื่น ต้องมีคุณลักษณะที่ซับซ้อน ดังนี้

2.3.2.1 มีความสามารถในการไหลได้ดี ทั้งที่อุณหภูมิสูงและต่ำ และภายใต้เงื่อนไขของการถูกตัดเฉือนด้วย

2.3.2.2 สามารถทำให้ของแข็งเช่น เขม่า เศษโลหะ สิ่งสกปรก แหวนลอยอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นได้ดี

2.3.2.3 ไม่มีผลต่อผิวโลหะที่เป็นวัสดุในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

2.3.2.4 สามารถทำให้กรดที่เกิดขึ้นในระบบกลายเป็นกลางทางเคมี ต้องทำหน้าที่ซีลและหล่อเย็นระบบได้ดี

คุณสมบัติเหล่านี้ไม่สามารถมีได้ทั้งหมดในน้ำมันฐาน ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มคุณภาพในปริมาณมากๆ น้ำมันหล่อลื่นบางชนิดมีสารเพิ่มคุณภาพมากถึง 40%

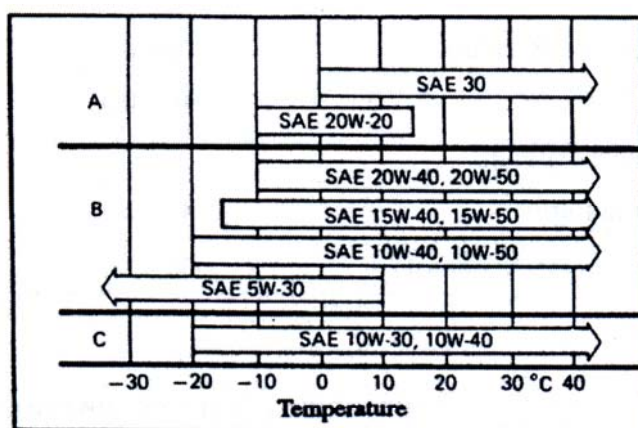
2.3.3 คุณสมบัติของการไหลตัวของน้ำมันหล่อลื่น ภายใต้สภาวะการใช้งาน

น้ำมันหล่อลื่นต้องสามารถคงความหนืดไว้ เพื่อใช้ในการหล่อลื่นจุดที่มีการเคลื่อนที่ และในบางจุดที่มีอุณหภูมิสูงมาก นอกจากนั้นยังต้องทำหน้าที่เป็นซีลให้กับจุดต่างๆ ที่มีช่องว่างแคบๆ เช่น ระยะระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบ เพื่อป้องกันการสูญเสียกำลังอัด ยิ่งไปกว่านั้นจะมีความหนืดมากเกินไปก็ได้ เนื่องจากจะเสี่ยงต่อการแข็งตัวของน้ำมันหล่อลื่นที่อุณหภูมิต่ำๆ ซึ่งมีผลอย่างยิ่งยวดในการติดสตาร์ทเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำ ตารางที่ 2-2 แสดงระดับอุณหภูมิที่ต่างกันในทุกจุดต่างๆ ของเครื่องยนต์

ตารางที่ 2-2 อุณหภูมิใช้งานในเครื่องยนต์ [7]

ชิ้นส่วน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
อ่างเพลลาข้อเหวี่ยง	
อ่างน้ำมันหล่อลื่น	80 – 160
แบร้งเพลลาข้อเหวี่ยง	100 – 170
แบร้งก้านสูบ	110 – 180
ลูกสูบและกระบอกสูบ	
บูชในลูกสูบ	140 – 220
แหวนลูกสูบและกระบอกสูบ	180 – 300

จากตารางที่ 2-2 จะเห็นได้ว่า น้ำมันหล่อลื่นที่ดีจึงควรที่จะสามารถคงตัวอยู่ได้ในอุณหภูมิ 80-300 องศาเซลเซียส และเพื่อเป็นการควบคุมน้ำมันหล่อลื่นให้เหมาะสมกับในช่วงอุณหภูมิการใช้งานที่ต่างกัน ระบบความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะใช้มาตรฐานของ Society of Automotive Engineers หรือ SAE ในการระบุระดับความหนืด ดังแสดงในภาพที่ 2-8



- A น้ำมันเกรดเดียว
B น้ำมันเกรดรวม
C น้ำมันกลุ่มประหยัดพลังงาน

ภาพที่ 2-8 ระดับค่าความหนืดในระบบ SAE และช่วงอุณหภูมิของอากาศขณะใช้งาน [7]

โดยปกติความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ต่ำที่สุดเพื่อป้องกันการสึกหรอได้คือ ต้องมากกว่า $5 \text{ mm}^2/\text{s}$ (cSt) และที่อุณหภูมิต่ำๆ ควรมีความหนืดไม่สูงเกินไปกว่า $3500 \text{ mm}^2/\text{s}$ (cSt) [7]

2.3.4 ความสามารถในการแขวนลอยของของแข็งในน้ำมันหล่อลื่น

ความสามารถในการทำให้ของแข็งเช่น เชม่า ผุ่น เศษโลหะ เป็นต้น แขนวลอยอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นบางครั้งเรียกคุณสมบัตินี้ว่าสารกระจายเชม่า และสารช่วยในการชะล้าง (Dispersant & Detergent หรือ D&D) โดยสารช่วยในการชะล้าง หมายถึง สารเพิ่มคุณภาพที่ประกอบไปด้วยธาตุในกลุ่มโลหะผสมกับสารเพิ่มคุณภาพที่ทำให้เกิดเถ้า (Ash forming) ซึ่งมีลักษณะของโมเลกุล ในรูปแบบขั้ว ซึ่งจะปกป้องการจับตัวของสารต่างๆ เข้ากับผิวที่ร้อนในเครื่องยนต์

สารกระจายเชม่าจะเป็นกลุ่มที่ปราศจากธาตุที่เป็นโลหะและมีสารเพิ่มคุณภาพกลุ่มที่ไม่ทำให้เกิดเศษฝุ่นและมีค่าความเป็นขั้วโมเลกุลต่ำ ซึ่งมีผลทำให้สิ่งสกปรกโดยเฉพาะเชม่าจะอยู่ในรูปแบบของผงขนาดเล็กบางที่เรียกว่า "Cold Sediment" การเกิดคราบแล็กเกอร์หรือลักษณะผงถ่านจับติดผิวโลหะร้อน มักเกิดจากการที่มีความร้อนสูงเกินไป ทั้งในกรณีที่มีหรือไม่มีออกซิเจนเข้าไปเกี่ยวข้อง ในกรณีแบบนี้ในร่องแหวนและบริเวณแหวนลูกสูบของเครื่องยนต์ดีเซลมีโอกาสเกิดสภาวะแบบนี้ได้อย่างดี

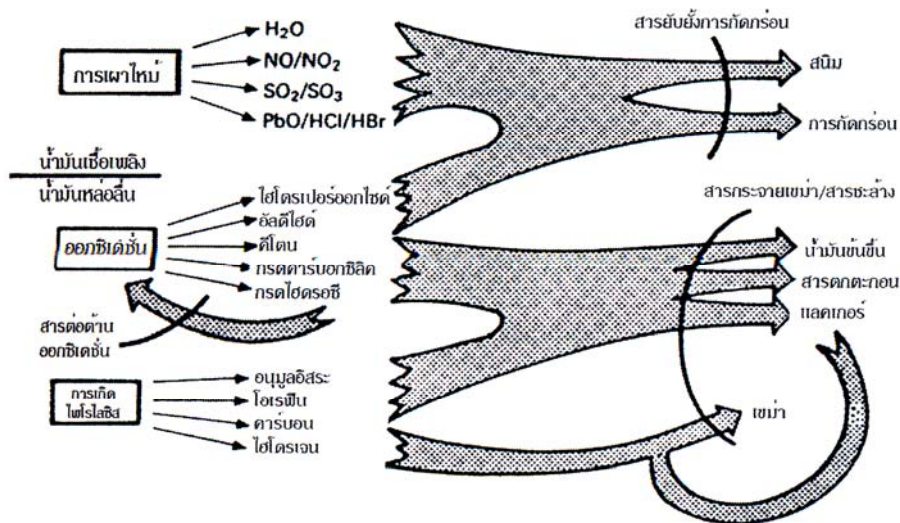
2.3.5 หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่นในการทำปฏิกิริยากับผิวโลหะ

หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่นในการทำปฏิกิริยากับผิวโลหะ มี 2 ประการได้แก่ ประการแรกคือ ลดการสึกหรอในระหว่างการส่งถ่ายกำลังในขณะที่เคลื่อนที่ และประการที่สองคือปกป้องผิวโลหะ และลดการกัดกร่อนในขณะที่ใช้งานและหยุดเครื่องยนต์

การลดการสึกหรอ นับเป็นงานที่ยากยิ่งสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในเพราะมีน้ำมันเพียงชนิดเดียว แต่ต้องปกป้องการสึกหรอในชิ้นส่วนหลากหลายชนิดทั้งวัสดุ ลักษณะการเคลื่อนที่ อุณหภูมิ เป็นต้น

ฟิล์มน้ำมันระหว่างแวนลูกลูบ และกระบอกสูบจะถูกลดค่าความหนาลงในจังหวะการอัด และการจุดระเบิด ซึ่งจะมีผลทำให้ลักษณะของแวนลูกลูบ และช่องว่างของฟิล์มน้ำมันจะลดลง และมีผลทำให้เกิดลิ้น้ำมัน แรงดันสูงเกิดขึ้นในบริเวณของศูนย์ตายบน และศูนย์ตายล่าง จะมีผลให้เกิดขอบเขตการหล่อลื่นแบบกึ่งสมบูรณ์ ซึ่งมีผลทำให้มีการสึกหรอเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ระหว่างการทำงานของเครื่องยนต์ กระบวนการเผาไหม้ซึ่งถือว่าเป็นปฏิกิริยาเคมี อย่างหนึ่งสามารถทำให้เกิดสารเคมีต่างๆ ที่มีผลต่อการกัดกร่อนต่อชิ้นส่วนโลหะ ดังแสดงใน ภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 ปฏิกิริยาเคมี และสารเคมีที่เกิดจากการเผาไหม้ [7]

ลักษณะการกัดกร่อนของสภาวะต่างๆ แบ่งได้เป็น 3 กรณีคือ

กรณีที่ 1 การกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูง

สารที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ เป็นอินทรีย์สารที่มีสภาพเป็นกรดที่ไม่ละลายตัว เข้ากับน้ำมัน สารเหล่านี้จะเจือปนในอุณหภูมิต่ำ แต่จะมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะทำปฏิกิริยาทั้งกับเหล็ก และชิ้นส่วนต่างๆ ที่ไม่ใช่เหล็ก

กรณีที่ 2 การกักต้อนที่อุณหภูมิต่ำ

การกักต้อนที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ (Dew Point) ก๊าซที่เป็นกรดจากการเผาไหม้ จะแปลงสภาพเป็นกรดอ่อนและกรดแก่รวมตัวอยู่ในน้ำมันที่มีความไวทางเคมีสูง ทำให้เหล็กเป็นสนิม

กรณีที่ 3 การกักต้อนที่เกิดจากการหยุดใช้งานเครื่องจักร

เครื่องยนต์ที่ไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานานๆ อาจเกิดสนิมเหล็กขึ้นได้ เนื่องมาจากความชื้นในบรรยากาศ ในกรณีที่ไม่ได้ใช้เครื่องยนต์เป็นเวลานานๆ อย่างไรก็ตามคุณสมบัติการป้องกันการกักต้อนของสารเพิ่มคุณภาพกลุ่มนี้ในน้ำมันหล่อลื่นไม่สามารถปกป้องเครื่องยนต์ได้

2.3.6 การสะท้อน การซีล และการระบายความร้อน

โดยปกติในขณะที่มีการเคลื่อนไหวย่างรุนแรงในห้องเครื่องยนต์ น้ำมันอุณหภูมิสูงถึง 160 °C จะสัมผัสกับก๊าซรั่ว (Blow-by Gas) ที่มาจากห้องเผาไหม้ ซึ่งทำให้เกิดอนุมูลอิสระที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาสูงและมีปัญหาการกักต้อน ดังแสดงในตารางที่ 2-3 ซึ่งเป็นตัวอย่างของส่วนประกอบของก๊าซรั่วที่ใช้น้ำมันแบบมีสารตะกั่ว แต่อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันน้ำมันแบบมีสารตะกั่วนี้ไม่มีการใช้งานในประเทศไทยแล้ว ดังนั้นในตารางที่ 2-3 จึงแสดงให้เห็นเพื่อเป็นแนวทางการศึกษาเท่านั้น

ตารางที่ 2-3 ส่วนประกอบของก๊าซรั่วที่ใช้น้ำมันแบบมีสารตะกั่ว [7]

ก๊าซรั่ว (Blow-by gas)	ส่วนประกอบของก๊าซโดยปริมาตร (%)	ส่วนประกอบของของเหลวโดยมวล (%)
ไนโตรเจน	77.2	-
ออกซิเจน	19.40	-
คาร์บอนมอนอกไซด์	1.10	-
คาร์บอนไดออกไซด์	0.60	-
ไฮโดรเจน	0.60	-
ซัลเฟอร์ไดรอกไซด์	0.36	-
ไนตรัสออกไซด์	0.29	-
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.21	-
ไฮโดรคาร์บอน	0.21	-
ฮาโลเจน	0.02	-
	100.00	-
น้ำมัน	-	67.0
เชื้อเพลิง	-	5.6
เพนเทนที่ไม่ละลาย	-	3.1
น้ำ	-	0.3
ผลิตภัณฑ์จากการออกซิเดชัน		100.0

ช่องว่างระหว่างแหวนลูกสูบ และกระบอกสูบ จะมีก๊าซรั่วเป็นจำนวนมาก และหากมีฟิล์มน้ำมันที่เป็นซิลิโคนไม่ได้คุณภาพ จะทำให้รั่วไหลไป มีผลทางด้านสมรรถนะกำลังอัดลดต่ำลง และกระบอกสูบมีความร้อนสูงเกินไป และหากการซีลของฟิล์มน้ำมันในระหว่างปลอกวาล์วกับก้านวาล์วไม่ดีหรือไม่เพียงพอ จะมีผลทำให้อัตราส่วนผสมอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงไม่เหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นการเข้ามาของอากาศในส่วนของวาล์วไอดี หรือการรั่วของก๊าซไอเสีย ในส่วนของวาล์วไอเสีย

2.4 เกรดน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะมาจากการนำเอาน้ำมันฐาน (Base Oil) มาผสมกับสารเพิ่มคุณภาพ (Additive) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับสภาวะการใช้งาน สามารถให้การหล่อลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และต้องมีการผ่านการทดสอบคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นจากสถาบันที่มีชื่อเสียงที่ทุกคนยอมรับ เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพและให้ผู้ใช้น้ำมันหล่อลื่นได้รับประโยชน์จากน้ำมันหล่อลื่นสูงสุด [7-14]

2.4.1 การแยกประเภทน้ำมันหล่อลื่น

การแยกประเภทน้ำมันหล่อลื่นโดยทั่วไป มีอยู่ 2 ประเภทคือ

1. แยกตามความหนืด
2. แยกตามสภาพการใช้งาน

2.4.2 มาตรฐานการแยกน้ำมันหล่อลื่นตามความหนืด

สมาคมวิศวกรยานยนต์ (Society of Automotive Engineer หรือ SAE) ได้ตั้งมาตรฐานการวัดความหนืดน้ำมันหล่อลื่นไว้ ดังตารางที่ 2-4 (SAE J 300 ล่าสุดเมื่อกันยายน 1980) [4, 7]

ตารางที่ 2-4 มาตรฐาน SAE J 300 [4]

เบอร์ SAE	ความหนืดสูงสุดที่อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ความหนืด (cSt) ที่ 100°C	
		ต่ำสุด	สูงสุด
0W	3250 ที่ -30	3.8	-
5W	3500 ที่ -25	3.8	-
10W	3500 ที่ -20	4.1	-
15W	3500 ที่ -15	5.6	-
20W	4500 ที่ -10	5.6	-
25W	6000 ที่ -5	9.3	-
	ความหนืด SUS ที่ 210°F		
20	45 – 58	5.6	ต่ำกว่า 9.3
30	58 – 70	9.3	ต่ำกว่า 12.5
40	70 – 85	12.5	ต่ำกว่า 16.3
50	85 – 110	16.3	ต่ำกว่า 21.9

จากตารางที่ 2-4 จะเห็นได้ว่า น้ำมันหล่อลื่นที่ระบุเบอร์ SAE ตามด้วยอักษร W เป็นน้ำมันที่ใช้ที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมต่ำ หรือฤดูหนาว สำหรับเบอร์ SAE ที่ไม่มีอักษร W เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในอุณหภูมิสภาพปกติ เช่น น้ำมันหล่อลื่นเกรดเดียว เบอร์ SAE 20W คือ ที่อุณหภูมิต่ำ จะมีความหนืดเท่ากับเบอร์ 20 และน้ำมันหล่อลื่นเบอร์ SAE 50 คือที่อุณหภูมิสูง จะมีความหนืดเท่ากับเบอร์ 50 แต่โดยทั่วไป น้ำมันหล่อลื่นในท้องตลาดนิยมผลิตออกมาเป็นแบบเกรดรวมเพื่อที่จะให้ผู้ใช้ใช้น้ำมันหล่อลื่นสามารถใช้กับรถได้ทุกฤดูกาล เช่น SAE 20W 50 หมายความว่าน้ำมันชนิดนี้ จะมีความหนืดเท่ากับเบอร์ 20 ที่อุณหภูมิต่ำ และมีความหนืดเท่ากับเบอร์ 50 ที่อุณหภูมิสูง

2.4.3 มาตรฐานการแยกประเภทน้ำมันหล่อลื่นตามสภาพการใช้งาน

ในเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 1970 American Petroleum Institute (API) ได้เริ่มกำหนดมาตรฐานแบบใหม่ขึ้นมา เพื่อแบ่งแยกน้ำมันตามสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ โดยร่วมมือกับ Society of Automotive Engineer (SAE) และ American Society for Testing and Materials (ASTM) ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับวิวัฒนาการของเครื่องยนต์สมัยใหม่ API ได้จัดคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น สำหรับน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์เบนซินดังนี้ ดังแสดงในตารางที่ 2-5 คือ

SA - น้ำมันหล่อลื่นเดิมที่ยังไม่ได้ใส่สารเพิ่มคุณภาพ เหมาะสำหรับสภาพงานเบาของเครื่องยนต์เบนซิน และดีเซล น้ำมันสำหรับสภาพงานนี้ไม่มีสารเพิ่มคุณภาพ จึงไม่ควรจะใช้กับเครื่องยนต์ใดๆ สมัยนี้

SB - น้ำมันหล่อลื่นที่เติมสารเพิ่มคุณภาพบางตัวเพียงเล็กน้อย เหมาะสำหรับสภาพงานเบาของเครื่องยนต์เบนซินน้ำมัน เพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนและการกัดกร่อน อีกทั้งยังช่วยลดการสึกหรอของโลหะ แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันหล่อลื่นมาตรฐานนี้ไม่ควรใช้กับเครื่องยนต์สมัยใหม่

SC - น้ำมันหล่อลื่นที่เติมสารเพิ่มคุณภาพบางตัวเพียงเล็กน้อยสำหรับสภาพงานเครื่องยนต์เบนซิน รถยนต์นั่ง และรถบรรทุกอเมริกัน รุ่นปี 1964 - 1967 น้ำมันสำหรับสภาพงานเช่นนี้มีสารเคมีเพิ่มคุณภาพด้านทานการรวมตัวของเขม่าตะกอนทั้งที่อุณหภูมิสูงและต่ำ ป้องกันการสึกหรอ สนิม และการกัดกร่อน

SD - น้ำมันหล่อลื่นสำหรับสภาพงานเครื่องยนต์เบนซิน รถยนต์นั่งอเมริกัน และรถบรรทุกเล็ก รุ่น 1968 - 1970 และรุ่น 1971 บางแบบ น้ำมันสำหรับสภาพงานเช่นนี้มีสารเคมีเพิ่มคุณภาพมากกว่า SC เพื่อต้านทานการรวมตัวของเขม่าหรือตะกอนทั้งที่อุณหภูมิสูงและต่ำ ป้องกันการสึกหรอ สนิม หรือการกัดกร่อน เหมาะกับเครื่องยนต์ที่ผู้ผลิตแนะนำให้ใช้น้ำมันมาตรฐาน SC ด้วย

SE - น้ำมันหล่อลื่นสำหรับสภาพงานเครื่องยนต์เบนซิน รถยนต์นั่งอเมริกา และรถบรรทุกเล็กตั้งแต่รุ่นปี 1972 บางแบบ น้ำมันสำหรับสภาพงานเช่นนี้มีสารเคมีเพิ่มคุณภาพมากกว่า SD และ SC เพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจน ด้านทานการรวมตัวของเขม่า

ตะกอน ป้องกันสนิม และการกัดกร่อน เหมาะกับเครื่องยนต์ที่ผู้ผลิตแนะนำให้ใช้น้ำมันมาตรฐาน SD และ SC ด้วย

SF – น้ำมันหล่อลื่นสำหรับสภาพงานเครื่องยนต์เบนซิน รถยนต์นั่งอเมริกัน และรถบรรทุกบางชนิด ตั้งแต่รุ่นปี 1980 เป็นต้นไป น้ำมันสำหรับสภาพงานนี้มีสารเคมีเพิ่มคุณภาพสำหรับต้านทานการรวมตัวกับออกซิเจนและป้องกันการสึกหรอสูงกว่า SC นอกจากนั้นยังรักษาความสะอาด ป้องกันสนิม และการกัดกร่อนเหมาะกับเครื่องยนต์ที่ได้รับคำแนะนำให้ใช้น้ำมันมาตรฐาน SE, SD หรือ SC ด้วย

SG – น้ำมันหล่อลื่นสำหรับสภาพงานเครื่องยนต์เบนซินทั่วไป ประกาศใช้ตั้งแต่เดือนมีนาคม 1988 น้ำมันที่ได้มาตรฐานนี้ ต้องสามารถป้องกันการเกิดโคลนตมในอ่างน้ำมันหล่อลื่นสามารถควบคุมป้องกันการสึกหรอในเครื่องยนต์รุ่นใหม่ ๆ ได้ดี และยังสามารถควบคุมการรวมตัวกับออกซิเจนในส่วนของน้ำมันจนสามารถผ่านมาตรฐาน SF ได้ นอกจากนี้ SG ยังรวมการทดสอบของแคตเตอร์ฟิลลาร์ 1 H 2 ด้วย ดังนั้นน้ำมันมาตรฐาน SG จึงมีคุณสมบัติครบถ้วน ครอบคลุมทุกมาตรฐานของน้ำมันหล่อลื่นที่บริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์แนะนำ แสดงได้ดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 มาตรฐาน API ของน้ำมันหล่อลื่นยนต์เบนซิน [4]

มาตรฐาน การทดสอบ	SA	SB	SC	SD	SE	SF	SG
การกัดกร่อนที่แบริ่ง	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
การสึกหรอของเครื่องยนต์	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
การเกิดตะกอนตม	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
การเกิดคราบสกปรก	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
การเกิดสนิม	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
การสลายตัวเนื่องจากออกซิเจน	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
การเกิดคราบเขม่าคาร์บอนที่ลูกสูบ	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
ปี พ.ศ. (ค.ศ.) ที่ประกาศใช้	-	-	2507 (1964)	2511 (1968)	2515 (1972)	2523 (190)	2531 (1988)

หมายเหตุ ✓ สัญลักษณ์แทนผ่านการทดสอบ

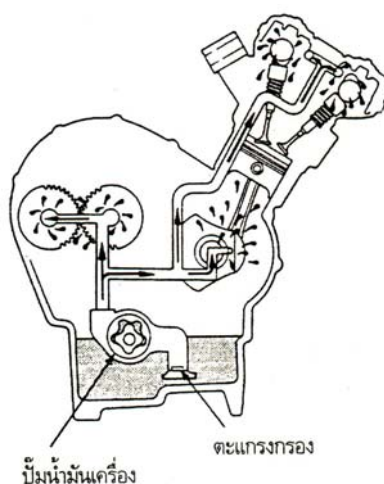
✗ สัญลักษณ์แทนไม่ผ่านการทดสอบ

2.5 ระบบหล่อลื่น

ระบบหล่อลื่นของเครื่องยนต์ [4, 7, 9-10, 13, 15-20] สำหรับรถจักรยานยนต์ไม่แตกต่างกับการหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทั่วไป ซึ่งต้องอาศัยน้ำมันหล่อลื่น (Lubricant) และจาระบี (Grease) เป็นเครื่องช่วยลดแรงเสียดสีและความฝืด จากการเคลื่อนไหวของส่วนต่างๆ เช่น แบริ่ง

ลูกสูบกับแหวนลูกสูบ ผนังกระบอกสูบ และเครื่องประกอบอื่น ๆ ต่างๆ ฯลฯ แต่เนื่องจากเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์ใช้การระบายความร้อนด้วยอากาศ คือไม่มีระบบน้ำหล่อเย็น เหมือนกับเครื่องยนต์รถยนต์ น้ำมันหล่อลื่นนอกจากจะทำหน้าที่ป้องกันการเสียดสีในส่วนที่มีการเคลื่อนไหวแล้ว ยังทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากเครื่องยนต์ด้วย

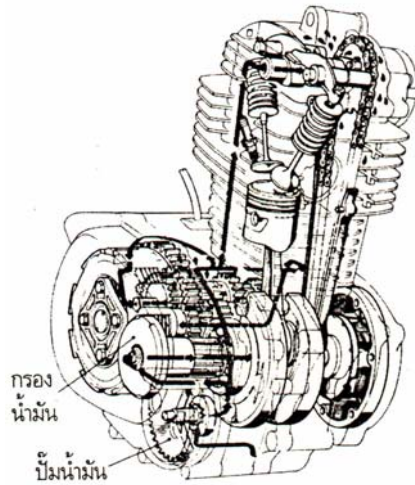
เช่นเดียวกับเครื่องยนต์สี่จังหวะทั่วไป ในระบบหล่อลื่นของรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ ต้องอาศัยปั้มน้ำมันหล่อลื่น (Oil Pump) เป็นตัวทำให้น้ำมันหล่อลื่นเกิดการหมุนเวียนขณะทำงาน โดยปั้มน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์สี่จังหวะ จะทำหน้าที่ปั้มน้ำมันหล่อลื่นไปหล่อลื่นชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ แล้วก็กลับมาอยู่ในห้องเกียร์ และห้องคลัตช์เหมือนเดิม เมื่อเครื่องยนต์ติดแล้ว ปั้มน้ำมันหล่อลื่นจะปั้มน้ำมันหล่อลื่นไปยังเรือนเครื่องยนต์ด้านขวา ฝาครอบเครื่องยนต์ด้านขวา สลักตั้งคลัตช์ ที่กรองน้ำมันหล่อลื่นแบบแรงเหวี่ยง เฟลาข้อเหวี่ยง เรือนเครื่องยนต์ตามลำดับ ดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 ลักษณะการทำงานของปั้มน้ำมันหล่อลื่น [12]

ระบบหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ

เครื่องยนต์สี่จังหวะสำหรับรถจักรยานยนต์และรถยนต์ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกัน แต่น้ำมันหล่อลื่นของรถจักรยานยนต์นอกจากจะหล่อลื่นเครื่องยนต์แล้ว ยังต้องหล่อลื่นชุดเกียร์และชุดคลัตช์อีกด้วย น้ำมันหล่อลื่นของรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ จึงต้องมีคุณสมบัติพิเศษกว่ารถยนต์ทั่วๆ ไปคือ จะต้องสามารถป้องกันการสึกหรอของชุดเกียร์ และชุดคลัตช์อีกด้วย ดังภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 ลักษณะการหล่อลื่นเครื่องยนต์ [12]

2.6 หน้าที่ยังของน้ำมันหล่อลื่น

2.6.1 น้ำมันหล่อลื่นมีหน้าที่การทำงานเพื่อให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพ ดังนี้

2.6.1.1 หน้าที่ในการหล่อลื่น

เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ เช่น ลูกสูบ แหวนลูกสูบ เพลา ลูกเบี้ยว เพลาข้อเหวี่ยง และโซ่รอกจะเคลื่อนไหว ทำให้ผิวหน้าของโลหะที่สัมผัสกันเกิดการเสียดสี ทำให้เกิดแรงเสียดทานและความร้อน ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นจะเข้าไปหล่อลื่นชิ้นส่วนต่างๆ ที่เคลื่อนไหวเหล่านี้ เพื่อลดแรงเสียดทานและความร้อน เพื่อให้ชิ้นส่วนต่างๆ เหล่านี้สึกหรอน้อยและมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

คุณภาพการหล่อลื่นของน้ำมันหล่อลื่น ขึ้นอยู่กับความหนืดของน้ำมันเป็นสิ่งแรก เยื่อบางๆ ของน้ำมันหล่อลื่นจะเคลือบผิวของโลหะไม่ให้เกิดการเสียดสีกันโดยตรง เป็นสาเหตุของการสึกหรอ ความหนาของเยื่อน้ำมันขึ้นอยู่กับความหนืด ถ้าความหนืดของน้ำมันสูง เยื่อน้ำมันจะหนามาก ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติในการรักษาความหนาของเยื่อน้ำมันให้เกือบคงที่ได้อยู่ได้ในทุกๆ อุณหภูมิ คือไม่บางเกินไป (ใสมาก) เมื่ออุณหภูมิสูง และไม่หนาเกินไป (ข้นมาก) ที่อุณหภูมิต่ำ น้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ เรียกว่า มีดัชนีความหนืดสูง

ก่อนติดเครื่องยนต์ น้ำมันหล่อลื่นจะอยู่ในส่วนล่างของอ่างน้ำมันหล่อลื่นจะมีอุณหภูมิต่ำ และข้น เมื่อเครื่องยนต์ทำงานจะมีน้ำมันไปหล่อเลี้ยงส่วนที่เคลื่อนไหวทันที ถ้า น้ำมันหล่อลื่นข้นมาก การปั๊มส่งน้ำมันก็จะล่าช้า อาจทำให้เกิดการสึกหรอได้ และเมื่อเครื่องยนต์ร้อน น้ำมันหล่อลื่นจะใสลง และยิ่งตอนที่จราจรติดขัด อุณหภูมิจะสูงขึ้นมาก ทำให้เยื่อน้ำมันบาง ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์อาจจะเสียดสีกันโดยตรง ทำให้เกิดการสึกหรอได้ เพราะฉะนั้น น้ำมันหล่อลื่นที่ดี ต้องมีความหนืดสูง

2.6.1.2 หน้าที่ในการช่วยระบายความร้อน

เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน อุณหภูมิเครื่องยนต์จะสูงขึ้น น้ำหรืออากาศไม่สามารถจะระบายความร้อนได้อย่างเพียงพอ น้ำมันหล่อลื่นก็จะช่วยทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับเครื่องยนต์ เป็นการลดอุณหภูมิของเครื่องยนต์ลง ไม่ให้ร้อนจัดจนเกินไป

น้ำมันหล่อลื่นจะถูกส่งไปหล่อลื่นตามจุดต่างๆ เช่น แบริ่ง แหวน ลูกสูบ เพลา และกระเดื่องปิดเปิดลิ้น ฯลฯ ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกถ่ายเทออกจากเครื่องยนต์ โดยอาศัยน้ำมันหล่อลื่นเป็นตัวช่วยส่วนหนึ่ง จากการทดสอบพบว่า ประมาณ 30-35 % ของความร้อน ถูกระบายออกโดยอาศัยน้ำมันหล่อลื่นเป็นตัวถ่ายเท จึงทำให้อุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นค่อนข้างสูงขึ้น ส่งผลให้การผสมกันระหว่างน้ำมันกับออกซิเจนในอากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วยเหตุนี้เอง น้ำมันหล่อลื่นที่ดี จึงต้องมีสารเคมีเพิ่มคุณภาพในการป้องกันการรวมตัวของออกซิเจน เพื่อยืดอายุเครื่องยนต์ให้ยาวนานขึ้น

2.6.1.3 หน้าที่ในการป้องกันการกัดกร่อน และสนิม

เมื่อเราต้องจอดรถทิ้งไว้เป็นเวลานานๆ ความชื้นและน้ำเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เครื่องยนต์ที่เป็นเหล็กเกิดสนิม และเกิดการกัดกร่อนของโลหะ จนโลหะนั้นเป็นตามด น้ำมันหล่อลื่นจะช่วยป้องกันสนิม และการกัดกร่อนได้

เมื่อเริ่มติดเครื่องยนต์ใหม่ๆ ในขณะที่เครื่องยนต์และน้ำมันหล่อลื่นยังเย็นอยู่ การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจะยังไม่สมบูรณ์ดี จะมีแก๊สและไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ รั่วผ่านแหวนลูกสูบลงไปอยู่ข้างล่างของเครื่องยนต์มากกว่าปกติ แก๊สที่รั่วผ่านเหล่านี้ จะรวมตัวกันเป็นไอน้ำ กลายเป็นกรดสามารถจะกัดกร่อนชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ และทำให้เกิดสนิมได้ สารเคมีจะช่วยป้องกันไม่ให้เหล็กเป็นสนิม และต้านทานสารกัดกร่อนที่เป็นอันตรายเหล่านี้ ทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์เบนซินยืนนานขึ้น

2.6.1.4 หน้าที่ในการป้องกันการรั่วไหลของกำลังอัด และการรั่วซึมของแก๊ส

ฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นตามผนังกระบอกสูบ และร่องแหวน จะทำหน้าที่เป็นซีลช่องว่างระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบ ทำให้กำลังอัดไม่สามารถรั่วไหลได้ จึงทำให้เครื่องยนต์มีกำลังอัดสูง การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ก็จะสมบูรณ์

ความหนืดของน้ำมัน มีความสำคัญในการป้องกันการรั่วซึมของแก๊สผ่านแหวนลูกสูบได้ โดยทำหน้าที่เป็นเยื่ออุดช่องว่างระหว่างแหวนลูกสูบกับกระบอกสูบ น้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติในการเคลือบ และจับกับผิวโลหะ เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการรั่วซึมของแก๊ส

2.6.1.5 หน้าที่ในการช่วยรักษาความสะอาดของเครื่องยนต์

เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน จะเกิดสิ่งสกปรกต่างๆ ขึ้นในเครื่องยนต์ เช่น คราบตะกอนและเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ น้ำมันหล่อลื่นก็จะเป็นตัวชะล้างสิ่งสกปรกต่างๆ เหล่านี้ให้รวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่น เพราะฉะนั้น เมื่อใช้รถไปเป็นระยะทางที่โรงงานกำหนด ก็จะต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใหม่

โดยทั่วไปเครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้ภายใน จะมีเขม่าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง บางส่วนก็ร่วผ่านแหวนลูกสูบ และผนังห้องลูกสูบขึ้นไปอยู่ในฝาครอบวาล์ว ตลอดจนส่วนอื่นๆ ภายในเครื่องยนต์ น้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องสามารถชะล้างขจัดคราบสกปรกดังกล่าวออกจากผิวโลหะได้ นอกจากนี้แล้ว ยังต้องมีคุณสมบัติในการกระจายเขม่า และสิ่งสกปรกไม่ให้รวมตัวกันเป็นก้อน สิ่งสกปรกเหล่านี้ จะต้องลอยตัววนเวียนอยู่ในน้ำมันโดยไม่ตกตะกอน และจะถูกถ่ายออกจากเครื่องยนต์ เมื่อมีการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น เป็นที่สังเกตได้ว่า น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจะมีสีดำ ซึ่งแสดงว่าน้ำมันได้ทำหน้าที่ชะล้างสิ่งสกปรกอย่างสมบูรณ์แล้ว

2.6.2 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ดีสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ

2.6.2.1 ค่าดัชนีความหนืดสูง [21-22]

คือเมื่ออุณหภูมิตัวน้ำมันหล่อลื่นก็จะไม่ข้นเกินไป และเมื่ออุณหภูมิสูงน้ำมันหล่อลื่นก็จะไม่ใสมาก ทำให้มีประสิทธิภาพในการหล่อลื่นสูง เครื่องยนต์มีการสึกหรอลดลง และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

2.6.2.2 คุณสมบัติในการชะล้าง [21-22]

เมื่อเครื่องยนต์ทำงานไปได้ระยะหนึ่งก็จะเกิดคราบเขม่า ยางเหนียว ถ้า สิ่งสกปรกต่างๆ ติดอยู่ตามชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ น้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องสามารถชะล้าง สิ่งสกปรกต่างๆ เหล่านี้ออกไปกับน้ำมันหล่อลื่นได้ ทำให้ชิ้นส่วนต่างๆ สะอาดอยู่เสมอ ซึ่งจะเป็นการลดการสึกหรอ

2.6.2.3 คุณสมบัติในการกระจายสิ่งสกปรก [21-22]

เมื่อสิ่งสกปรกต่างๆ หลุดจากชิ้นส่วนของเครื่องยนต์มาที่อ่างน้ำมันหล่อลื่นแล้ว จะต้องกระจายออกไปไม่เกาะรวมตัวกันเป็นก้อน ซึ่งจะทำให้ไปอุดตันตามท่อทางเดินของน้ำมันหล่อลื่น

2.6.2.4 สารป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน [21-22]

เมื่อน้ำมันหล่อลื่นทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จะทำให้น้ำมันหล่อลื่นเกิดเป็นยางเหนียว ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะเพิ่มขึ้น เป็นผลเสียกับเครื่องยนต์ จึงต้องมีการเติมสารที่ทำให้ปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดขึ้นได้ช้า

2.6.2.5 สารป้องกันการเกิดฟอง [21-22]

เมื่อเครื่องยนต์ทำงานเกิดความร้อนขึ้น น้ำมันหล่อลื่นอาจเกิดฟองขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการหล่อลื่นลดลง และยังเป็นผลทำให้เกิดการสึกหรอแก่ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ และชุดเกียร์ชุดคลัตช์ได้

2.6.2.6 สารป้องกันการสึกหรอ [21-22]

จะมีการเติมสารแอนตี้แวร์ (Antiwear) ลงในน้ำมันหล่อลื่น เพื่อช่วยลดการสึกหรอที่เกิดขึ้น อันเนื่องมาจากการทำงานตามปกติ เพื่อให้เครื่องยนต์มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

2.6.2.7 ป้องกันสนิม [21-22]

เมื่อเราจอดรถทิ้งไว้นานๆ ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่ทำด้วยเหล็กก็จะเกิดสนิมขึ้นน้ำมันหล่อลื่นจะเป็นตัวเคลือบไม่ให้เกิดสนิมขึ้น

2.6.2.8 การระเหยต่ำ [21-22]

เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นมีจุดวาบไฟสูง จึงไม่เผาไหม้ได้ง่าย มีความทนต่อความร้อนได้สูง จึงไม่สิ้นเปลืองน้ำมันหล่อลื่น

2.7 สารเพิ่มคุณภาพ

สารเพิ่มคุณภาพที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันฐาน [4, 21, 23-25] โดยทั่วไปเป็นสารประกอบทางเคมี ซึ่งที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายตัว สารเพิ่มคุณภาพแต่ละตัว จะมีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันฐานเฉพาะอย่าง โดยพอที่จะแบ่งตามผลที่มีต่อน้ำมันฐานได้เป็น 3 จำพวกคือ พวกแรกจะเป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ให้คุณสมบัติใหม่ ที่เป็นประโยชน์ต่อน้ำมันฐาน พวกที่สองเป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ปรับปรุงคุณสมบัติที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้น และพวกสุดท้ายเป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ทำหน้าที่ในการลดการเปลี่ยนแปลง ที่ไม่ต้องการซึ่งเกิดในช่วงการทำงานลง

การที่จะเติมสารเพิ่มคุณภาพตัวใด และจำนวนเท่าใดลงไปน้ำมันฐานนั้น จะขึ้นอยู่กับลักษณะของการนำไปใช้งาน โดยจะต้องคำนึงถึงผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นด้วย เนื่องจากสารเพิ่มคุณภาพบางตัวแม้ว่าจะทำให้คุณสมบัติประการใดประการหนึ่งดีขึ้น แต่ก็อาจจะทำให้คุณสมบัติประการอื่นเสื่อมลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าใส่เข้าไปมากเกินไป หรือถ้าสารเพิ่มคุณภาพนั้นไปทำปฏิกิริยากับสารเพิ่มคุณภาพตัวอื่น ดังนั้นปริมาณสารเพิ่มคุณภาพแต่ละตัวจึงต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้ น้ำมันหล่อลื่นทำงานได้อย่างดีที่สุด และจะต้องมีการทดสอบให้แน่ใจว่า จะไม่มีผลข้างเคียงที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น ซึ่งในกรณีทั่วๆ ไป จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเติมสารเพิ่มคุณภาพเข้าไปอีก

น้ำมันฐานเมื่อเติมสารเพิ่มคุณภาพเข้าไปแล้ว ก็จะเรียกว่า น้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป สำหรับสารเพิ่มคุณภาพที่นิยมใช้กันมีดังต่อไปนี้ [24-27]

2.7.1 สารลดจุดไหลเท (Pour Point Depressants)

สารลดจุดไหลเทเป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดผลึกไข ที่ป้องกันไม่ให้ น้ำมันไหลที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นสารนี้จึงช่วยให้จุดไหลเทของน้ำมันหล่อลื่นต่ำลง ทำให้สามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำๆ ได้ สารที่ลดจุดไหลเท จะเป็นพวกโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งที่ใช้กันอยู่มี 2 ชนิดคือ อัลคิลอะโรเมติกโพลิเมอร์ (Alkylaromatic Polymers) ทำหน้าที่ในการดูดกลืนผลึกของไขเมื่อเกิดขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้ผลึกเติบโต และยึดติดกัน ชนิดที่สองคือ โพลิเมทาคริเลต (Polymethacrylates) ทำหน้าที่ตกผลึกร่วมกับไข เพื่อป้องกันไม่ให้ผลึกเติบโต สำหรับอุณหภูมิของจุดไหลเทของน้ำมันหล่อลื่น เมื่อเติมสารนี้เข้าไปแล้ว โดยทั่วไปจะลดลงประมาณ $11 - 17^{\circ}\text{C}$

2.7.2 สารเพิ่มค่าดัชนีความหนืด (Viscosity Index Improvers)

สารเพิ่มค่าดัชนีความหนืดเป็นสารเพิ่มคุณภาพ ที่ช่วยไม่ให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลงมาก เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง สารเพิ่มค่าดัชนีค่าหนืดจะเป็นพวก โพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีโครงสร้างเป็นลูกโซ่ยาว (Long Chain) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเพิ่มความหนืดสัมพัทธ์ของน้ำมันหล่อลื่นที่อุณหภูมิสูง มากกว่าการเพิ่มความหนืดสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะเป็นผลมาจากการที่โพลีเมอร์ดังกล่าว มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลจะยืดออก และมีปฏิริยากันระหว่างโมเลกุล ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น สำหรับสารที่นิยมใช้เป็นสารเพิ่มค่าดัชนีความหนืดมีหลายตัว เช่น เมทาคริเลตโพลีเมอร์ (Methacrylate Polymers), โอลีฟินโพลีเมอร์ (Olefin Polymers) และอะคริเลตโพลีเมอร์ (Acrylate Polymers) เป็นต้น

2.7.3 สารป้องกันการเกิดฟอง (Defoamants)

สารป้องกันการเกิดฟองใช้ป้องกันการเกิดฟองอากาศ ที่ผสมอยู่กับน้ำมันหล่อลื่น เมื่อน้ำมันหล่อลื่นถูกหมุนเวียนใช้ในระบบ สารนี้จะทำหน้าที่โดยโมเลกุลของสารจะเข้าไปติดกับฟองอากาศ ทำให้ฟองอากาศเล็กๆ รวมตัวกันเป็นฟองอากาศที่ใหญ่ขึ้น ลอยขึ้นผิว และแตกออกในที่สุด สำหรับสารที่นิยมใช้เป็นสารป้องกันการเกิดฟอง คือ ซิลิโคนโพลีเมอร์ (Silicone Polymer) และพวกโพลีเมอร์อินทรีย์ (Organic Polymer)

2.7.4 สารป้องกันออกซิเดชัน (Oxidation Inhibitors)

เมื่อน้ำมันหล่อลื่นร้อน และสัมผัสกับอากาศ ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันหล่อลื่น และออกซิเจนในอากาศ ที่เรียกว่าออกซิเดชันขึ้น ผลของการเกิดออกซิเดชัน จะทำให้ความหนืดและความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดวาร์นิช และตะกอน สารป้องกันออกซิเดชันก็คือ สังกะสีไดไทโอฟอสเฟต (Zinc Dithiophosphate)

2.7.5 สารป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Inhibitors)

การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในระบบหล่อลื่นโดยน้ำมันหล่อลื่นนั้น มีหลายชนิด แต่ที่สำคัญที่สุดมีสองชนิดคือ การกัดกร่อนซึ่งเกิดจากกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในตัวของตัวเอง และการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากสารปนเปื้อนที่ถูกนำ และพาไปโดยน้ำมัน สำหรับสารป้องกันการกัดกร่อนที่ใช้กันทั่วไป เป็นสารตัวเดียวกับสารป้องกันออกซิเดชัน ซึ่งก็คือสังกะสีไดไทโอฟอสเฟต แต่สารที่มีซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัสก็ถูกนำมาใช้ด้วย

2.7.6 สารป้องกันสนิม (Rust Inhibitors)

สารป้องกันสนิมใช้เพื่อป้องกันสนิมที่อาจเกิดขึ้นที่ผิวของชิ้นส่วนโลหะ ที่มีการหล่อลื่นด้วยน้ำมัน สารที่ใช้โดยทั่วไป จะเป็นสารประกอบที่มีการยึดติดกับผิวของโลหะได้ดี โดยสารป้องกันสนิมจะทำปฏิกิริยากับผิวโลหะ เกิดเป็นฟิล์มเกาะติดกับผิว เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้าถึงผิวโลหะ สารที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ อะไมนซัคซิเนต (Amine Succinates) และอัลคาไลเอิร์ทซัลโฟเนต (Alkaline Earth Sulfonates)

2.7.7 สารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรก (Detergents and dispersants)

สารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรกใช้เพื่อชะล้างสิ่งสกปรกออกจากผิวของชิ้นส่วน และกระจายมิให้รวมตัวกันเป็นโคลน หรือตะกอน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ได้แก่เครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์ดีเซล โคลนหรือตะกอนที่เกิดขึ้นจะอุดช่องทางน้ำมันหล่อลื่น และจะไปรวมกันอยู่ด้านหลังของแหวนลูกสูบ ซึ่งอาจทำให้แหวนติดตายได้ สารชะล้าง จะทำหน้าที่ในการป้องกันไม่ให้เกิดโคลนหรือตะกอน สารที่เป็นตัวชะล้างที่ใช้กันในปัจจุบันได้แก่ สบู่อินทรีย์ (Organic Soaps) และบาเรียม (Barium), แคลเซียม (Calcium) และแมกนีเซียมซัลโฟเนต (Magnesium Sulfonates) เป็นต้น ส่วนสารกระจายสิ่งสกปรก จะทำหน้าที่ในการกระจาย หรือทำให้สารที่จะรวมตัวกันเป็นโคลนแขวนลอยอยู่ในน้ำมัน สารที่เป็นตัวกระจายที่ใช้กันได้แก่ โพลีเมอร์อิมิด (Polymeric Succinimides) และ เบนซิลไมด์ (Benzylamides) เป็นต้น

2.7.8 สารป้องกันการสึกหรอ (Antiwear Additives)

เป็นสารที่ช่วยลดความเสียหาย และการสึกหรอ ภายใต้สภาวะการหล่อลื่นแบบเบาน์ดารี (Boundary Lubrication) ซึ่งก็คือ ในสภาวะที่ฟิล์มของน้ำมันที่จะแยกผิวสัมผัสได้อย่างสมบูรณ์ไม่สามารถคงอยู่ได้ สารป้องกันการสึกหรอที่ใช้กันแบ่งออกเป็นสองประเภทตามความต้องการของการใช้งาน ประการแรกเป็นสารที่ช่วยลดความเสียหาย และการสึกหรอสำหรับสภาวะการทำงานเบา สารนี้บางครั้งเรียกว่าสารเพิ่มคุณภาพ สำหรับการหล่อลื่นแบบเบาน์ดารี (Boundary Lubrication Additives) ได้แก่ กรดไขมัน (Fatty Acids) และน้ำมันไขมัน (Fatty Oils) ประเภทที่สองเป็นสารที่ช่วยลดความเสียหาย และการสึกหรอภายใต้สภาวะความดันสูงมาก เรียกว่า Extreme Pressure Additive (EP) ซึ่งจะทำหน้าที่โดยทำปฏิกิริยาทางเคมีกับผิวโลหะ โดยจะเกิดเป็นฟิล์มเคลือบที่ผิวโลหะ ป้องกันการสัมผัสโดยตรงของผิวโลหะ สาร EP โดยทั่วไปจะเป็นสารประกอบของซัลเฟอร์ คลอรีน หรือฟอสฟอรัส ตัวใดตัวหนึ่ง หรือหลายตัวรวมกัน

2.8 การตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น

คุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันหล่อลื่นมีมากมาย แต่คุณสมบัติสำคัญที่มักจะต้องตรวจสอบอยู่เสมอมีดังนี้ [28-38]

2.8.1 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด คือความต้านทานการไหลของน้ำมัน [4, 28-30] ความหนืดหรือความหนืดเป็นคุณสมบัติสำคัญของน้ำมัน มีการแปรกลับกับอุณหภูมิของน้ำมัน ถ้าอุณหภูมิต่ำน้ำมันจะข้น ทำให้เยื่อหล่อลื่นที่หนา ถ้าอุณหภูมิสูงน้ำมันจะใสให้เยื่อหล่อลื่นที่บาง

โดยทั่วไป ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว เป็นข้อมูลที่สำคัญที่สุดสำหรับการติดตามดูการเปลี่ยนแปลงสภาพน้ำมันหล่อลื่น การลดลงของค่าความหนืดมักจะมีผลจากการที่มีน้ำมันแปลกปลอม ที่มีค่าความหนืดต่ำกว่ามาผสมอยู่ หรืออาจจะมีการปนเปื้อนของ

สารทำละลาย (Solvent) ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์จะลดลงเมื่อมีน้ำมันเชื้อเพลิงผสม สำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้สารเคมีในการเพิ่มความหนืดหรือเพิ่มดัชนีความหนืดนั้น ค่าความหนืดก็จะลดลง เมื่อสารเพิ่มคุณภาพนั้นเสื่อมลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้กับงานที่มีแรงเสียดทานมาก ๆ

การทดสอบที่นิยมทำการตรวจวิเคราะห์ เพื่อประเมินความสามารถในการผลิตเป็นสารหล่อลื่น คือการต่อต้านการไหล (Flow Ability) หรือค่าความหนืด (Viscosity) วิธีการที่นิยมใช้กันคือตามระบบ ASTM D 445 วิธีการดังกล่าว ใช้หลักการในการจับเวลาในการไหลผ่านหลอดที่ปริมาณคงที่ สารหล่อลื่นที่ใช้เวลานานจะมีความหนืด หรือการต่อต้านการไหลสูงปกติจะทำการวิเคราะห์ค่าความหนืด ที่สองระดับอุณหภูมิคือ 40°C กับ 100°C จากระบบนี้จะมีหน่วยของความหนืดเป็นเซนติสโตค (Centistoke : cSt) โดยที่ค่าความหนืดทั้งสองระดับอุณหภูมิ จะถูกนำไปใช้ในการหาค่าดัชนีความหนืด (Viscosity Index: VI)

2.8.2 ดัชนีความหนืด (Viscosity Index ตาม ASTM D 2270) [4, 29, 31]

ดัชนีความหนืดคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืด เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน น้ำมันที่มีดัชนีความหนืดสูง จะเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อย เมื่ออุณหภูมิการใช้งานเปลี่ยนไป ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันที่มีดัชนีความหนืดต่ำ ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ น้ำมันมักมีความหนืดสูง ชิ้นส่วนเครื่องจักรเคลื่อนไหว แต่พอใช้งานสักพักหนึ่งอุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดก็ลดลงต่ำลง ทำให้เครื่องจักรสึกหรอ

การเพิ่มหรือลดลงของค่าของดัชนีความหนืด ส่วนมากจะมีเหตุเนื่องมาจากการปนเปื้อนของน้ำมันชนิดอื่น นอกจากนี้ค่าดัชนีความหนืดอาจลดลง เนื่องจากแรงเสียดทานที่ไปทำให้โครงสร้างของโมเลกุลของสารเพิ่มคุณภาพ ที่ผสมอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นบางชนิดแตกสลายลงในบางครั้ง ค่าดัชนีความหนืดก็อาจเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำมันเกิดการออกซิไดซ์

การหาค่าดัชนีความหนืด หาได้ดังสมการที่ (2-1)

$$VI = \frac{(L - U) \times 100}{(L - H)} \quad (2-1)$$

โดยที่ U = ค่าความหนืดที่ 100°F ของน้ำมันที่ต้องการหาค่าความหนืด

L = ค่าความหนืดจากตารางภาคผนวก ง ตารางที่ ง-1 และ ง-2 เป็นตารางของค่าความหนืดที่ 100°F ของน้ำมันมาตรฐานที่มีค่าความหนืด = 0 และจะมีค่าความหนืดที่ 210°F เหมือนกับน้ำมันที่นำมาหาค่าดัชนีความหนืดที่ 210°F

H = ค่าความหนืดจากตารางภาคผนวก ง ตารางที่ ง-1 และ ง-2 เป็นตารางของค่าความหนืดที่ 100°F ของน้ำมันมาตรฐานที่มีค่าความหนืด = 100 และจะมีค่าความหนืดเทียบเท่ากับน้ำมันที่นำมาหาค่าดัชนีความหนืดที่ 210°F

ค่าดัชนีความหนืดเป็นค่าที่ไม่มีหน่วยหรือไร้มิติ ซึ่งค่าดังกล่าวใช้ในการระบุถึงความสามารถ การต่อต้านการสูญเสียความหนืดที่อุณหภูมิสูงๆ ตัวเลขยิ่งมาก เช่นเกินกว่า 100 ขึ้นไป ถือว่า ต่อต้านความร้อนได้ดี โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดน้อย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะเป็น ผลดีในแง่ของการหล่อลื่น และการต่อต้านการสึกหรอในการใช้งานที่อุณหภูมิสูงๆ

2.8.3 จุดวาบไฟ (Flash Point)

จุดวาบไฟ คืออุณหภูมิของน้ำมันที่ได้รับความร้อนจนเป็นไอ แล้วลุกวาบเมื่อถูกเปลวไฟ แต่เปลวไฟจะเกิดเพียงไม่นาน [4, 32] ในแง่ของน้ำมันหล่อลื่นถ้าน้ำมันมีจุดวาบไฟต่ำ จะทำให้ มีการสูญเสียเนื่องจากการระเหยมาก จึงต้องมีการเติมเพิ่มบ่อยครั้ง และยังมีความสำคัญ เกี่ยวกับความปลอดภัยอีกด้วย

ค่าของจุดวาบไฟ อาจต่ำกว่าที่เคยเป็นเนื่องมาจากการปนเปื้อนของน้ำมันชนิดที่ใสกว่า หรือสารทำละลายหรืออาจเกิดจากการแตกตัวของอนุภาคน้ำมัน เนื่องจากความร้อน สำหรับ จุดวาบไฟที่สูงขึ้นกว่าเดิม อาจเนื่องมาจากการปนเปื้อนของน้ำมันที่มีความหนืดสูงกว่า อย่างไรก็ตาม ปกติแล้วค่าจุดวาบไฟของน้ำมันที่ใช้แล้ว จะไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก ถ้าไม่มีการปนเปื้อนจากน้ำมันชนิดอื่น หรืออุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไป

2.8.4 ความหนาแน่น และความถ่วงจำเพาะ (Density)

ความหนาแน่น หมายถึงมวลของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ที่อุณหภูมิมาตรฐาน ที่กำหนด ส่วนความถ่วงจำเพาะ (ความหนาแน่นสัมพัทธ์) หมายถึงอัตราส่วนระหว่าง ความหนาแน่นของน้ำมัน และความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน[4] มักนิยมกำหนดค่า ความถ่วงจำเพาะในรูปขององศา API (American Petroleum Institute) ซึ่งหาได้จากสมการ (2-2)

$$\text{องศา API} = \frac{141.5}{\text{Sp.gr.60/60}^\circ\text{F}} - 131.5 \quad (2-2)$$

โดยที่ องศา API = องศา API ที่ 60 °F

Sq.gr.60/60 °F = ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันที่ 60 °F

จากสมการข้างต้น จะเห็นว่าเมื่อค่าองศา API เพิ่มขึ้น ค่าความถ่วงจำเพาะจะลดลง ค่าความถ่วงจำเพาะนี้ จะเป็นตัวช่วยในการตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ซึ่งถ้ามีค่าความถ่วงจำเพาะลดลง (ค่าองศา API เพิ่มขึ้น) ก็อาจแสดงว่า มีน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ามาผสมกับน้ำมันหล่อลื่น และถ้ามีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้น ก็อาจแสดงว่า มีสิ่งแปลกปลอม เช่น เชม่า หรือสารที่เกิดจากการรวมตัวกับออกซิเจนผสมอยู่กับน้ำมันหล่อลื่น

2.8.5 สี (Color)

คุณสมบัติของสารหล่อลื่นที่นิยมตรวจวิเคราะห์เพื่อเป็นการอ้างอิงเบื้องต้น คือสีของน้ำมันหล่อลื่นที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยทั่วไป จะใช้เกจวัดสีของสารหล่อลื่นในระบบ ASTM D 1500 ซึ่งในระบบสีดังกล่าว จะแบ่งระดับสีออกเป็น 16 ระดับ คือระดับ 0 - 8 โดยแบ่งออกเป็นขั้นๆ ขั้นละ 0.5 ระดับตามระดับสีของสารหล่อลื่นที่เข้มข้น [4, 22] ประโยชน์ทั่วไปมักไม่ได้นำมาใช้ในการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพใดๆ ของน้ำมันหล่อลื่นใหม่ แต่มักจะนำมาใช้ประโยชน์สำหรับการระบุถึงความน่าจะเป็นของการเกิดการปนเปื้อนด้วยสิ่งสกปรกจากการใช้งาน อาทิ เศษโลหะจากการสึกหรอที่เกิดขึ้นอย่างปกติ หรือผิดปกติในการใช้งาน หรือจากการปนเปื้อนด้วยฝุ่นละออง เศษซิล ฯลฯ หรือเกิดจากผลของปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยที่ผลลัพธ์ของปฏิกิริยาดังกล่าว อาจอยู่ในรูปแบบของตะกอน หรือคราบสกปรก

2.8.6 จุดไหลเท (Pour Point)

จุดไหลเทหมายถึงอุณหภูมิต่ำสุด ที่น้ำมันหล่อลื่นจะเริ่มไหลภายใต้สภาวะที่กำหนด ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นทั่วไปจะมีไขส่วนหนึ่งละลายอยู่ด้วย เมื่อน้ำมันหล่อลื่นเย็น ไขก็จะ ตกผลึก และเกาะกันเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงโดยกักเอาน้ำมันไว้ และเมื่อผลึกของไขเกิดขึ้นมากพอ น้ำมันก็จะไม่สามารถไหลได้อีกต่อไป

2.8.7 ค่าความเป็นกรด (Total Acid Number)

ค่าความเป็นกรด จะวัดผลและรายงานออกมาในรูปแบบของ Total Acid Number (TAN) และ Strong Acid Number (SAN) วัดผลโดยใช้ ASTM D 664 (Potentiometric Titration) [4] สำหรับน้ำมันที่มีสีดำนากๆ ค่าความเป็นกรดของน้ำมันเป็นข้อมูลอย่างหนึ่งที่ช่วยในการคาดคะเนระดับ หรือความรุนแรงของการออกซิไดซ์ของน้ำมัน โดยทั่วไป ค่าความเป็นกรดของน้ำมันหล่อลื่นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุการใช้งานแสดงว่า น้ำมันเกิดการออกซิไดซ์มากขึ้นเช่นกัน

สภาพความเป็นกรดนี้ อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะได้ ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นจึงนิยมเติมสารเพิ่มคุณภาพที่มีสารที่เป็นด่างเข้าไป เพื่อให้สารที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งมีสภาพเป็นกรด ให้มีสภาพเป็นกลาง และเมื่อนำน้ำมันหล่อลื่นไปใช้งาน อัตราการสิ้นเปลืองสารที่เป็นด่าง ที่ตรวจสอบได้ ก็จะเป็นตัวชี้ถึงอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น การวัดความเป็นด่างนี้ จะวัดในรูปของจำนวนเบสทั้งหมด (Total Base Number (HClO₄ Method) D 2896)

การสรุปการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน ไม่ควรที่จะสรุปบนพื้นฐานของค่าความเป็นกรดเพียงอย่างเดียว แต่จะต้องนำค่าของความหนืด ดัชนีความหนืด ปริมาณตะกอนคราบยางเหนียว และอื่นๆ เป็นส่วนประกอบในการพิจารณาด้วย

2.9 มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ

ในประเทศไทย ไม่มีการกำหนดมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่น สำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ ดังนั้น จึงยึดถือตาม Society of Automotive Engineers of Japan (JSAE) [2,28-29] ศึกษา และกำหนดมาตรฐานของน้ำมันหล่อลื่นรถจักรยานยนต์สี่จังหวะขึ้นคือ JASO T 903 Motorcycle Four Cycle Gasoline Engine Oil Performance Classification Standards ซึ่งประกาศใช้ ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2542 [2]

มาตรฐาน JASO T 903 ประกอบด้วย

2.9.1 มาตรฐานระดับชั้นคุณภาพ ต้องเป็นไปตามมาตรฐานใด มาตรฐานหนึ่ง ดังแสดง ในตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 มาตรฐานระดับชั้นคุณภาพ [4]

มาตรฐาน	ชั้นคุณภาพ
API	SE, SF, SG, SH, SJ
ILSAC	GF-1, GF-2
ACEA	A1, A2, A3
CCMC	G-4, G-5

2.9.2 ต้องมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ (Physicochemical Properties) ดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 คุณสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ [4]

รายการ	วิธีทดสอบ		ข้อกำหนด
	JIS	ASTM	
1. Sulfated Ash, mass%	K2277	D874	1.2 max.
2. Evaporative Loss, mass%	JPI 5S-41-93	D5800	20 max.
3. Foaming Tendency, ml (Tendency / Stability) Seq. I Seq. II Seq. III	K2518	D892	10/0 max. 50/0 max. 10/0 max.
4. Shear Stability, mm ² /s xW-30 xW-40 xW-50	JPI 5S-29-88 (Note 1)	D6278	9.0 min. 12.0 min. 15.0 min.
5. High Temp. High Shear rate Viscosity (150 °C), mPa.s	JPI 5S-36-91	D4683	2.9 min.

2.9.3 ผ่านการทดสอบเกี่ยวกับความเสียดทานของระบบคลัตช์ (Friction Properties Test for the Clutch Systems) ดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 มาตรฐานความเสียดทานของระบบคลัตช์ โดยใช้วิธีทดสอบตาม JASO T 903 [4]

รายการ	มาตรฐาน	
	MA	MB
DFI (Dynamic Friction Characteristic Index)	1.45 or greater	Less than
SFI (Static Friction Characteristic Index)	1.15 or greater	Less than
STI (Stop Time Index)	1.55 or greater	Less than

หมายเหตุ : น้ำมันที่ไม่ผ่านข้อกำหนดมาตรฐาน MA ทั้งหมด จัดว่าเป็นไปตามมาตรฐาน MB

ผู้ประกอบการต่างๆ ได้กำหนดคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นของแต่ละบริษัท ดังแสดงในตารางที่ 2-9 ถึง 2-14 ดังนี้

ตารางที่ 2-9 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นแบบ V-120 เบนซิน (ปตท.)
และแบบ V-SF เกรดเดียว (ปตท.) [4]

คุณสมบัติ	แบบ V-120 motor oil			แบบ V-SF เกรดเดียว		
	เบอร์ 30	เบอร์ 40	เบอร์ 50	เบอร์ 30	เบอร์ 40	เบอร์ 50
1. มาตรฐาน API	SD/CC	SD/CC	SD/CC	SF/CC	SF/CC	SF/CC
2. มาตรฐานทางการทหาร	MIL-L-2104B	-	-	MIL-L-46152B	MIL-L-21260C	-
3. จุดวาบไฟ (°C) สูงกว่า	218	232	246	218	232	246
4. ค่าความหนืดที่ 100 °C (cSt)	10-12	13-16	17-21	10-12	13-16	17-21
5. ค่าดัชนีความหนืด	95	95	95	95	95	95
6. สี	แดง	แดง	แดง	เขียว	เขียว	เขียว
7. การกัดกร่อนแผ่นทองแดงที่อุณหภูมิ 100°C นาน 3 ชั่วโมง (ต่ำกว่า)	2a	2a	2a	2a	2a	2a
8. น้ำและตะกอนที่ปนอยู่ในน้ำมัน	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	-	-	-
9. ค่าความเป็นด่าง (TBN) mg KOH/g (สูงกว่า)	-	-	-	9.5	9.5	9.5
10. ปริมาณซีเถ้าและกำมะถัน (ต่ำกว่า)	-	-	-	1.5%	1.5%	1.5%

ตารางที่ 2-10 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์เบนซินของ ปตท.

(แบบ V-150 เกรดรวม 20W/50 และแบบซูเปอร์ V-SF เกรดรวม 20W/50) [4]

คุณสมบัติ	แบบเกรดรวม 20W 50 (V-150)		แบบซูเปอร์ V-SF เกรดรวม 20W/50	
	ขีดจำกัด	ค่าที่ได้	ขีดจำกัด	ค่าที่ได้
1. มาตรฐาน API	-	SE/CC	-	SF/CC
2. มาตรฐานทางการทหาร	-	MIL-L-46152 A	-	MIL-L-46152 B, MIL-L 21260
3. จุดวาบไฟ (°C)	สูงกว่า	215	สูงกว่า	215
4. ความหนืดที่ 100 °C (cSt) -10 °C (cP)	- ต่ำกว่า	16.3-21.9 4,500	- ต่ำกว่า	16.3-21.9 4,500
5. ดัชนีความหนืด	สูงกว่า	150	สูงกว่า	150
6. สี	-	แดง	-	แดง
7. การกัดกร่อนทองแดงที่ อุณหภูมิ 100 °C นาน 3 ชั่วโมง	ต่ำกว่า	2a	ต่ำกว่า	2a
8. น้ำและตะกอนที่ปนอยู่ในน้ำมัน	-	-	-	ไม่มี

ตารางที่ 2-11 ผลิตภัณฑ์น้ำมันหล่อลื่นเบนซินของบริษัทเชลล์ [4]

ผลิตภัณฑ์	ความหนืด (cSt)		ค่าดัชนี ความหนืด	จุดวาบไฟ (°C)	มาตรฐาน
	ที่ 40 °C	ที่ 100 °C			
เฮลิคซ์ 20W/50	166.4	18.6	125	239	สูงกว่ามาตรฐาน SF/CC และ MIL-L-46152 B
เชลล์เอ็กซ์ 100 SD/CC					SD/CC
SAE 30	86.6	10.7	107	215	
SAE 40	142.8	14.8	102	218	
SAE 50	210.8	19.0	101	224	
เชลล์ซูเปอร์มอเตอร์ออยล์ 20W/50	-	20.0	146	200	SE/CC และ MIL-L-46152 A
เชลล์ TMO 10W/30	67.7	12.3	182	221	SF/CD และ
15W/50	117.0	18.8		216	MIL-L-46152 A
เชลล์ซูเปอร์สองจังหวะ	113.0	12.5	102	254	-
เชลล์น้ำมันหล่อลื่นมอเตอร์ ไซค์ชนิดสองจังหวะ	98.0	11.0	102	246	-
เชลล์น้ำมันหล่อลื่นมอเตอร์ ไซค์ชนิดสี่จังหวะ	141.0	14.4	100	252	SE/CC และ MIL-L-46152 A
เชลล์น้ำมันเกียร์มอเตอร์ไซค์	144.0	14.4	100	248	SE

ตารางที่ 2-12 คุณสมบัติบางอย่างของน้ำมันหล่อลื่นเบนซิน (คาสโตรอล)

คาสโตรอล GTX SAE 20 W/50 [4]

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้	มาตรฐาน
ค่าความสัมพันธ์ของความหนาแน่นที่ @ 15 °C	0.895	SAE 20 W/50
ค่าความหนืดที่ @ 100 °C (cSt)	18.8	API Service SF/CD
ค่าความหนืดที่ @ -10 °C (cSt)	ต่ำกว่า 4,500	US Military MIL-L-46152 B
ค่าดัชนีความหนืด	สูงกว่า 130	CCMC European Sequences
จุดไหลเท (°C)	-24	G1, G2, D1
จุดวาบไฟ (°C)	215	-
ค่าความเป็นด่าง (TBN)	10.5	-

ตารางที่ 2-13 คุณสมบัติบางอย่างของน้ำมันหล่อลื่นเบนซิน (BP)

BP วิสโก้ 2000 SAE 15 W/50 [4]

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้	มาตรฐาน
ค่าความหนาแน่นที่ @ 15°C (kg/litre)	0.886	SAE 15W/50 , SF/CC
จุดวาบไฟ (°C)	207	CCMC (test) US Military MIL-L-46152 B Daimler Benze sheet 226.1
ค่าความหนืดที่ @ 40 °C (cSt)	105.4	Ford SSM 2C 9011 A/AA GM/OPEL 6136M
ค่าความหนืดที่ @ 100 °C (cSt)	15.44	British Leyland:- BLS.22.OL.02
ค่าดัชนีความหนืด	155	Volkswagen VM 501.00
สี	แดง	-
เถ้าซัลเฟต (% โดยน้ำหนัก)	0.985	-

ตารางที่ 2-14 คุณสมบัติบางอย่างของน้ำมันหล่อลื่นเบนซิน (BP)

BP ซูเปอร์วี (วิสโก้สแตติก 20 W/50) [4]

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้	มาตรฐาน
ค่าความหนาแน่นที่ @ 15 °C (kg/litre)	0.895	API SE/CC และสูงกว่ามาตรฐานของ CCMC
จุดวาบไฟแบบ (°C)	231	SAE 20W/50
ค่าความหนืดที่ @ 40 °C (cSt)	168.0	US Military MTL-L-46152
ค่าความหนืดที่ @ 100 °C (cSt)	17.8	Ford ESE-M2C 101C (USA); M2C9001-AA (Europe)
ค่าดัชนีความหนืด	133	General Motors 6M6136 M
จุดไหลเท (°C)	-33	Daimler Benz OM616
สี	แดง	Volkswagen 1300
กากซัลเฟต (% โดยน้ำหนัก)	0.85	Volvo B20
ค่าความเป็นด่าง (mg KOH/g)	6.0	-

2.10 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุโลหะในน้ำมัน (Wear Metal Element Analysis หรือ Spectrometric of Oil Analysis)

เนื่องจากไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลได้ แต่สามารถชะลอการสึกหรอโดยการใส่สารหล่อลื่นในการหล่อลื่นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเหล่านั้น และยังสามารถทำนายกลไกที่เกิดการสึกหรอขึ้นในชิ้นส่วนเครื่องจักรกลนั้นๆ ได้ โดยการวิเคราะห์เศษโลหะที่เกิดจากการสึกหรอของชิ้นส่วน ซึ่งเศษโลหะเหล่านั้นจะมีรูปร่างแตกต่างกันตามแต่ละกลไกการสึกหรอที่เกิดขึ้น ทำให้เราทราบได้ว่ากลไกการสึกหรอที่เกิดขึ้นเป็นแบบใด มีความรุนแรงระดับใด และอาจจะทำให้รู้ถึงสาเหตุของการสึกหรอ สิ่งแปลกปลอมที่ทำให้เกิดการสึกหรอ และแนวทางในการป้องกัน และแก้ไข เพื่อชะลอกลไกการเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

อนุภาคของธาตุโลหะที่ตรวจพบอยู่ในน้ำมัน สามารถแยกได้ตามแหล่งที่กำเนิดมา ได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ธาตุโลหะของอนุภาคเศษโลหะ (Wear Metal Elements) (ธาตุโลหะของอนุภาคเศษโลหะที่เกิดจากการเสียดทานและการสึกหรอของชิ้นโลหะ โดยอนุภาคจะลอยอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น)
2. ธาตุโลหะของอนุภาคสิ่งสกปรกปนเปื้อนของระบบหล่อลื่น (Contaminant Elements)
3. ธาตุโลหะของสารเพิ่มคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น (Additive Elements)

สารหล่อลื่นประเภทน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีมากมายหลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำมันฐานที่ได้มาจากการกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม หรือเป็นน้ำมันสังเคราะห์ที่ได้มาจากการกระบวนการเคมี ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลังจากการใช้งานแล้ว ทั้งในด้านการเก็บรักษา และการทำลายทิ้ง อีกทั้งยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ปัจจุบันผู้คนทั่วไปต่างหันมาสนใจการแก้ปัญหาทางด้านมลภาวะเป็นพิษทางอากาศ มีการรณรงค์ให้รักษาสภาพแวดล้อม จึงหันมาหาพืชน้ำมันที่จะสามารถใช้เป็นน้ำมันฐานทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม พบว่าน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันพืชที่ย่อยสลายได้ง่าย ลดการทำลายสิ่งแวดล้อมทั้งในระยะสั้นและระยะยาว อีกทั้งยังลดปัญหาในด้านการจัดเก็บและการทำลายลงได้มาก ซึ่งน้ำมันปาล์มนี้ยังสามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย สามารถลดการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งเป็นผลให้ลดการขาดดุลจากต่างประเทศได้

2.11 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันสูงถึง 0.6-0.8 ตัน/ไร่ [39] มีต้นทุนการผลิตและราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายทั้งการอุปโภคและบริโภค ทนความร้อนได้สูง ไม่ทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย [40]



ภาพที่ 2-12 ต้นปาล์มน้ำมัน [39]

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีลำต้นตรงประกอบขึ้นจากเนื้อเยื่อเส้นใย เรียกได้ว่าเป็นไม้ทรงพุ่ม ที่มีขนาดปานกลาง เป็นพืชที่มีระบบรากฝอยใบประกอบเป็นรูปขนนกโดยมีก้านเรียกว่าทางใบ โดยจะมีใบเคลือบทางแกนใบ ดังภาพที่ 2-12 มีดอกทั้งเพศผู้และเพศเมียในต้นเดียวใช้เวลา ประมาณ 30 เดือน จึงจะผสมดอกได้ มีระยะเวลาลงหลังผสมเกสร 5 เดือนครึ่ง ช่อดอกตัวเมีย จะสุกแก่เต็มที่ไ้เวลาในการเก็บเกี่ยว ผลที่ได้จะประกอบด้วย ช่อทะลายและก้านทะลาย ทะลาย มีลักษณะเป็นรูปหัวใจแต่ละทะลายมีปริมาณผล 46 – 60 % โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผลที่มี เมล็ดแข็ง มีรูปร่างเรียวยาวแหลมจนถึงรูปไข่หรือยาวรี ผลดิบมีสีดำ ส่วนผลสุกมีสีแดงส้ม ดังแสดง ในภาพที่ 2-13 โดยความสูงของต้นและปริมาณและขนาดทะลาย จะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์



ภาพที่ 2-13 เมล็ดปาล์มและทะลายปาล์ม [39]

2.12 ผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์ม

2.12.1 น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) หรือ CPO

น้ำมันปาล์มดิบดังแสดงในภาพที่ 2-14 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดผลปาล์มสด (Fresh Fruit Bunch) มีลักษณะเป็นน้ำมันข้น มีสีส้มขุ่น หน อุดหนุมิปกติ เมื่ออุ่นด้วยความร้อน น้ำมันจะใส และมีสีส้มอมแดง มักจะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องอื่นๆ



ภาพที่ 2-14 น้ำมันปาล์มดิบ [39]

2.12.2 น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel Oil) หรือ KO

น้ำมันเมล็ดในปาล์มดังแสดงในภาพที่ 2-15 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel) มีลักษณะเป็นน้ำมันข้น มีสีเหลืองขุ่น หน อุดหนุมิปกติ เมื่ออุ่นด้วยความร้อน น้ำมันจะใสและมีสีเหลืองอมส้ม มักจะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการกลั่นน้ำมันเมล็ดในปาล์มเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องอื่นๆ



ภาพที่ 2-15 น้ำมันเมล็ดในปาล์ม [39]

2.12.3 น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Bleached Deodorized Palm Oil) หรือ RPO

น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ดังแสดงในภาพที่ 2-16 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ มีลักษณะเป็นน้ำมันข้น มีสีเหลืองขุ่น หน อุ่นหุ้มปากติเมื่ออุ่นด้วยความร้อน น้ำมันจะใสและมีสีเหลืองอ่อน มักนำไปใช้สำหรับการทอดในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น อุตสาหกรรมผลิตบะหมี่ ขนมขบเคี้ยว เป็นต้น นอกจากนั้นยังใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น เนยเทียม ครีมเทียม ไอศกรีม นมข้นหวานและจืด Margarine, Shortening, Vanaspati ทั้งนี้ สามารถทอดได้มากกว่าน้ำมันชนิดอื่น เนื่องจากมีจุดเดือดที่ต่ำ



ภาพที่ 2-16 น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ [39]

2.12.4 น้ำมันปาล์มโอเลอิน (Refined Bleached Deodorized Palm Olein) หรือ ROL

น้ำมันปาล์มโอเลอินดังแสดงในภาพที่ 2-17 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (RPO) โดยการแยกส่วนที่เป็นไขปาล์ม (Palm Stearin) ออก เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ชนิดใส มีลักษณะเป็นน้ำมันใส มีสีเหลือง และไม่มีสิ่งเจือปน มักนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทอดทุกชนิด เช่น ขนมขบเคี้ยว อาหารทอดสำเร็จรูป ใช้เป็นวัตถุดิบต่างๆ เช่น ในการผลิตครีมฉาบหน้าลูกกวาด หรือ อาหารอื่นๆ ในอุตสาหกรรมการทำขนมและอาหาร อุตสาหกรรมผลิตเนยเทียม การผลิต Palm mid-fraction และการทำบะหมี่



ภาพที่ 2-17 น้ำมันปาล์มโอเลอิน [39]

2.12.5 ไชปาล์มบริสุทธิ์ชนิดแข็ง (RBD Hard Stearin) หรือ RHST

ไชปาล์มบริสุทธิ์ชนิดแข็งดังแสดงในภาพที่ 2-18 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกระบวนการแยกไชปาล์มบริสุทธิ์จากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ มีลักษณะกึ่งของแข็งสีขาว และจะมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลือง เมื่ออุ่นด้วยความร้อน นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตเนยเทียม (Margarine) Shortening สบู่ และครีมฉาบหน้าขนม (Confectionery Fat)



ภาพที่ 2-18 ไชปาล์มบริสุทธิ์ชนิดแข็ง [39]

2.12.6 กรดไขมันปาล์ม (Palm Fatty Acid Distillate) หรือ PFAD

กรดไขมันปาล์มดังแสดงในภาพที่ 2-19 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) มีลักษณะกึ่งของแข็ง สีขาว และจะมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลือง เมื่ออุ่นด้วยความร้อน นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ วิตามิน E และการผลิตเครื่องสำอางค์



ภาพที่ 2-19 กรดไขมันปาล์ม [39]

2.12.7 กากเมล็ดในปาล์ม (Kernel Meal) หรือ KM

กากเมล็ดในปาล์มดังแสดงในภาพที่ 2-20 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้ภายหลังจากการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดในปาล์ม (Kernel) มีลักษณะเป็นเกล็ดละเอียด มีสีน้ำตาลอ่อน นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัตว์ใหญ่เช่น โค กระบือ เป็นต้น



ภาพที่ 2-20 กากในเมล็ดปาล์ม [39]

การสกัดน้ำมันปาล์ม แบ่งเป็นสองกระบวนการคือ กระบวนการการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ และกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ

การสกัดน้ำมันออกจากผลปาล์มสดนั้น ดังแสดงในภาพที่ 2-21 ต้องทำอย่างรวดเร็ว และเป็นกระบวนการดังนี้ หลังจากที่เก็บเกี่ยวทะลายปาล์มสดแล้ว ต้องนำเข้าสู่กระบวนการผลิตภายใน 72 ชั่วโมง หากช้าเกินไปจะทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำมันที่สกัดได้มีคุณภาพและปริมาณต่ำลง [39] เมื่อส่งปาล์มเข้าโรงงานจะได้รับการหึ่ง อบด้วยความร้อน (Sterilization) เพื่อสกัดผลปาล์มออกจากทะลาย และเนื้อปาล์มจะนุ่ม ทำให้ง่ายต่อการบีบน้ำมันออกมา

การแยกผลปาล์ม (Bunch Stripping) ทะลายปาล์มที่หึ่งสุกแล้ว จะถูกส่งมาเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกให้ผลปาล์มหลุดออกจากทะลาย แล้วนำทะลายไปตีเป็นเส้นใย เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป ส่วนผลปาล์มที่แยกออกจากทะลายแล้วนั้น จะส่งเข้าเครื่องย่อยฉีกผลปาล์ม (Digestion) เพื่อให้ผลปาล์มพร้อมต่อการสกัดน้ำมันออก

ผลปาล์มที่ได้รับการฉีกย่อยแล้ว จะถูกส่งเข้าไปในเครื่องสกัดเกลียวอัดชนิดเกลียวคู่ เพื่อสกัดน้ำมัน (Pressing) ออกจากเปลือกนอกของผลปาล์ม ในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นสกัดเกลียวอัดจะถูกปรับระยะห่างของเกลียวให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถสกัดน้ำมันออกให้มากที่สุด และระมัดระวังให้กะลาของเมล็ดปาล์มแตกน้อยที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน ในส่วนที่เป็นกากพืชไขมัน ประกอบด้วยเส้นใยและเมล็ดปาล์ม จะถูกเป่าด้วยลมร้อน

ให้แห้ง และแยกออกจากกันด้วยไซโคลน เมล็ดปาล์มถูกส่งเข้าเครื่อง กะลาที่แยกออกจะใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อ ไอน้ำ ส่วนเมล็ดในปาล์มถูกส่งเข้าเครื่องสกัดเกลียวอัด เพื่อสกัดให้น้ำมันออกมา น้ำมันปาล์มที่สกัดได้จะมีเส้นใยปาล์มปะปนมาด้วย ก็จะถูกส่งเข้าตะแกรงสั่นเพื่อแยกเศษเส้นใยออก จะได้น้ำมันบริสุทธิ์ที่ไม่มีสารเจือปน และส่งผ่านเข้าเครื่องระเหยภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ เพื่อกำจัดน้ำ และความชื้นในน้ำมัน ทำให้น้ำมันมีอายุการเก็บรักษายาวนาน และมีคุณภาพดี

ขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์

การผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ดังแสดงในภาพที่ 2-21 ใช้วิธีทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพ หรือเรียกว่า Physical Refining บางครั้งเรียกว่าการกลั่นให้บริสุทธิ์ ประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

1. กระบวนการกำจัดยางเหนียว ใช้กรดฟอสฟอริกในปริมาณร้อยละ 0.05-0.1 โดยน้ำหนักน้ำมัน ใส่ในน้ำมันเพื่อกำจัดยางเหนียว หรือที่เรียกว่าสารประกอบฟอสโฟไทด์ออกจากน้ำมัน หากมียางเหนียวอยู่ในน้ำมัน เมื่อผ่านน้ำมันเข้ากระบวนการกลั่นความร้อนสูง จะทำให้น้ำมันมีความหนืดสูง และคุณภาพต่ำลงได้

2. กระบวนการฟอกสี น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่มีสีแดงเข้ม จะใช้ผงฟอกสีในปริมาณร้อยละ 2-3 เข้าดูดซับสี และกรองผงฟอกสีที่ดูดซับสีออกแล้ว จึงส่งน้ำมันเข้าสู่กระบวนการกลั่น น้ำมันที่ผ่านกระบวนการฟอกสีสามารถผลิตสีลงได้จำนวนหนึ่ง และมีสีตกค้างอยู่อีกจำนวนหนึ่ง จะถูกกำจัดในขั้นตอนการกลั่นต่อไป

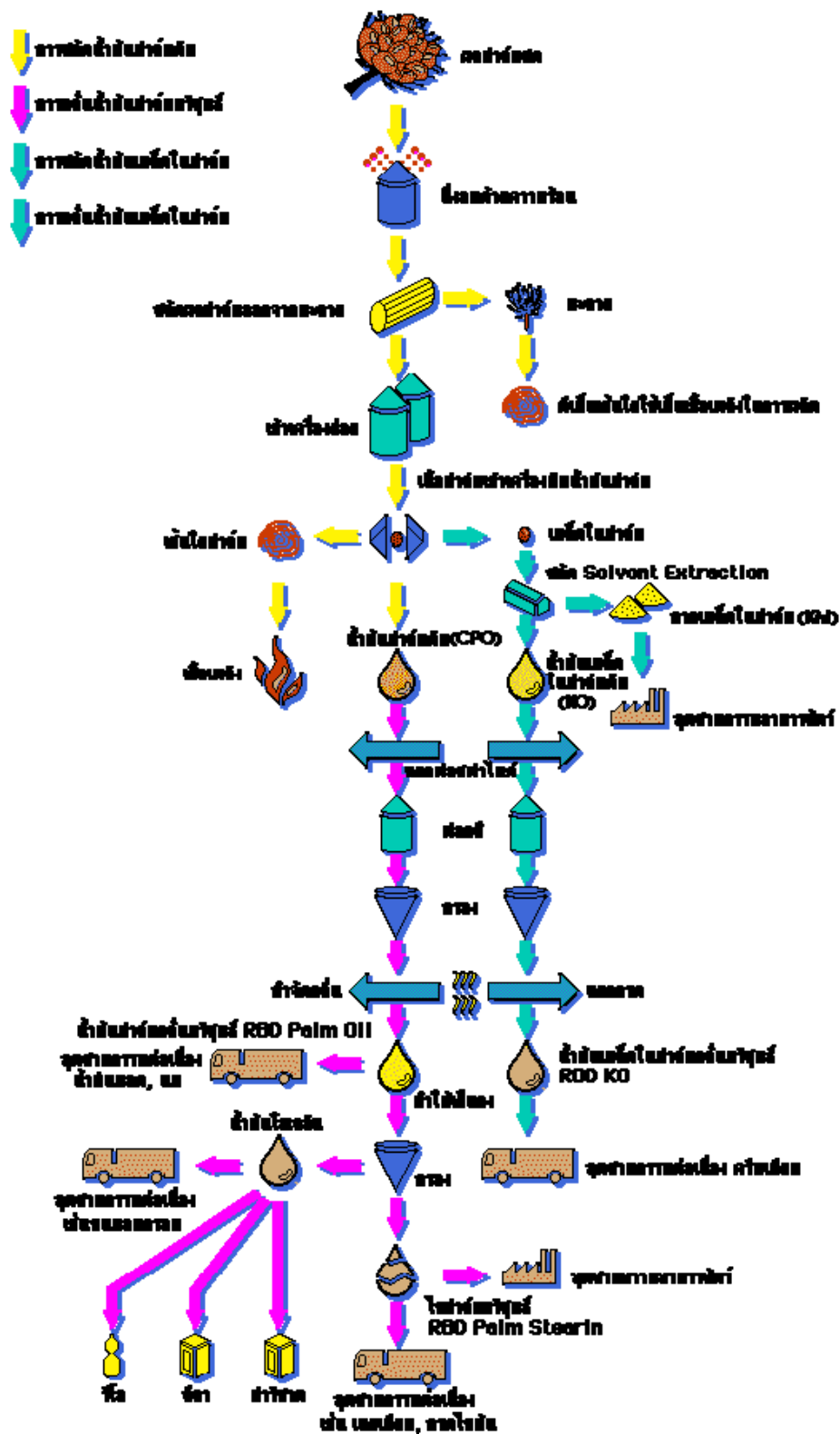
3. กระบวนการกลั่น น้ำมันส่งเข้าสู่กระบวนการกลั่นที่อุณหภูมิสูงประมาณ $240 - 260^{\circ}\text{C}$ และความดันต่ำกว่าบรรยากาศ กรดไขมันอิสระ สี และกลิ่น จะถูกกำจัดออก

การกรอง น้ำมันที่ออกมาจากกระบวนการกลั่น ได้รับการกรองอีกครั้งเพื่อให้ได้น้ำมันที่ใสและบริสุทธิ์

น้ำมันปาล์มที่ทำให้บริสุทธิ์แล้วตั้งกระบวนการข้างต้น เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง จะตกผลึกเป็นไขมันปนอยู่กับน้ำมัน ไม่เหมาะในการบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายเป็นน้ำมันบริโภค จึงต้องผ่านกระบวนการแยกไข เพื่อให้ส่วนแข็งที่เรียกว่าน้ำมันปาล์มโอลีน และส่วนแข็งที่เรียกว่าน้ำมันปาล์มสเตอรินออกจากกัน โดยทั่วไปควบคุมอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส

4. กระบวนการแยกส่วนน้ำมันโดยการตกผลึกไขมัน โดยการลดอุณหภูมิของน้ำมันลงต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส การควบคุมอุณหภูมิในการตกผลึกขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำมันปาล์มโอลีนที่ต้องการ

การกรอง แยกน้ำมันกันที่ผ่านการตกผลึกไขมันแล้ว ถูกส่งมากรองแยกไขมันออก โดยทั่วไปแล้วสามารถแยกได้น้ำมันปาล์มโอลีน และ น้ำมันปาล์มสเตอรินในอัตราส่วน 60-70 : 30-40



ภาพที่ 2-21 การสกัดน้ำมันปาล์มในระบบอุตสาหกรรม [39]

2.13 ภาวะการตลาด

ในปี 2550 คาดว่าจะมีปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันประมาณ 7.371 ล้านตัน หรือคิดเป็น น้ำมันปาล์มดิบประมาณ 1.29 ล้านตัน (เฉลี่ยเดือนละ 0.107 ล้านตัน) มากกว่าปีที่ผ่านมา (6.241 ล้านตันผลปาล์ม) ร้อยละ 18.11 ขณะที่ความต้องการใช้จะมีปริมาณ 0.968 ล้านตัน (เฉลี่ยเดือนละ 0.081 ล้านตัน) ทำให้มีผลผลิตส่วนเกิน (Excess Supply) อยู่ประมาณ 0.322 ล้านตัน (เฉลี่ยเดือนละ 0.026 ล้านตัน) แม้ว่ากระทรวงพาณิชย์และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะได้ร่วมมือกันบริหารจัดการระบบการค้าปาล์มน้ำมันมาเป็นอย่างดีตั้งแต่ ปี 2546 จนทำให้ระดับราคาผลปาล์มที่เกษตรกรขายได้อยู่ในเกณฑ์ดีตลอดมา แต่ในช่วงเดือนมีนาคมถึงมิถุนายน 2550 จะมีผลผลิตออกสู่ตลาดประมาณร้อยละ 40 ของผลผลิตรวม (คิดเป็นน้ำมันปาล์มดิบ 0.513 ล้านตัน หรือเฉลี่ยเดือนละ 0.128 ล้านตัน) ซึ่งมากเกินไปความต้องการใช้ภายในประเทศ กอปรกับสต็อกน้ำมันปาล์มดิบคงเหลือยังมีปริมาณ มากด้วยเช่นกัน ทำให้ราคามีแนวโน้มอ่อนตัวลง ซึ่งจะต้องเร่งรัดผลักดันส่งออกและกระตุ้นให้มีการนำน้ำมันปาล์มไปใช้ด้านพลังงาน ให้มากขึ้นเพื่อลดผลผลิตส่วนเกิน ปัจจุบัน (16 มี.ค. 50) ราคาผลปาล์มที่เกษตรกรขายได้ (น้ำมัน 17%) กก.ละ 3.20-3.40 บาท ลดลงจากเดือนกุมภาพันธ์ 2550 ที่มีราคาเฉลี่ย กก.ละ 3.35 บาท หรือลดลงร้อยละ 1.49 อย่างไรก็ตาม ผลจากความแห้งแล้งในแหล่งผลิตตั้งแต่ต้นปี จะส่งผลให้ผลปาล์มที่ออกสู่ตลาดมากในช่วงแรกของปีนี้ (เม.ย.-มิ.ย.) จะมีปริมาณน้อยกว่า ที่คาดการณ์ไว้แต่ก็ยังมีปริมาณมาก และมีผลต่อคุณภาพผลปาล์มที่เก็บเกี่ยวได้ด้วย รวมทั้งแนวโน้มราคาที่คาดว่าจะอ่อนตัวลง [41]

สภาวะราคาในประเทศ

ราคาเฉลี่ยของผลปาล์มที่เกษตรกรขายได้จากข้อมูลกรมการค้าภายใน พบว่า น้ำมันปาล์มดิบ ณ ตลาดกรุงเทพฯ และน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ชนิดบีบีในปี 2549 นั้น แต่ละเดือนจะมีมูลค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2-15 ทั้งนี้เนื่องจากในปีนี้เกิดภาวะฝนตกหนักในประเทศ มาเลเซียและอินโดนีเซีย ทำให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันลดลง ส่งผลให้ราคาน้ำมันปาล์มในตลาดต่างประเทศเพิ่มขึ้นอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกับราคาน้ำมันปาล์มภายในประเทศ ราคาต่างประเทศที่สูง ทำให้การลักลอบนำเข้าลดลง และส่งผลให้ความต้องการใช้น้ำมันปาล์มที่ผลิตได้ภายในเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 2-15 ราคาเฉลี่ยน้ำมันปาล์มดิบ (บาท/กิโลกรัม) ในปี 2549 [41]

ราคาน้ำมันดิบปาล์ม (บาท/กิโลกรัม) ในปี 2549		
เดือน	น้ำมันปาล์มดิบ ณ ประเทศไทย	น้ำมันปาล์มดิบ ณ ประเทศมาเลเซีย
มกราคม	17.82	15.2806
กุมภาพันธ์	17.34	15.6653
มีนาคม	15.40	15.4255
เมษายน	14.11	15.0108
พฤษภาคม	14.78	15.3665
มิถุนายน	14.36	15.0259
กรกฎาคม	14.59	15.3909
สิงหาคม	16.28	16.8814
กันยายน	15.06	16.0124
ตุลาคม	14.61	15.7881
พฤศจิกายน	16.85	17.3892
ธันวาคม	18.47	18.9890

2.14 แนวคิดและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในอดีตมีการพัฒนา และค้นคว้าทดลองเกี่ยวกับน้ำมันหล่อลื่นมากมาย สารสังเคราะห์ที่นำมาใช้ในกระบวนการหล่อลื่นเครื่องจักร และเครื่องยนต์แต่ละชนิด เป็นสารที่ได้มาจากสารบริสุทธิ์จากธรรมชาติ เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันสังเคราะห์ บางชนิดทำมาจากอะเซทิลีน บางชนิดก็ผลิตจากน้ำมันดิบ [3] การคัดค้านผลิตน้ำมันฐาน หรือน้ำมันปิโตรเลียมไม่สามารถหล่อลื่นได้ดี เช่น ในกรณีที่ต้องใช้ในเครื่องจักรเครื่องยนต์ที่ทำงานหนัก และทำงานในสภาวะที่อุณหภูมิสูงมากๆ เพราะคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นก็คือ เมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูง น้ำมันหล่อลื่นมักจะลดความหนืดลง ประสิทธิภาพการทำงานก็ลดลง ด้วยเหตุนี้เอง จึงต้องมีการคิดค้นน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์มาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว นอกจากนี้ใน [8] ได้กล่าวถึงความสำคัญของน้ำมันหล่อลื่นว่า เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับการทำงานของเครื่องยนต์ โดยหน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่นนอกจากในการหล่อลื่นชิ้นส่วนต่างๆ แล้ว น้ำมันหล่อลื่นยังมีผลต่อการระบายความร้อน และการชะล้างสิ่งสกปรกที่เข้าไปเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงอีกด้วย

น้ำมันหล่อลื่นจากพืชสะอาดสำหรับเครื่องจักรและเครื่องยนต์ หากแต่มีคุณสมบัติในการต่อต้านปฏิกิริยา ออกซิเดชัน (Oxidation) ต่ำ [42] แต่จากการพัฒนาสารเพิ่มคุณภาพ หรือ สารผสมชนิดพิเศษที่ช่วยต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้สามารถผลิตน้ำมันจากพืชที่มีเสถียรภาพต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ได้ในระดับเดียวกับน้ำมันจากปิโตรเลียมได้ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มคุณสมบัติในการต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ได้อีกหลายวิธี จากแนวคิดนี้ ได้มีการจัดประกายในการวิเคราะห์ธาตุที่สำคัญต่างๆ ของน้ำมันหล่อลื่น

หรือสารเจือปนในน้ำมันหล่อลื่น [43] มีโครงการทดสอบมากมายที่สอดคล้องแนวความคิดนี้ หลายโครงการ เช่นโครงการ Scheduled Oil Sampling(s-o-s) [43] เป็นโครงการของบริษัท เมโทร แมชินเนอรี ใช้วิเคราะห์หาสิ่งเจือปนในน้ำมันหล่อลื่นที่เก็บตัวอย่างมาจากห้องน้ำมัน ในระบบต่างๆ ของเครื่องจักรกล ซึ่งสิ่งเจือปนเหล่านั้นเป็นเศษวัสดุที่หลุดออกมาจากชิ้นส่วน ที่เคลื่อนที่ของเครื่องจักรกลระหว่างที่เกิดการสึกหรอหรืออาจจะเป็นเศษจากธาตุภายนอก เช่น ฝุ่น เข้าไปในระบบทำงานของเครื่องจักรกล โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานของเครื่องจักร Caterpillar ของบริษัท เมโทรแมชินเนอรี โดยจะหาธาตุที่สำคัญในเศษวัสดุนั้นซึ่งได้แก่ ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) โครเมียม (Cr) อลูมิเนียม (Al) ตะกั่ว (Pb) ซิลิกอน (Si) แมกนีเซียม (Mg) โมลิบดีนัม (Mo) โซเดียม (Na) โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) และวิเคราะห์สภาพน้ำมันหล่อลื่น ด้วยวิธีอินฟราเรด (Infrared Method) โดยใช้เครื่อง Infrared Spectrophotometer (IR) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ที่ใช้อยู่ทั่วไป และเครื่องจักรที่ใช้งานไม่มีปัญหาในส่วนใดๆ สามารถนำมาใช้เติมใน ยานยนต์ของบริษัทได้

สำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ ผู้ผลิตรถจักรยานยนต์แห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นผู้นำตลาด ในด้านนี้ โดย Society of Automotive Engineers of Japan (JSAE) ได้ศึกษาและกำหนด มาตรฐานของน้ำมันหล่อลื่นรถจักรยานยนต์สี่จังหวะขึ้น คือ JASO T 903 Motorcycle Four Cycle Gasoline Engine Oil Performance Classification Standards ตั้งแต่ 1 กรกฎาคม 2542 สำหรับตลาดน้ำมันหล่อลื่นรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ ในประเทศไทยปัจจุบัน ยังไม่มีการเน้น คุณภาพตามมาตรฐาน JASO มีเพียงน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์สองจังหวะเท่านั้น ที่เน้นคุณภาพตามมาตรฐาน JASO แต่ในอนาคตอันใกล้ คงจะมีการพัฒนาน้ำมันหล่อลื่น สำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะโดยเฉพาะ และวางจำหน่าย เพราะเป็นตลาดหนึ่งที่น่าสนใจ

ยังไม่มีการรายงานว่าจะใช้สารปรับความหนืดตัวใดมีคุณสมบัติดีที่สุด [23] มีการศึกษา เกี่ยวกับสารปรับความหนืด (Viscosity Modifier : VM) หรือ สารเพิ่มดัชนีความหนืด (Viscosity Index improver : VII) พบว่า สารเพิ่มคุณภาพพวกนี้ จะทำหน้าที่ในการปรับความหนืดของ น้ำมันหล่อลื่นไม่ให้ใสจนเกินไปเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น และไม่ข้นจนเกินไปเมื่อมีอุณหภูมิต่ำลง โดยจะส่งผลให้ฟิล์มน้ำมันมีความหนาเพียงพอที่จะปกป้องเครื่องยนต์ และให้การหล่อลื่นอย่างมีประสิทธิภาพ โดยได้วิจัย ศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติของสารปรับความหนืดในด้านความสามารถ ในการทนต่อแรงเฉือน (Shear Stability) ของสารพอลิเมอร์ในสารปรับความหนืด พบว่า สารต่างๆ ที่ใช้ทดสอบไม่สามารถบอกได้ว่า ตัวใดดีกว่ากันเนื่องจากลักษณะโครงสร้างทางโมเลกุลไม่เหมือนกัน อีกทั้งการทดลองนี้เป็นในลักษณะเบื้องต้น จึงได้แนะนำให้ศึกษาต่อ เพิ่มเติม โดยให้ขยายช่วงเวลาในการทดสอบให้ยาวนานจนใกล้เคียงกับที่ใช้งานจริง และแนะนำให้ศึกษาถึงคุณสมบัติด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเช่น Thickening Efficiency, Oxidative and Thermal Stability และ Interaction with Soot เพื่อจะได้เลือกใช้ที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

ได้มีการศึกษา และวิจัยเกี่ยวกับเอสเทอร์สังเคราะห์นำมาทำเป็นน้ำมันหล่อลื่น โดย [44] สังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์น้ำมันละหุ่ง กับ 2-เอทิลเฮกซานอล ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้กรดซัลฟริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วนำมาผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชัน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับกระบวนการไฮโดรจิเนชัน ประกอบด้วยแพลตินัม 3 เปอร์เซ็นต์บนตัวรองรับอลูมินา พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา ประกอบด้วยปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 100 °C ภายใต้ความดันของไฮโดรเจนเท่ากับ 100 psi เป็นเวลา 3 ชั่วโมง คาดว่าเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ สามารถใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นได้ เนื่องจากมีค่าดัชนีความหนืดสูง จุดไหลเทต่ำ มีความเสถียรต่อความร้อนและการถูกออกซิไดซ์ดี ประกอบกับมีการวิจัยต่อเนื่อง [45] ได้สังเคราะห์ น้ำมันหล่อลื่นจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์น้ำมันมะพร้าว กับแอลกอฮอล์ซึ่งได้แก่ เฮกซานอล ออกทานอล 2-เอทิลเฮกซานอล ไชโคลเฮกซานอล โดยใช้กรดซัลฟริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วนำมาผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชัน ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์น้ำมันมะพร้าวกับไชโคลเฮกซานอล เตรียมที่อุณหภูมิ 90 °C นาน 3 ชั่วโมง และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการไฮโดรจิเนชัน ประกอบด้วยปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 150 °C ภายใต้ความดันเท่ากับ 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง โดยใช้แพลตินัมร้อยละ 3 บนตัวรองรับอลูมินาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ ได้มีแนวโน้มที่สามารถใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นได้ เนื่องจากมีค่าดัชนีความหนืดสูงจุดไหลเทต่ำ มีความเสถียรต่อความร้อน และการถูกออกซิไดซ์ดี มีพัฒนาต่อมาโดยเป็นจากน้ำมันมะพร้าว เป็นน้ำมันพืชชนิดอื่น [46] ได้ศึกษาในน้ำมันรำข้าว พบว่า มีโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ถูกเปลี่ยน ให้มีโครงสร้างเป็นเอสเทอร์เดี่ยว โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันด้วยแอลกอฮอล์ เช่น 1-บิวทานอล 1-เฮกซานอล 1-ออกทานอล 2-เมทิล-1-เฮกซานอล และ 4-เมทิล-2-เพนทานอล ณ อุณหภูมิที่เป็นจุดเดือดของของผสมเป็นเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง และใช้กรดซัลฟริกเข้มข้น เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 2-เอทิล-1-เฮกซิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์เดี่ยว ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีที่ดี เนื่องจากมีค่าดัชนีความหนืดสูง มีความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชันดี และมีจุดไหลเทต่ำ ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้สามารถถูกใช้เป็นน้ำมันฐานได้ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อนำ 2-เอทิล-1-เฮกซิลเอสเทอร์ปริมาณเล็กน้อย ไปผสมกับน้ำมันฐานจากปิโตรเลียม (150 SN) ค่าดัชนีความหนืดของน้ำมันที่ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันฐานจากปิโตรเลียม เพียงอย่างเดียว ผลดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่า 2-เอทิล-1-เฮกซิลเอสเทอร์สามารถใช้เป็นตัวปรับปรุงค่าดัชนีความหนืดในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันหล่อลื่นได้ ต่อมา [47] ได้ปรับปรุง สารหล่อลื่นพื้นฐานสังเคราะห์ประเภทไดเอสเทอร์ เตรียมโดยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์น้ำมันปาล์ม และปฏิกิริยาเอสเทอร์กรดน้ำมันปาล์มได้แก่ กรดโอเลอิก กรดเสตริริก และกรดปาล์มมิติกับ 1,3-โพเพนไดออล 1,4-บิวเทนไดออล 1,5-เพนเทนไดออล 2,2-ไดเมทิล-1 3-โพเพนไดออล โดยใช้กรดซัลฟริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลลัพธ์ที่ได้จากปฏิกิริยาดังกล่าวมี 2 สถานะ คือ

ของแข็ง และของเหลว เนื่องจากของแข็งไม่สามารถวัดสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนืด และ จุดไหลเทของสารสังเคราะห์ได้ ทำให้สารสังเคราะห์ที่เป็นของแข็งไม่เหมาะที่จะใช้เป็นสารหล่อลื่น ในเครื่องยนต์ แต่ผลิตภัณฑ์แต่ละตัวที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ และปฏิกิริยาเอสเทอร์กับ 2-เอทิล-1, 3-เฮกเซนไดออล เป็นของเหลว และมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ดี เช่น ผลิตภัณฑ์ 2-เอทิล-1, 3-เฮกเซนไดเอสเทอร์ จากน้ำมันปาล์ม มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมี คือ ค่าดัชนีความหนืด 170.83 จุดไหลเท -9°C จุดวาบไฟ 208°C และมีความเสถียรต่อ ความร้อนและการถูกออกซิไดซ์ได้ดี ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าไดเอสเทอร์สังเคราะห์ที่ได้จากปฏิกิริยา ทรานเอสเทอร์น้ำมันปาล์ม และปฏิกิริยาเอสเทอร์กรดน้ำมันปาล์มกับ 2-เอทิล-1,3-เฮกเซนไดออล เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นสารหล่อลื่นในเครื่องยนต์ แนวคิดนี้ได้พัฒนาต่อมา [48] ได้ทำการ สังเคราะห์น้ำมันฐานจากน้ำมันปาล์ม โดยทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์ม กับแอลกอฮอล์ คือ 1-บิวทานอล 1-เฮกซานอล ไชโคลเฮกซานอล และ 2-เอทิล-1-เฮกซานอล โดยใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วนำเอสเทอร์สังเคราะห์ที่ได้มาผ่านกระบวนการ ไฮโดรจิเนชัน ซึ่งมีแพลตินัม 3 เพอร์เซ็นต์บนตัวรองรับอลูมินาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า เอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้นี้มีสมบัติทางกายภาพ อยู่ในช่วงที่สามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันฐานได้ เมื่อนำเอสเทอร์สังเคราะห์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน กับ 1-บิวทานอล และ ผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชันนั้น ผสมกับน้ำมันฐาน (150 SN) ซึ่งได้จากน้ำมันปิโตรเลียม พบว่าเมื่อผสมเอสเทอร์สังเคราะห์นี้ในอัตราส่วน 24 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ค่าดัชนีความหนืด ของน้ำมันฐานเพิ่มขึ้นจาก 103.86 เป็น 130.12 ดังนั้น เอสเทอร์สังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการ ไฮโดรจิเนชันนั้น มีความเหมาะสมเพื่อใช้เป็นสารเพิ่มค่าดัชนีความหนืดได้ เมื่อนำเอสเทอร์ สังเคราะห์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ระหว่างน้ำมันปาล์มกับ 2-เอทิล-1- เฮกซานอล มาผ่านกระบวนการไฮดรอกซิเลชันโดยใช้กรดเปอร์ออกซีแอซิดิก พบว่าเอสเทอร์ ที่สังเคราะห์ได้นี้มีค่าดัชนีความหนืด 154.77 จุดไหลเท -3°C และมีความเสถียรต่อความร้อน และการถูกออกซิไดซ์ได้ดี ดังนั้นสามารถใช้เป็นน้ำมันฐานและสารเพิ่มคุณภาพ ในน้ำมันหล่อลื่น สังเคราะห์ได้ จากการวิจัย และการสังเคราะห์ข้างต้น ได้มีการทดลองนำไปใช้จริง [42] โดย บริษัท Igol Industrie เป็นโรงงานในเมือง Nevers ตอนกลางประเทศฝรั่งเศส ผลิตน้ำมันทั้งจาก เมล็ดต้นเรพ และจากเมล็ดดอกทานตะวัน เพื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นเครื่องจักรในอุตสาหกรรมป่าไม้ ทำเป็นจาระบีหล่อลื่นเลื่อยยนต์ และหล่อลื่นเครื่องยนต์ 2 จังหวะ นอกจากนี้ ยังมีการทดลอง เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้กับเครื่องยนต์สี่จังหวะอีกด้วย โดยน้ำมันจากพืชเหล่านี้ ถูกนำมาใช้ในรูปแบบของน้ำมัน หรือในรูปโอเลโอเคมีคัลเอสเทอร์ (Oleochemical Ester) และ ถูกผสมกับสารสังเคราะห์บางอย่าง เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการต่อต้าน การเกิดออกไซด์ (Antioxidant) และเพิ่มความสามารถในการไหล (Fluid Capacity) การเกาะยึดตัว (Adhesion) หรือเพื่อเพิ่ม เสถียรภาพด้านความร้อน เป็นต้น

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในการหล่อลื่นเครื่องยนต์โดยทั่วไป เป็นสารประกอบประเภท ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ซึ่งเมื่อเก็บไว้นาน หรือได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงขึ้น และรวมตัวกับออกซิเจน (Oxygen) ในอากาศ แล้วจะเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า ออกซิเดชัน (Oxidation) อันเป็นสาเหตุที่สำคัญที่สุดประการหนึ่ง ในการทำให้น้ำมันหล่อลื่นประเภทนี้ เสื่อมคุณภาพ [24] ภายหลังจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว น้ำมันหล่อลื่นไฮโดรคาร์บอน จะเสื่อมสลายกลายเป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งก่อให้เกิดการกัดกร่อน และอาจเกิดสารที่ไม่ละลาย ในน้ำมัน ทำให้เกิดการอุดตันตามท่อส่งน้ำมัน หรือเกิดตะกอนเป็นคราบเหนียวๆ จับตามผิวโลหะ ของเครื่องยนต์ ทำให้เกิดการสึกหรอ นอกจากนี้ยังทำให้ความหนืด และความเข้มข้นของ น้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลงไปด้วย [25] การเสื่อมคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น พบว่าอาจเสื่อม แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ด้านกายภาพ และเคมี โดยเฉพาะการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ในอากาศของน้ำมัน เป็นสาเหตุที่สำคัญและพบมากที่สุด โดยเมื่อน้ำมันรวมตัวกับออกซิเจน จะกลายเป็นกรดยางเหนียว โคลน ทำให้น้ำมันเหนียวขึ้น (ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น) ทำให้เกิดการ อุดตันรูน้ำมัน รูอากาศ ไส้กรอง ปิดกั้นระบบการไหลเวียน ทำให้ชิ้นส่วนต่างๆ เกิดการติดขัด โดยปกติน้ำมันจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอัตราที่น้อยมากเมื่ออุณหภูมิการทำงานต่ำกว่า 60 °C และเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการทำงานสูงกว่า 60 °C และอัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มเป็น 2 เท่าต่อการเพิ่มของอุณหภูมิทุกๆ 10 °C น้ำและโลหะหลายชนิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ให้เร็วขึ้น ในบางครั้ง สารเพิ่มคุณภาพอาจเกิดการเสื่อมคุณภาพ และกลายเป็นตะกอนปนเปื้อน จากสารเคมีต่างๆ เช่น ซัลเฟอร์ และคลอไรด์ จะมีผลทำให้น้ำมันเกิดคราบยางเหนียว ทำให้ ระบบหมุนเวียนภายในติดขัด และอาจทำให้เกิดการกัดกร่อนขึ้นได้ การผสมน้ำมันหล่อลื่น ต่างประเภทที่มีสารเพิ่มคุณภาพที่แตกต่างกันมากเข้าด้วยกัน อาจจะทำให้เกิดการตกตะกอน ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดปัญหาได้เช่นกัน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

จากที่ได้กล่าวมาในบทที่แล้ว ถึงความสำคัญของคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นต่อการทำงานของเครื่องยนต์และการพยายามนำพืชน้ำมันมาทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม จึงได้มีแนวคิดในการนำน้ำมันปาล์มมาทดลองผสมกับน้ำมันปิโตรเลียม และสารเพิ่มคุณภาพ ในการวิจัยหาคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันหล่อลื่น โดยวัดได้จากการทดสอบตามมาตรฐานของ American Society of Testing Materials (ASTM) และจาก JASO T 903 [28-29] ซึ่งผลการทดสอบนอกจากจะเป็นแนวทางในการพิจารณาว่าน้ำมันหล่อลื่นนั้นๆ สามารถนำไปใช้งานได้แล้ว ยังสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการป้องกัน และบำรุงรักษาเครื่องจักร ช่วยในการคำนวณระยะเวลาที่ต้องทำการเติมหรือเปลี่ยนถ่ายน้ำมันให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ได้สูงสุด และยังประหยัดด้วย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 น้ำมันปาล์มโอเลอินจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3.1.2 น้ำมันปิโตรเลียมจากบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

3.1.3 สารเพิ่มคุณภาพจากบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

3.1.4 น้ำมันหล่อลื่นรถจักรยานยนต์สี่จังหวะของบริษัทฮอนด้า ออโตโมบิล (ประเทศไทย) จำกัด เบอร์ SAE 40

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

ในการทดลองนี้ทำน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันปาล์ม โดยนำน้ำมันปาล์มมาผสมกับน้ำมันปิโตรเลียมฐาน และสารเพิ่มคุณภาพ โดยให้ความร้อน และกวนด้วยความเร็วคงที่ตลอด 3 ชั่วโมง เพื่อให้ไขมันและส่วนผสมต่างๆ เข้ากันเป็นอย่างดี จากนั้นนำไปทดสอบตามมาตรฐานต่างๆ และเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ ที่มีวางจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด

3.3 วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้ เริ่มต้นจากการหาความหนืดของน้ำมันแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นผสมน้ำมันหล่อลื่น โดยนำน้ำมันปาล์มโอเลอินมาผสมกับน้ำมันปิโตรเลียม และสารเพิ่มคุณภาพที่ได้มาจากบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) โดยผสมที่อุณหภูมิ

50 องศาเซลเซียส คนให้เข้ากันเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามสูตรต่างๆ จากนั้นนำไปทดสอบตามมาตรฐานต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.3.1 การทดสอบหาค่าความหนืด และดัชนีความหนืด

การทดสอบหาค่าความหนืด และดัชนีความหนืด จะใช้มาตรฐานของ ASTM D 445 และ ASTM D 2270 [30-31] โดยใช้หลักการในการจับเวลาในการไหลผ่านหลอดที่ปริมาณคงที่ สารหล่อลื่นที่ใช้เวลานานจะมีความหนืด หรือการต่อต้านการไหลสูง ปกติจะทำการวิเคราะห์ค่าความหนืด ที่สองระดับอุณหภูมิคือ 40 °C กับ 100 °C จากระบบนี้ จะมีหน่วยของความหนืดเป็นเซนติสโตค (Centistoke : cSt) โดยที่ค่าความหนืดทั้งสองระดับอุณหภูมิ จะถูกนำไปใช้ในการหาค่าดัชนีความหนืด (Viscosity Index: VI)

3.3.2 การทดสอบหาจุดวาบไฟ

การทดสอบหาจุดวาบไฟจะใช้มาตรฐานของ ASTM D 92 [32] โดยนำตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่ต้องการทดสอบมาประมาณ 70 มิลลิเมตร เติมน้ำมันตัวอย่างทดสอบ แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนแรก จากนั้นก็ค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งเมื่อเข้าใกล้จุดวาบไฟที่ระยะห่างการทดสอบเปลวไฟจากขอบถ้วยด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง จุดวาบไฟจะเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เปลี่ยนแปลง ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทดสอบหาตัวอย่างควั่นจากการเผาไหม้

3.3.3 การทดสอบหาคราบเกลือของกรดกำมะถันจากน้ำมันหล่อลื่น และสารเพิ่มคุณภาพ

การทดสอบหาคราบเกลือของกรดกำมะถันจากน้ำมันหล่อลื่น และสารเพิ่มคุณภาพจะใช้มาตรฐานของ ASTM D 874 [33] โดยนำตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่ต้องการทดสอบที่ได้จากการจุดประกายไฟ และเผาไหม้ จนกระทั่งเหลือแต่ถ่านและคาร์บอน (Carbon) ปลอยทิ้งให้เย็นลง นำส่วนที่เหลือจากการกรองของเหลวออกแล้ว นำมาทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid) แล้วเพิ่มความร้อนจนอุณหภูมิเป็น 775 °C รอจนกระทั่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของคาร์บอน (Carbon) เสร็จสมบูรณ์ ปลอยให้ถ่านเย็นตัวลง แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid) อีกครั้ง แล้วเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 775 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่

3.3.4 การทดสอบหาปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอ ของน้ำมันหล่อลื่น โดยวิธี Noack Method

การทดสอบหาปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอ ของน้ำมันหล่อลื่นจะใช้มาตรฐานของ ASTM D 5800 [34] โดยนำตัวอย่างที่ต้องการทดสอบจำนวนมาก มาบรรจุลงในเตาหลอมเพื่อใช้ในการระเหย เพิ่มความร้อนจนถึง 250 °C โดยให้อากาศไหลเข้าในอัตราคงที่ต่ำสุดประมาณ 60 นาที นำน้ำหนักที่หายไปไปคำนวณหาปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอ

3.3.5 การทดสอบหาลักษณะแนวโน้มในการเกิดฟองในน้ำมันหล่อลื่น

การทดสอบหาลักษณะแนวโน้มในการเกิดฟองในน้ำมันหล่อลื่น จะใช้มาตรฐานของ ASTM D 892 [35] โดยนำตัวอย่างที่ต้องการทดสอบเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 24 °C (75 °F) เป่าให้

อากาศผ่านเข้าไปในอัตราคงที่ ประมาณ 5 นาที แล้ววัดปริมาณฟองอากาศน้ำมัน จากนั้นปล่อยทิ้งไว้อีก 10 นาที แล้ววัดปริมาณฟองซ้ำอีกครั้ง จากนั้นตอนที่สอง ให้ความร้อนจนน้ำมันมีอุณหภูมิ 93.5 °C (200 °F) ปล่อยให้อากาศผ่านเข้าไปในอัตราคงที่ จากนั้นวัดปริมาณฟองตอนที่สาม ให้ความร้อนจนน้ำมันมีอุณหภูมิ 93.5 °C (200 °F) คนน้ำมันตลอดเวลาให้เย็นลงจนอุณหภูมิกลายเป็น 43.5 °C แล้วปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนเหลือ 24 ± 5 °C วัดปริมาณฟองที่มีอยู่ จากนั้นปล่อยให้อากาศเข้าไปในน้ำมันแล้ววัดปริมาณฟองอีกครั้ง

3.3.6 การทดสอบหาพฤติกรรมกรรมการต่อต้านการสึกกร่อน ของน้ำมันหล่อลื่นแบบลูกบอล 4 ลูก

การทดสอบหาพฤติกรรมกรรมการต่อต้านการสึกกร่อน ของน้ำมันหล่อลื่นแบบลูกบอล 4 ลูก จะใช้มาตรฐานของ ASTM D 4172 [36] โดยนำลูกบอล 3 ลูกใส่ใน Ball Cup ใส่ Ball Clamp Ring ใส่ ClampRing Lock แล้วขันให้แน่น จากนั้นใส่ลูกบอลอีก 1 ลูกใน Collet แล้วใส่ใน Spindle แล้วขันให้แน่น แล้วน้ำมันที่จะทดสอบใน Ball Cup (ให้สูงกว่าลูกบอลประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) และใส่ Ball Cup บนแท่นทดสอบ ปล่อยน้ำหนักลงบนลูกบอลทดสอบ เสียบสายเครื่องทำความร้อน และเสียบ Thermocouple ตั้งเวลาการทดสอบ หลังจากทดสอบเสร็จ นำลูกบอลแต่ละลูกออกมาวัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางรอยสึกหรอโดยอาศัยเครื่อง Microscope

3.3.7 การทดสอบหาลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ความดันสูงสุดของน้ำมันหล่อลื่น

การทดสอบหาลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ความดันสูงสุดของน้ำมันหล่อลื่น จะใช้มาตรฐานของ ASTM D 2893 [37] โดยนำตัวอย่างน้ำมันไปวัดค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 °C จากนั้นนำก๊าซออกซิเจนไปผ่านน้ำมันจำนวน 300 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 312 ชั่วโมงติดต่อกัน แล้วนำน้ำมันที่ได้ไปทดสอบค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 °C อีกครั้ง นำค่าความหนืดที่ได้ก่อน และหลังไปหาค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไป

3.3.8 การทดสอบแรงเสียดทาน และการสึกกร่อน

การทดสอบแรงเสียดทาน และการสึกกร่อน จะใช้มาตรฐานของ ASTM G 133-95 [38] โดยการทดสอบนี้ แรงกระทำจะถูกใส่ไปที่ตัวอย่างชิ้นงานทรงกลม (ลูกบอล) ในแนวตั้ง (ตั้ง) เพื่อทดสอบตัวอย่างชิ้นงานที่นำมาทดสอบ โดยตัวอย่างชิ้นงานที่นำมาทดสอบนั้น มีลักษณะแบนราบ หรือมีผิวโค้งมน และเคลื่อนที่ไปในแนวนอน โดยผู้ทดสอบสามารถกำหนดแรงกระทำในแนวตั้ง, ความยาวช่วงชัก หรือระยะการขีดสีของตัวอย่างทั้งสอง โดยให้ทั้งหมดคงที่ และนำน้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดมาหยดลงบนชิ้นงาน ก่อนที่จะให้ลูกบอลขีดสีชิ้นงาน การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง/รูปทรง และขนาดของตัวอย่างที่ใช้การทดสอบของชิ้นงาน สามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราการสึกกร่อนที่เกิดขึ้น และปริมาณการสึกกร่อนของตัวอย่างได้

3.3.9 การทดสอบกับเครื่องยนต์ของรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ

การทดสอบกับเครื่องยนต์ของรถจักรยานยนต์สี่จังหวะนี้ ใช้รถจักรยานยนต์ยี่ห้อฮอนด้า รุ่นเวฟ 125 ซีซี รุ่นปี 2005 ซึ่งเป็นรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ โดยวิ่งบนล้อยกอยู่กับที่

ด้วยความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นระยะทาง 300 กิโลเมตร แล้วเปรียบเทียบผลระหว่าง
น้ำมันหล่อลื่นที่พัฒนามาจากน้ำมันปาล์ม กับน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดโดยทั่วไป
โดยพิจารณาถึงการสิ้นเปลืองปริมาณเชื้อเพลิง และก๊าซที่ออกมาจากท่อไอเสีย และธาตุโลหะ
ในน้ำมันหล่อลื่นที่นำไปใช้งานแล้ว

บทที่ 4

ผลและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การหาค่าความหนืด และดัชนีความหนืด

การที่จะใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินให้เป็นน้ำมันฐานในการผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่น โดยใช้มาตรฐานของ SAE 40 ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับการใช้กับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะสำหรับประเทศไทย ดังนั้นการจะผสมน้ำมันให้ได้ตามมาตรฐานนี้ อันดับแรกต้องคำนึงถึงค่าความหนืดตามมาตรฐาน ASTM D 445 [26, 30-31] ซึ่งค่าความหนืดตามมาตรฐาน SAE 40 ที่อุณหภูมิ 100°C นี้ มีค่าอยู่ระหว่าง 12.5 – 16.3 cSt ดังนั้น งานวิจัยในครั้งนี้ จึงเริ่มด้วยการหาค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันปิโตรเลียม และน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะก่อน เพื่อกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันปิโตรเลียม และสารเพิ่มคุณภาพให้ได้ค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ และอยู่ในค่ามาตรฐาน SAE 40 ผลการหาค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C และ 100°C และค่าดัชนีความหนืดแสดงได้ตามตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ค่าความหนืด และดัชนีความหนืด ของน้ำมันต่างๆ

น้ำมัน	ความหนืดที่ 100°C (cSt)	ความหนืดที่ 40°C (cSt)	ดัชนีความหนืด
น้ำมันปาล์มโอเลอิน 100%	8.65	42.66	187.00
น้ำมันปิโตรเลียม 100%	32.51	503.40	96.15
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	15.00	151.60	99.00

จากตารางที่ 4-1 พบว่าน้ำมันปิโตรเลียมมีความหนืดที่อุณหภูมิ 100°C มีค่าสูงกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน นำค่าความหนืดที่ได้ไปลองประมาณค่าความหนืดผสมระหว่างของเหลวสองชนิดในกราฟความหนืดของผสมดังแสดงในภาพที่ ง-2 ในภาคผนวก ง

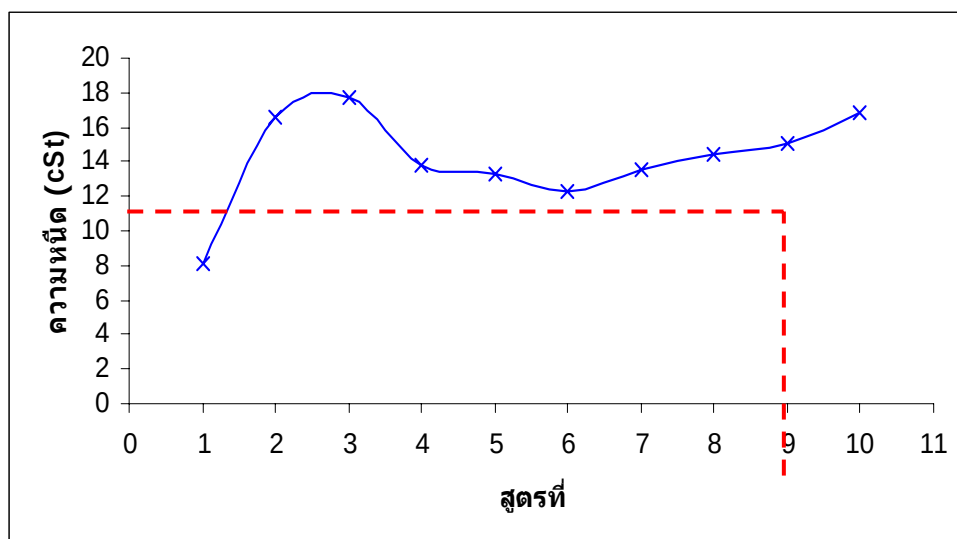
หลังจากนั้นนำน้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันปิโตรเลียม และสารเพิ่มคุณภาพ มาผสมกันตามอัตราส่วนต่างๆ เพื่อให้มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดที่เท่ากับ 15 cSt โดยมีการประมาณค่าการผสมตามส่วนผสมต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4-2 ดังนี้

ตารางที่ 4-2 ค่าความหนืดที่ 100 °C ของอัตราส่วนผสมของน้ำมันตามส่วนผสมต่างๆ

ส่วนผสมที่	อัตราส่วนผสม (wt%)			ค่าความหนืดที่ 100 °C (cSt)
	% น้ำมันปาล์ม	% น้ำมันปิโตรเลียม	% สารเพิ่มคุณภาพ	
1	45.00	55.00	0	8.08
2	41.74	51.02	7.24	16.61
3	40.91	50.00	9.09	17.72
4	55.66	37.11	7.24	13.82
5	60.30	32.47	7.24	13.24
6	64.94	27.40	7.24	12.22
7	57.90	34.30	7.80	13.60
8	52.90	39.30	7.80	14.45
9	50.60	41.60	7.80	15.04
10	41.20	51.00	7.80	16.80

จากตารางที่ 4-1 จะพบว่าน้ำมันปิโตรเลียมมีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน เมื่อนำน้ำมันปาล์ม น้ำมันปิโตรเลียม และสารเพิ่มคุณภาพมาผสมกัน แต่ละการผสมจะได้ค่าความหนืดที่ 100 °C ดังตารางที่ 4-2 ซึ่งการผสมที่ส่วนผสมที่ 1 จะเป็นการผสมที่ให้น้ำมันปิโตรเลียมมีปริมาณมากกว่าน้ำมันปาล์ม และไม่ได้เติมสารเพิ่มคุณภาพ จะเห็นได้ว่าค่าความหนืดที่ 100 °C มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ จึงมีการปรับอัตราส่วนของน้ำมันในส่วนผสมที่ 2 โดยลดปริมาณน้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันปิโตรเลียมลง แล้วเติมสารเพิ่มคุณภาพ จากนั้นนำมาทดลองหาค่าความหนืดที่ 100 °C ปรากฏว่ามีค่าความหนืดสูงกว่าค่ามาตรฐาน ส่วนผสมที่ 3 ได้ทดลองเพิ่มสารเพิ่มคุณภาพ พบว่าค่าความหนืดที่ 100 °C สูงกว่ามาตรฐาน SAE 40 แสดงว่าหากเติมสารเพิ่มคุณภาพมาก ความหนืดก็ยิ่งสูง แต่เนื่องจากสารเพิ่มคุณภาพมีราคาแพง จึงลดปริมาณสารเพิ่มคุณภาพในส่วนผสมที่ 4-6 ให้เหลือเพียง 7.24% แล้วปรับเพิ่มปริมาณน้ำมันปาล์ม และลดปริมาณน้ำมันปิโตรเลียม เพื่อดูผลค่าความหนืด ซึ่งผลจากการปรับส่วนผสมทำให้ทราบว่า เมื่อปรับเพิ่มปริมาณน้ำมันปาล์มโอเลอิน ลดปริมาณน้ำมันปิโตรเลียมแล้ว ทำให้ค่าความหนืดมีค่าต่ำลง แสดงว่าค่าความหนืดแปรผันตามปริมาณน้ำมันปิโตรเลียม จากนั้นได้ปรับลดปริมาณน้ำมันปาล์มโอเลอินลง และเพิ่มปริมาณน้ำมันปิโตรเลียม และเติมสารเพิ่มคุณภาพเป็น 7.80 %wt ในส่วนผสมที่ 7-10 ภาพที่ 4-1 แสดงค่าความหนืดที่ 100 °C จากการผสมน้ำมันส่วนผสมต่างๆ

จากภาพที่ 4-1 พบว่าที่ส่วนผสมที่ 9 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมอยู่ที่ 50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ ได้ค่าความหนืดที่ 100 °C เท่ากับ 15.04 cSt ซึ่งอยู่ระหว่างค่ามาตรฐานของ SAE 40 คือ 12.5 – 16.3 cSt และเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป ดังแสดงในภาพที่ 4-1 ดังนั้นส่วนผสมที่ 9 นี้จึงเป็นส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้



ภาพที่ 4-1 ค่าความหนืดที่ 100 °C จากการผสมน้ำมันส่วนผสมต่างๆ

ความหนืดถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของน้ำมันหล่อลื่น เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างผิวสัมผัส และมีผลต่อการเกิดความร้อนขึ้นในระหว่างผิวสัมผัสที่มีการหล่อลื่นด้วยน้ำมัน

ความหนืดหมายถึง ความข้นหรือความใสของน้ำมัน เป็นคุณสมบัติของของไหลซึ่งวัดในรูปของความต้านทานการไหล ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะไม่คงที่ แต่จะแปรผันตามสภาวะการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จะแปรผันกับอุณหภูมิ และความดันในการใช้งาน

ในด้านอุณหภูมิ ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำมัน ซึ่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ของเหลวจะขยายตัว โมเลกุลของน้ำมันจะเคลื่อนออกจากกัน ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลง และเป็นผลทำให้ความหนืดลดลงด้วย

ในด้านความดัน เมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้นมาก ความดันของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้น โมเลกุลของน้ำมันจะถูกบีบให้เข้าใกล้กัน ทำให้แรงยึดติดระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น และเป็นผลให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาที่ค่าดัชนีความหนืด ซึ่งนำค่าความหนืดที่ 40 °C และ 100 °C มาใช้คำนวณหาตัวสมการที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 จากการทดสอบจะพบว่า น้ำมันปาล์มมีค่าดัชนีความหนืดสูงกว่าน้ำมันปิโตรเลียม นั่นคือ น้ำมันปาล์มมีค่าดัชนีความหนืดอยู่ที่ 187 ในขณะที่น้ำมันปิโตรเลียมอยู่ที่ 96.15 จากการทดสอบจึงทำให้ทราบว่า เมื่อพิจารณาจากค่าดัชนีความหนืด น้ำมันปาล์มเหมาะที่จะนำมาพัฒนาเป็นน้ำมันหล่อลื่น และเมื่อนำน้ำมันผสมส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% ปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) มาทดสอบค่าดัชนี

ความหนืด พบว่ามีค่าถึง 140 ถือได้ว่ามีค่าสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ ที่วางขายตามท้องตลาดโดยทั่วไป เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปาล์มมีค่ามากกว่าของน้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันปาล์มจึงมีค่าดัชนีความหนืดสูงกว่าน้ำมันปิโตรเลียม [51] เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน น้ำมันที่มีดัชนีความหนืดสูงจะเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยเมื่ออุณหภูมิการใช้งานเปลี่ยนไป ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันที่มีดัชนีความหนืดต่ำในขณะที่อุณหภูมิต่ำ น้ำมันมักมีความหนืดสูง ขณะที่ชิ้นส่วนเครื่องจักรเคลื่อนไหวจนอุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดของน้ำมันกลับลดต่ำลง ทำให้เครื่องจักรสึกหรอ

การเพิ่มหรือลดลงของค่าของดัชนีความหนืด ส่วนมากจะมีเหตุเนื่องมาจากการปนเปื้อนของน้ำมันชนิดอื่น นอกจากนี้ค่าดัชนีความหนืดอาจลดลง เนื่องจากแรงเฉือนที่ไปทำให้โครงสร้างของโมเลกุลของสารเพิ่มคุณภาพที่ผสมอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นบางชนิด แตกสลายลงในบางครั้ง ค่าดัชนีความหนืดก็อาจเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำมันเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ

4.2 การทดสอบหาจุดวาบไฟ

จากการทดสอบค่าความหนืด พบว่าน้ำมันส่วนผสมที่ 9 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน SAE 40 จึงหันมาพิจารณาส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) เป็นส่วนผสมในการผสมน้ำมันเพื่อที่จะใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่น เมื่อพิจารณาที่ค่าจุดวาบไฟ [32] พบว่า น้ำมันปาล์มมีจุดวาบไฟสูงใกล้เคียงกับน้ำมันปิโตรเลียม เนื่องจากน้ำมันเหล่านี้มีการยึดเกาะกันของโมเลกุลอย่างหนาแน่น และเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลต่างๆ ที่รุนแรงด้วยนั่นเอง จึงทำให้น้ำมันส่วนผสมที่ 9 มีค่าลดต่ำกว่าน้ำมันปาล์มและน้ำมันปิโตรเลียม อาจมีผลมาจากสารเพิ่มคุณภาพที่เติมลงไปผสม เนื่องจากสารเพิ่มคุณภาพบางตัวไปทำให้โมเลกุลของน้ำมันแยกตัวจากกัน แต่อย่างไรก็ตาม น้ำมันส่วนผสมที่ 9 ก็ยังมีค่าจุดวาบไฟมากกว่าที่วางขายตามท้องตลาดโดยทั่วไป ดังตารางที่ 4-3 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน SAE 40 ที่กำหนดว่าค่าจุดวาบไฟจะต้องมากกว่า 199 °C

ตารางที่ 4-3 ค่าจุดวาบไฟ ของน้ำมันหล่อลื่นในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนน้ำมัน	จุดวาบไฟ (°C)
น้ำมันปาล์ม 100%	304
น้ำมันปิโตรเลียม 100%	302
น้ำมันส่วนผสมที่ 9	278
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	256

4.3 การทดสอบหาคราบเกลือของกรดกำมะถันจากน้ำมันหล่อลื่น และสารเพิ่มคุณภาพ

คราบเกลือจากกรดกำมะถันเกิดจากการเผาไหม้กำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิง และน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์ จากในตารางที่ 4-4 ตามมาตรฐาน ASTM D 874 พบว่าน้ำมันปาล์มมีคราบเกลือของกรดกำมะถันต่ำมาก ส่วนน้ำมันผสมส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) มีค่าคราบเกลือของกรดกำมะถันสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากสารเพิ่มคุณภาพมีส่วนผสมของซัลเฟอร์ จึงทำให้มีค่าคราบเกลือของกรดกำมะถันสูงซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของคอลคลู (Colclough) [52] ที่กล่าวว่าสารเพิ่มคุณภาพหลักที่เติมในน้ำมันหล่อลื่นมีสารซิงค์ไดไธโอฟอสเฟต (Zinc dithiophosphates, ZDDP) ซึ่ง ZDDP เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างน้ำมันและสารเพิ่มคุณภาพตัวอื่นๆ น้ำมันที่มีคราบเกลือของกรดกำมะถันสูงจะมีผลต่อการแพร่ของขนาดของอนุภาคของก๊าซ มาตรฐาน JASO T903 กำหนดไว้ว่าสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะคราบเกลือจากกรดกำมะถันจะต้อง ไม่เกิน 1.2 %wt จากการทดสอบ พบว่าน้ำมันผสมส่วนผสมที่ 9 มีค่าเท่ากับ 1.1 %wt ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำมันที่วางขายตามท้องตลาดซึ่งอยู่ที่ 0.99 %wt ดังแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 การหาคราบเกลือของกรดกำมะถันจากน้ำมันหล่อลื่น และสารเพิ่มคุณภาพ

อัตราส่วนน้ำมัน	คราบเกลือของกรดกำมะถัน (%wt)
น้ำมันปาล์ม 100%	0.007
น้ำมันส่วนผสมที่ 9	1.10
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	0.99

ส่วนประกอบที่เป็นสารเพิ่มคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นอย่างหนึ่งคือ ค่าความเป็นด่าง (Alkaline) มีไว้เพื่อทำลายกรดกำมะถันที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ กรดกำมะถันนี้เกิดมาจากปริมาณกำมะถันที่ปนอยู่กับน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อถูกเผาไหม้กำมะถันจะรวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นกำมะถันออกไซด์เมื่อเกิดความชื้นหรือน้ำขึ้น รวมตัวกับกำมะถันออกไซด์กลายเป็นกรดกำมะถันซึ่งมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนโลหะ

4.4 การทดสอบหาปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอ ของน้ำมันหล่อลื่น

การสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอ เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของน้ำมันหล่อลื่นเมื่อน้ำมันถูกความร้อนโมเลกุลที่เบาที่จะลอยขึ้นเหลือแต่ส่วนที่เป็นโมเลกุลหนัก ซึ่งขณะที่น้ำมันหล่อลื่นถูกใช้ระบายความร้อนให้แก่เครื่องยนต์ ก็จะมีบางส่วนระเหยไป ดังตารางที่ 4-5 พบว่า ปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอของน้ำมันผสมส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) มีค่าน้อยกว่าน้ำมันหล่อลื่น

ที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป แสดงว่า ขนาดของโมเลกุลน้ำมันที่ผสมมีค่าสม่ำเสมอ อันส่งผลให้น้ำมันที่ผสมได้ระเหยเข้าสู่บรรยากาศน้อยกว่าน้ำมันที่วางขายตามท้องตลาด [53] ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศน้อยกว่า ซึ่งตามมาตรฐาน JASO T 903 กำหนดไว้ว่าสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ ค่าการระเหยกลายเป็นไอจะต้องไม่เกิน 20%wt ซึ่งน้ำมันส่วนผสมที่ 9 มีอัตราการระเหยกลายเป็นไออยู่ที่ 2.64 %wt นั้นน้อยมากเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน และเมื่อใช้กับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะไปนานๆ จากตารางข้างต้นทำให้พบว่าจะมีการเติมน้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาดทั่วไปมากกว่าน้ำมันผสมส่วนผสมที่ 9

ตารางที่ 4-5 การหาปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอ ของน้ำมันหล่อลื่น

อัตราส่วนน้ำมัน	ปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอ (%wt)
น้ำมันส่วนผสมที่ 9	2.64
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	3.07

4.5 การทดสอบหาลักษณะแนวโน้มในการเกิดฟองในน้ำมันหล่อลื่น

ฟองในน้ำมันหล่อลื่นเกิดจากการมีส่วนประกอบของน้ำเข้าไปในน้ำมันฐาน หรืออยู่ในสารเพิ่มคุณภาพ ดังตารางที่ 4-6 การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 892 จะเห็นได้ว่า น้ำมันผสมส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) จะมีลักษณะแนวโน้มในการเกิดฟองสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดมาก เพราะว่ามีน้ำที่อยู่ในน้ำมันหรือสารเคมีบางชนิดในส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดฟอง อีกหนึ่งสาเหตุสำคัญก็คือ สารต่อต้านการเกิดฟองที่เป็นส่วนผสมในสารเพิ่มคุณภาพนั้น เหมาะสำหรับน้ำมันปิโตรเลียมแต่ไม่เหมาะสมสำหรับน้ำมันจากพืช จึงควรจะหาสารเพิ่มคุณภาพตัวใหม่ ที่ช่วยต่อต้านการเกิดฟองสำหรับน้ำมันพืชโดยเฉพาะ แล้วนำมาผสมกับน้ำมันพืช เพื่อให้ลดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน อันจะส่งปัญหาต่อการไหลผ่านของน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์

ตารางที่ 4-6 การทดสอบหาลักษณะแนวโน้มในการเกิดฟองในน้ำมันหล่อลื่น

อัตราส่วนน้ำมัน	ค่าการทดสอบหาลักษณะแนวโน้มในการเกิดฟอง (mL/mL)		
	ตอนที่ 1	ตอนที่ 2	ตอนที่ 3
น้ำมันปาล์ม 100%	210/0	(N/A)/0	60/0
น้ำมันส่วนผสมที่ 9	490/310	300/(N/A)	190/10
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	20/5	240/0	10/0

4.6 การทดสอบหาพฤติกรรมการต่อต้านการสึกกร่อน ของน้ำมันหล่อลื่นแบบลูกบอล

4 ลูก

การทดสอบหาพฤติกรรมการต่อต้านการสึกกร่อน ของน้ำมันหล่อลื่นแบบลูกบอล 4 ลูก โดยวัดค่าการสึกกร่อนของลูกบอลทั้งสี่ลูก โดยเครื่องทำงานที่ 75°C มีแรงกระทำคงที่เท่ากับ 40 kgf มีอัตราเร็วการหมุนของลูกบอลอยู่ที่ 1200 rpm ในเวลา 60 นาที โดยลูกบอลแต่ละลูก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 12.7 มิลลิเมตร นำค่าการสึกหรอของลูกบอลแต่ละลูกออกมาหาค่าเฉลี่ย [36] ดังในตารางที่ 4-7 พบว่าน้ำมันปาล์มมีค่าการสึกกร่อนเท่ากับ 0.58 มิลลิเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดโดยทั่วไปซึ่งมีค่าการสึกกร่อนอยู่ที่ 0.60 มิลลิเมตร เมื่อนำน้ำมันปาล์มไปผสมกลายเป็นน้ำมันผสมส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) พบว่ามีค่าการสึกกร่อนลดลงเหลือเพียง 0.34 มิลลิเมตร แสดงว่าน้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติในการจับผิวโลหะได้ดี และยังได้รับสารเพิ่มคุณภาพ ก็สามารถเคลือบผิวโลหะได้หนาขึ้น จึงสามารถป้องกันการสึกกร่อนได้ดีกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป เนื่องจากข้อโมเลกุลซึ่งมีอยู่ในโครงสร้างของตัวน้ำมันมีส่วนช่วยให้เกิดปฏิกิริยาในการลดการสึกหรอ รวมไปถึงตัวแอดดีแวลวก็เช่นกัน ที่จะช่วยเคลือบพื้นผิวส่วนที่เป็นโลหะในกระบวนการนี้ จะช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี

ตารางที่ 4-7 การทดสอบหาพฤติกรรมการต่อต้านการสึกกร่อน ของน้ำมันหล่อลื่นแบบลูกบอล

4 ลูก

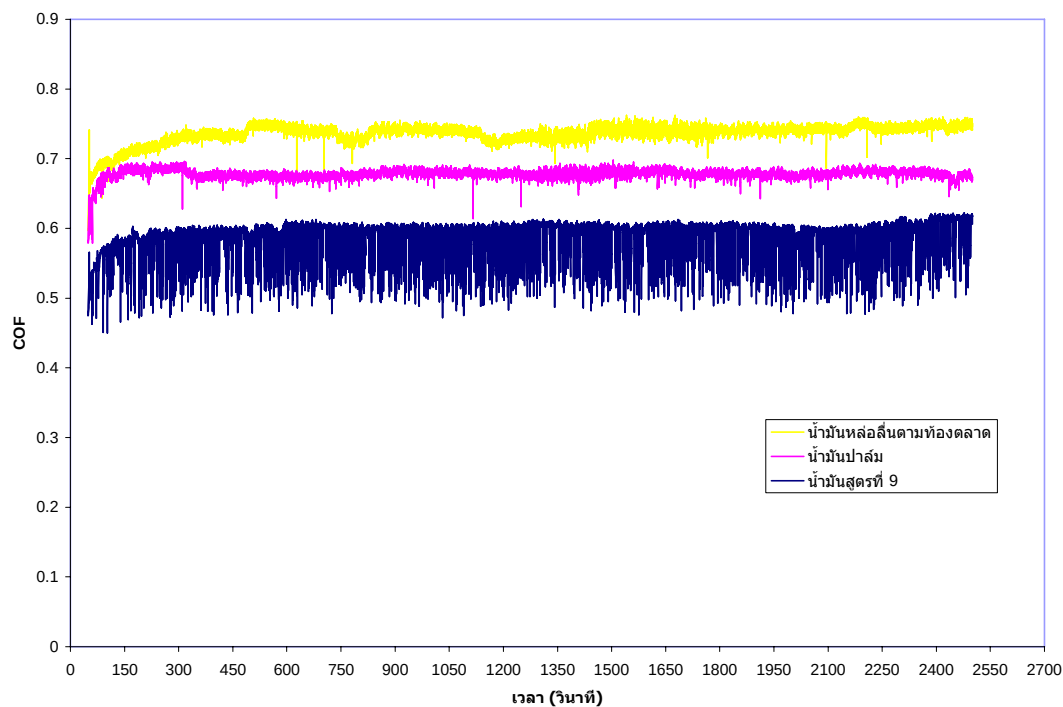
อัตราส่วนน้ำมัน	ค่าการสึกกร่อน (mm)
น้ำมันปาล์ม 100%	0.58
น้ำมันส่วนผสมที่ 9	0.34
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	0.60

4.7 การทดสอบหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอ

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอ (COF) [48] โดยให้ลูกบอล กดลงบนผิวลูกสูบซึ่งเป็นชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ ความเร็วรอบในการขัดสีอยู่ที่ 1000 rpm และใช้แรงกดที่ 50 นิวตัน ใช้น้ำมันเคลือบผิวชิ้นงานตรงบริเวณที่จะมีการขัดสี ด้วยปริมาณ 150 ไมโครลิตร ตามมาตรฐาน ASTM G 133-95 พบว่าสำหรับค่า COF ยังมีค่าน้อย แสดงว่าสามารถทนต่อการสึกกร่อนสูง ทนต่อแรงขัดสีได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบหาพฤติกรรม การต่อต้านการสึกกร่อน ของน้ำมันหล่อลื่นแบบลูกบอล 4 ลูก นั่นคือ น้ำมันผสมส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) มีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอน้อยที่สุด แสดงว่าเคลือบผิวชิ้นงานได้ดีที่สุด รองลงมาคือน้ำมันปาล์ม และสุดท้ายคือน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาด ดังในตารางที่ 4-8 และภาพที่ 4-2

ตารางที่ 4-8 การทดสอบหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอ

อัตราส่วนน้ำมัน	COF
น้ำมันปาล์ม 100%	0.68
น้ำมันส่วนผสมที่ 9	0.60
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	0.73



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอ กับเวลาของน้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมต่างๆ

4.8 การทดสอบหาลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ความดันสูงสุดของน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จะเกิดเป็นสารประเภทกรดและคราบยางเหนียว ปฏิกิริยานี้จะเกิดได้เร็วถ้าอุณหภูมิสูง น้ำมันหล่อลื่นจะเสื่อมสภาพเกิดความเป็นกรด ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ถ้าความเป็นกรดมีสูง จะทำให้น้ำมันเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เกิดยางเหนียวเกาะตามร่องรูทางผ่านของน้ำมันหล่อลื่น และในที่สุดอาจเกิดการกัดกร่อนเนื้อโลหะในเครื่องจักร จากตารางที่ 4-9 พบว่าน้ำมันปาล์มมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงสุด ดังจะเห็นได้ว่า เมื่อนำน้ำมันปาล์มกลับมาหาค่าความหนืดใหม่อีกครั้ง จะพบว่ามีความหนืดมากขึ้น เพราะมีออกซิเจนเข้าไปเกาะอยู่ในพันธะโมเลกุลของน้ำมันปาล์ม สำหรับน้ำมันส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) มีค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืด

น้อยกว่าน้ำมันปาล์ม เนื่องจากโมเลกุลของสารเพิ่มคุณภาพบางตัวไปทำปฏิกิริยากับออกซิเดชันก่อนจำนวนหนึ่ง แล้วออกซิเจนที่เหลือจึงไปจับกับโมเลกุลของน้ำมันปาล์มกับน้ำมันปิโตรเลียม และน้ำมันส่วนผสมที่ 9 มีเปอร์เซ็นต์ความหนืดเปลี่ยนไปมากกว่าน้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด แสดงว่า สารเคมีที่เป็นตัวป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารเพิ่มคุณภาพไม่เหมาะกับน้ำมันจากพืช

ตารางที่ 4-9 การทดสอบหาลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ความดันสูงสุดของน้ำมันหล่อลื่น

อัตราส่วนน้ำมัน	ความหนืดก่อนการเติมอากาศ	ความหนืดหลังการเติมอากาศ	% ความหนืดที่เปลี่ยนไป
น้ำมันปาล์ม	11.5	15.57	35.39
น้ำมันส่วนผสมที่ 9	17.83	19.69	10.43
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	18.31	19.3	5.40

4.9 การทดสอบการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นกับเครื่องยนต์สี่จังหวะ

การทดสอบการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นกับเครื่องยนต์สี่จังหวะ ทดสอบโดยใช้เครื่องยนต์รถจักรยานยนต์สี่จังหวะ ยี่ห้อฮอนด้า รุ่น เวฟ 125 ซีซี โดยให้วิ่งบนลูกลิ้งด้วยอัตราเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นระยะทาง 300 กิโลเมตร โดยใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นเบนซิน 91 จากบริษัทปตท. จำกัด (มหาชน) ดังภาพที่ ข-17 ในภาคผนวก ข โดยก่อนติดเครื่องยนต์จะทำเครื่องหมายระดับปริมาณน้ำมันที่อยู่เต็มถึงน้ำมัน เมื่อทดลองเสร็จทุก 100 กิโลเมตร จะหยุดพักเครื่องให้เครื่องเย็นแล้วเติมน้ำมันเชื้อเพลิงให้ถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้ในถังเชื้อเพลิง จะทำให้ทราบถึงปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ไป ดังแสดงในตารางที่ 4-10 จากการทดลองจะเห็นว่าน้ำมันส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าการใช้น้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตตามท้องตลาด เนื่องจากน้ำมันส่วนผสมที่ 9 มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำกว่าน้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด จึงทำให้ใช้แรงในการเคลื่อนที่ลูกสูบไป-มา น้อยกว่าน้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด ส่งผลให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการ เผาไหม้น้อยกว่า แสดงว่าน้ำมันมีคุณสมบัติช่วยประหยัดพลังงาน เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีสภาพทนทานต่อการเสียดสี ทนทานต่ออุณหภูมิสูง เมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) จะทำให้ได้ระยะทางในการเดินทางมากกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ขายตามท้องตลาด โดยทั่วไปถึง 6 กิโลเมตรเมื่อเติมน้ำมันที่ 1 ลิตรเท่ากัน ซึ่งแตกต่างกันถึง 7.32 % อีกทั้งมีข้อมูลจากการทดสอบหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอพบว่าน้ำมันปาล์มมีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอ ตามมาตรฐาน ASTM G 133-95 ต่ำกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดโดยทั่วไป หากนำไปใช้กับชิ้นส่วนเฟือง เกียร์ ก็จะทำให้ช่วยลดอุณหภูมิ

ในห้องเกียร์ลงได้ เป็นผลทำให้ลูกสูบใช้แรงในการเคลื่อนที่ไปกลับน้อยมีประสิทธิภาพในการทำงานอย่างเต็มที่ [3] ทำให้เชื้อเพลิงที่ใช้ในการจุดระเบิดในลูกสูบน้อย จึงสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาด ดังในตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นต่างๆ

อัตราส่วนน้ำมัน	ระยะทางที่วิ่ง (km)	ความเร็วที่ใช้ (km/hr)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (liter)	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (km/liter)
น้ำมันส่วนผสมที่ 9				
ครั้งที่ 1	100	40	1.145	87.34
ครั้งที่ 2	100	40	1.000	100
ครั้งที่ 3	100	40	1.264	79.11
รวม	300		3.409	
เฉลี่ย				88
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด				
ครั้งที่ 1	100	40	1.234	81.04
ครั้งที่ 2	100	40	1.05	95.28
ครั้งที่ 3	100	40	1.374	72.788
รวม	300		3.658	
เฉลี่ย				82

การทดสอบปริมาณก๊าซที่ออกมาจากท่อไอเสียจากเครื่องยนต์ รถจักรยานยนต์สี่จังหวะ การทดสอบเครื่องยนต์ 4 จังหวะฮอนด้า รุ่น เวฟ 125 โดยให้เคลื่อนที่อยู่กับที่ด้วยอัตราเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แล้ววัดปริมาณก๊าซที่ออกมาจากท่อไอเสียทุก 1 นาที โดยใช้เครื่อง Testo 350- XL (Abgas-Analysegerät Flue gas analyzer) ได้ค่าเฉลี่ยของก๊าซที่ออกมาจากท่อไอเสียดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 ปริมาณก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์

น้ำมันหล่อลื่น	[%] O ₂	CO (ppm)	CO ₂ (%)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	NO _x (ppm)
น้ำมันหล่อลื่นส่วนผสม 9	12.62	7721.23	7.33	27.27	0.03	27.31
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	12.56	7910.48	7.46	27.80	1.05	28.91

จากตารางที่ 4-11 จะพบว่า ปริมาณก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์เมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) เทียบกับน้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาดแล้ว น้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 ปล่อยออกซิเจนและ

ควันทันปิซออกมามาไกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Blandine (2546) [42] ซึ่งกล่าวว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตจากน้ำมันปิซ ต่างก็มีลักษณะทางเทคนิคที่เหมือนกับน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากแร่ธาตุ

การที่ NO_2 ของน้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 มีค่าน้อยกว่าของน้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด แสดงว่าน้ำมันส่วนผสมที่ 9 มีการแตกตัวและการรวมตัวของ NO_2 ดีกว่าน้ำมันหล่อลื่นทั่วไป ดังสมการที่ (4-1) [54]



ไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟโดยทั่วไปประกอบด้วยสารที่ถือว่าเป็นมลพิษ คือ ออกไซด์ของไนโตรเจน ได้แก่ NO_x ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไนตริกออกไซด์ (NO) และมีไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) อยู่ในปริมาณเล็กน้อย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้หรือเผาไหม้ไปบางส่วน (HC) โดยปริมาณสัมพัทธ์ของมลพิษแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับ การออกแบบเครื่องยนต์ และสภาวะการทำงาน แต่โดยทั่วไปก็จะอยู่ในระดับต่อไปนี้ ค่า NO_x อยู่ในช่วง 500 ppm ถึง 1000 ppm หรือ 20 g/kg fuel ค่า CO อยู่ในช่วงร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 2 หรือ 200 g/kg fuel และค่า HC ประมาณ 3000 ppm หรือ 25 g/kg fuel [55]

นอกจากมลพิษที่ออกมากับไอเสียแล้ว การรั่วของก๊าซผ่านลูกสูบและการระเหยของเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศโดยผ่านทางรูระบายในถังเชื้อเพลิง และคาร์บูเรเตอร์ยังเป็นแหล่งของไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้อีกด้วย แต่ในปัจจุบันได้มีการควบคุมแหล่งมลพิษที่ไม่ได้ออกมากับไอเสียได้อย่างเป็นผล

กลไกที่ทำให้เกิดมลพิษในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟเกิดขึ้นในแต่ละช่วงของวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ คือ ช่วงการอัด การเผาไหม้ การขยายตัว และการคาย ซึ่งกลไกการเกิดมลพิษแต่ละชนิดนั้น เกิดขึ้นได้ดังนี้

ไนตริกออกไซด์เกิดขึ้นในก๊าซที่เผาไหม้แล้ว ซึ่งมีอุณหภูมิสูงที่อยู่ข้างหลังเปลวไฟ โดยปฏิกิริยาเคมีของไนโตรเจนและออกซิเจน ซึ่งไม่อยู่ในสภาวะสมดุลเคมี อัตราการเกิด NO จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของก๊าซที่เผาไหม้แล้วสูงขึ้น เมื่อก๊าซที่เผาไหม้แล้วเย็นลงในจังหวะขยายตัว ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับ NO ก็จะหยุดและเหลือความเข้มข้นของ NO ไว้สูงกว่าระดับที่สอดคล้องกับสมดุลที่สภาวะการคาย

สำหรับคาร์บอนมอนอกไซด์นั้นจะเกิดขึ้นในระหว่างการเผาไหม้เช่นกัน โดยเกิดขึ้นเมื่อสารผสมหนา ทำให้มีออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะเผาไหม้คาร์บอนทั้งหมดในเชื้อเพลิงให้เป็น CO_2 และเกิดขึ้นในก๊าซที่เผาไหม้แล้ว ซึ่งมีอุณหภูมิสูง แม้ว่าจะเป็น การเผาไหม้สารผสมที่บางก็ตาม โดยเกิดขึ้นจากการแตกตัวของ CO_2 เป็นหลัก หลังจากนั้นในจังหวะขยายตัว กระบวนการออกซิเดชันของ CO ก็จะหยุดเมื่ออุณหภูมิของก๊าซที่เผาไหม้แล้วลดลง

ส่วนการเกิดไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้จะมาจากแหล่งต่างๆ หลายแหล่ง แหล่งแรกมาจากการไหลเข้าและออกจากชอกหรือส่วนแคบๆ ที่ต่อเข้ากับห้องเผาไหม้ ซึ่งชอกที่ใหญ่ที่สุดก็คือชอกระหว่างลูกสูบ แหวนลูกสูบ และผนังกระบอกสูบ ในช่วงการอัดและเผาไหม้ ความดันกระบอกสูบที่เพิ่มขึ้นจะดันให้ก๊าซบางส่วนในกระบอกสูบเข้าไปในชอก (ส่วนใหญ่ของก๊าซนี้จะเป็นสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศที่ยังไม่เผาไหม้) และก๊าซที่อยู่ในชอกนี้ส่วนใหญ่จะไม่ถูกเผาไหม้ในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น เนื่องจากทางเข้าของชอกเหล่านี้แคบเกินกว่าที่เปลวไฟเข้าไปได้ โดยก๊าซที่อยู่ในชอกในช่วงหลังของกระบวนการขยายตัวและในช่วงกระบวนการคาย (เมื่อความดันกระบอกสูบลดลงต่ำกว่าความดันในชอก)

แหล่งที่สองที่เป็นไปได้ก็คือผนังของห้องเผาไหม้ เมื่อเปลวไฟดับในขณะที่ไปใกล้ผนังก็จะเหลือชั้นที่ติดกับผนังซึ่งมีสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศที่ยังไม่เผาไหม้และเผาไหม้บางส่วน

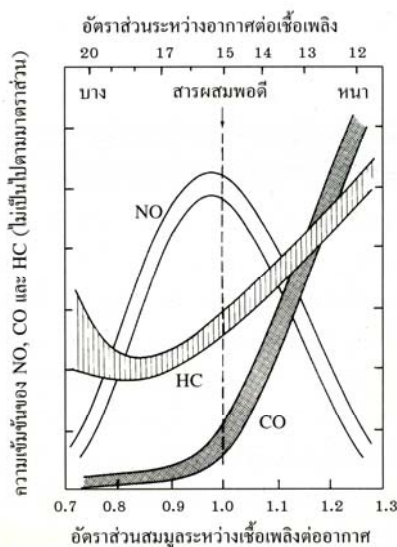
แหล่งที่สามของไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้ก็คือฟิล์มหรือชั้นบางๆ ของน้ำมันหล่อลื่น (น้ำมันเครื่อง) ที่เหลืออยู่บนผนังกระบอกสูบ ลูกสูบ และอาจเหลืออยู่บนฝาสูบด้วย ชั้นของน้ำมันหล่อลื่นเหล่านี้สามารถดูดซับและปล่อยไฮโดรคาร์บอนได้ก่อน และหลังการเผาไหม้ตามลำดับ เป็นผลให้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนที่ถูกดูดซับไว้ก่อนการเผาไหม้นั้นไม่ถูกเผาไหม้ในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น และหลังจากกระบวนการเผาไหม้ ไอเชื้อเพลิงในก๊าซที่เผาไหม้แล้วหมดไป ทำให้ไอเชื้อเพลิงที่ถูกดูดซับไว้ในชั้นของน้ำมันหล่อลื่นถูกปล่อยออกมา แม้ว่า ไอเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกมาในช่วงการขยายตัวจะผสมกับก๊าซที่เผาไหม้แล้วที่มีอุณหภูมิสูงและถูกออกซิไดส์ แต่บางส่วนที่อยู่ในชั้นขอบนอกที่เย็นหรือที่ผสมกับก๊าซที่เย็นก็จะไม่ถูกออกซิไดส์อย่างเต็มที่

แหล่งสุดท้ายของไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้ในเครื่องยนต์ จูกระเบิดด้วยประกายไฟก็คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ที่เกิดมาจากการดับของเปลวไฟก่อนที่เปลวไฟด้านหน้าทั้งหมดไปถึงผนัง ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในช่วงการเปลี่ยนแปลงการทำงานของเครื่องยนต์ คือ เมื่ออัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิง จังหวะการจูกระเบิด และส่วนของไอเสียที่นำกลับมาใช้อีก อาจไม่สอดคล้องกัน ทำให้อัตราการเผาไหม้เกิดขึ้นช้ามาก

กลไกที่ทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดข้างต้นนั้น จะเป็นผลให้ไฮโดรเจนคาร์บอนที่ใกล้กับผนังห้องเผาไหม้มีความเข้มข้นสูง ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้จะออกจากกระบอกสูบโดยถูกพาเข้าไปในการไหลของก๊าซส่วนใหญ่ในช่องไอเสียไหลออก และเมื่อลูกสูบดันก๊าซที่ถูกขูดออกจากผนังในช่วงการคาย สำหรับไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้ในระหว่างการเผาไหม้ที่เกิดจากกลไกข้างต้นจะเกิดการออกซิไดส์ขึ้นในช่วงการขยายตัวและคายตัว โดยปริมาณของการออกซิไดส์จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความเข้มข้นของออกซิเจนและเวลาในการผสมของไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้กับก๊าซส่วนใหญ่

โดยสรุปแล้วมลพิษที่ออกมาจากไอเสียของเครื่องยนต์จะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว ตัวแปรที่สำคัญอีกตัวหนึ่งก็คืออัตราส่วนสมมูลระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศ ดังภาพที่ 4-3 ซึ่งแสดงการ

เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ NO CO และ HC ในไอเสียของเครื่องยนต์ทั่วไปกับอัตราส่วนสมมูลระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศ โดยเครื่องยนต์ตามปกติจะทำงานด้วยสารผสมใกล้เคียงกับสารผสมพอดีหรือด้วยสารผสมที่หนาเล็กน้อยเพื่อให้การทำงานราบรื่นและเชื้อถือได้ ภาพที่ 4-3 แสดงว่าเมื่อสารผสมบางจะให้ปริมาณมลพิษออกมาต่ำกว่าจนกระทั่งคุณภาพของการเผาไหม้ไม่ดี (และการไม่จุดระเบิดจะเกิดขึ้นในที่สุด) คือเมื่อความเข้มข้นของ HC สูงโด่งขึ้น ซึ่งในขณะนั้นการทำงานของเครื่องยนต์ก็จะไม่ราบเรียบ นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่ารูปร่างของกราฟเหล่านี้ไม่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน ซึ่งแสดงถึงความยุ่งยากในการควบคุม



ภาพที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ HC CO และ NO ในไอเสียของเครื่องยนต์ กับอัตราส่วนสมมูลระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศ [55]

เมื่อเครื่องยนต์เย็น การกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นช้า การไหลของเชื้อเพลิงก็จะถูกเร่งขึ้นเพื่อให้ได้สารผสมหนาที่เผาไหม้ได้ง่ายในกระบอกสูบ ดังนั้นก่อนที่เครื่องยนต์จะอุ่นและก่อนมีการลดความหนาของสารผสมลง CO และ HC ที่ออกไปกับไอเสียจะมีปริมาณสูง

ในสภาวะภาระบางส่วนซึ่งสามารถใช้สารผสมบางได้ก็จะเป็นผลให้ปริมาณของ HC และ CO ที่ออกไปกับไอเสียต่ำลง (อย่างน้อยจนกระทั่งคุณภาพของการเผาไหม้ลดลง) และปริมาณของ NO ที่ออกไปก็จะไม่มากนัก (ปานกลาง) การนำเอาไอเสียกลับเข้ามาใช้อีก เพื่อเจือจางสารผสมที่นำเข้าจะช่วยลด NO ลง แต่จะทำให้คุณภาพของการเผาไหม้ลดลง ซึ่งในสภาวะที่เครื่องยนต์ให้กำลังเต็มที่ เครื่องยนต์จะต้องทำงานด้วยสารผสมค่อนข้างหนาและจะต้องไม่มีการใช้ไอเสียมาเจือจางสารผสมที่นำเข้า ในงานวิจัยชิ้นนี้ เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านอุปกรณ์วัด จึงวัดมลพิษได้เพียง O_2 CO CO_2 NO NO_2 และ NO_x โดยไม่สามารถวัด HC ได้

เพื่อตรวจสอบการสึกหรอและการกัดกร่อนของชิ้นส่วน และทำนายกลไกที่เกิดขึ้น การวิเคราะห์เศษโลหะในน้ำมันหล่อลื่นเป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ ซึ่งเศษโลหะเหล่านั้นจะมีรูปร่างแตกต่างกันตามแต่ละกลไกการสึกหรอที่เกิดขึ้น ทำให้ทราบได้ว่ากลไกเป็นแบบใด มีความรุนแรงระดับใด และอาจจะทำให้ทราบถึงสาเหตุของการสึกหรอ สิ่งแปลกปลอมที่ทำให้เกิดการสึกหรอ และแนวทางในการป้องกันและแก้ไข เพื่อชะลอกลไกการเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล สามารถจำแนกกลไกการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนเครื่องยนต์ได้ดังต่อไปนี้

การสึกหรอแบบแรกเกิดจากกลไกการสึกหรอแบบยึดติดแบบปกติ และแบบรุนแรง การสึกหรอแบบนี้เกิดขึ้นโดยปกติในขณะที่เริ่มต้นใช้งาน หรือขณะกำลังจะหยุดใช้งานชิ้นส่วนทางกลทุกครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากก่อให้เกิดรูปแบบการหล่อลื่นแบบบาวนด์รี (Boundary Lubrication Regime) ซึ่งมีผลทำให้มีโอกาสเกิดการสัมผัสตัวกันของผิวโลหะแบบหยาบในระดับจุลภาค นอกจากนี้หากมีการใช้งานที่ภาระและความเร็วรอบที่รุนแรงมากเกินไปจะทำให้มีการสูญเสียสภาวะการหล่อลื่นแบบสมบูรณ์ที่เกิดขึ้นกับร่องลื่นแบบกลิ้งตัว (Elastohydrodynamic Lubrication Regime) ซึ่งเศษโลหะที่ได้จะมีขนาดโตกว่า 50 ไมครอนและมีลักษณะผิวหน้าที่มีร่องรอยการขูดขีดรวมถึงมีลักษณะเป็นแผ่นแนวยาว (Striation and Elongated Wear Particles) และในบางส่วนของเศษโลหะที่เกิดการยึดติดจะมีลักษณะเป็นเศษโลหะที่มีผิวหน้าขรุขระ และมีสีน้ำเงินแกมม่วงหรือเป็นสีดำ ทั้งนี้เกิดจากการยึดติดอย่างรุนแรงทำให้มีการเยิ้มตัวของเนื้อโลหะและมักเกิดขึ้นในรูปแบบการหล่อลื่นแบบแห้ง (Dry Lubrication) ตัวอย่างเศษโลหะดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 4-4 (ก)

แบบที่สองเป็นกลไกการสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasive Wear) การสึกหรอแบบนี้เกิดจากการที่มีสิ่งสกปรกหรือฝุ่นละอองในน้ำมันหล่อลื่น และเมื่อสิ่งเหล่านั้นแทรกตัวเข้าไปอยู่ในระหว่างผิวหน้าหรือผิวสัมผัสของส่วนที่เป็นโลหะในเครื่องยนต์ จะทำให้เกิดเศษโลหะเป็นเส้นๆ ขนาดตั้งแต่ 40 ถึง 200 ไมครอน ดังภาพที่ 4-4 (ข)

แบบที่สามเป็นกลไกการสึกหรอแบบล้าตัว (Fatigue Wear) เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนทางกลที่มีการรับภาระเป็นวงรอบเช่น พันเฟืองและร่องลื่นแบบกลิ้งตัว กลไกการสึกหรอแบบนี้ทำให้เกิดเศษโลหะที่มีขนาดใหญ่และมีรูปทรง 3 มิติ เป็นก้อนๆ หรือมีก้อนทรงกลม (Spheres) ขนาดประมาณ 5 ถึง 10 ไมครอนปรากฏอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น ดังภาพที่ 4-4 (ค)

แบบที่สี่เป็นกลไกการสึกหรอแบบไทรโบเคมีคอลหรือ เฟรตติง (Tribocchemical or Fretting Wear) การสึกหรอแบบนี้มักเกิดขึ้นกับฟันเฟืองแบบเลื่อนไปมาในร่องเฟือง (Spline) และมักจะมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันร่วมด้วยเสมอ โดยทั่วไปเมื่อเหล็กกล้าเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้เกิดเศษเหล็กที่เป็นสนิม ในน้ำมันหล่อลื่นหากมีสนิมมักจะเป็นการเกิดสนิมจากการที่มีน้ำหรือความชื้นในตัวระบบหรือในน้ำมันหล่อลื่น แต่ในกรณีของไทรโบเคมีคอลหรือเฟรตติงนั้น จะเกิดขึ้นโดยไม่เกี่ยวข้องกับน้ำมันหล่อลื่นเลย ซึ่งการสึกหรอดังกล่าวมักจะเกิดขึ้น

ในร่องของเฟืองหรือบริเวณผิวสัมผัสภายนอกของรอกกับตัวเรือน ดังนั้นเศษเหล็กในกรณีนี้จะสังเกตได้ง่าย จากลักษณะสีของสนิมและเป็นลักษณะเฉพาะของสนิมที่เป็นแผ่นขนาด 5 ถึง 40 ไมครอน ดังภาพที่ 4-4 (ง)

และแบบสุดท้ายเป็นกลไกการสึกกร่อน ในส่วนนี้เป็นลักษณะที่น้ำมันหล่อลื่นมีการปนเปื้อนด้วยน้ำหรือความชื้น ซึ่งลักษณะของสนิมที่เกิดขึ้นก็ไม่แตกต่างไปจากกลไกการสึกหรอแบบเฟรตติ้ง เพียงแต่จะพบสนิมในบริเวณที่ต่างกัน กล่าวคือ เฟรตติ้งจะพบสนิมที่บริเวณผิวชิ้นงานโลหะ แต่การสึกกร่อนจะพบสนิมปะปนอยู่กับน้ำมันหล่อลื่น



(ก) แบบการยึดติด



(ข) แบบการขูดขีด



(ค) แบบการล้าตัว



(ง) แบบไทโรโบเคมีคอล (เฟรตติ้ง)

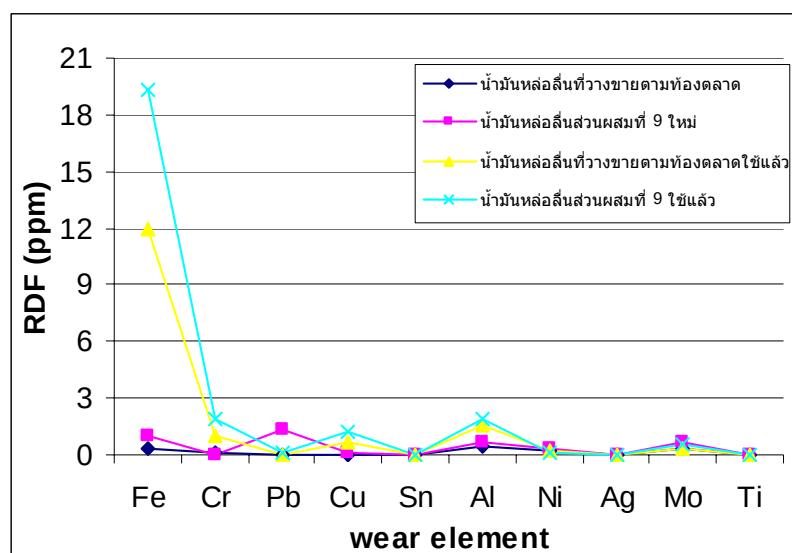
ภาพที่ 4-4 ลักษณะโดยทั่วไปของเศษโลหะจากการสึกหรอ [10]

การตรวจหาปริมาณของอนุภาคเศษโลหะตามมาตรฐาน ASTM D 6595 สามารถตรวจสอบขนาดของอนุภาคได้ 2 แบบคือ อนุภาคขนาดเล็กละเอียด (Rotating Disc Electrode หรือ RDE) เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะที่มีขนาดเล็กละเอียด (Fine) ซึ่งมีขนาดโดยประมาณเล็กกว่า 8 ไมครอน และ อนุภาคขนาดหยาบ (Rotating Filter Spectroscopy หรือ RFS) เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะที่มีขนาดหยาบ (Coarse) ซึ่งมีขนาดโดยประมาณ จาก 5-150 ไมครอน

ผลที่ได้จากการทดสอบการวิเคราะห์ธาตุโลหะในน้ำมันหล่อลื่น ของน้ำมันที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป และน้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) ก่อนและหลังใช้งานกับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ แสดงในตารางที่ 4-12 ถึง 4-15 และ ภาพที่ 4-5 ถึง 4-6

ตารางที่ 4-12 อนุภาคเศษโลหะสึกหรอที่มีขนาดละเอียด (Fine) ซึ่งมีขนาดโดยประมาณเล็กกว่า 8 ไมครอน ที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น

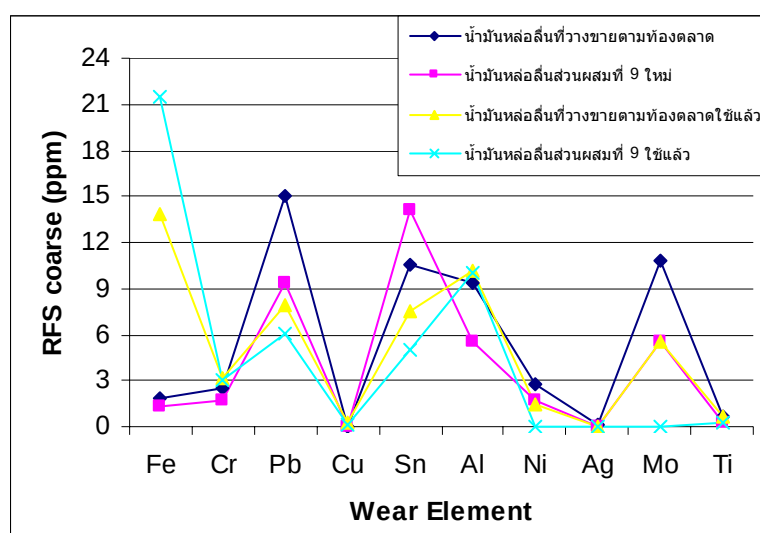
ธาตุโลหะ	น้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดใหม่ (ppm)	น้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 ใหม่ (ppm)	น้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดที่ใช้แล้ว (ppm)	น้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 ที่ใช้แล้ว (ppm)
เหล็ก (Fe)	0.3	1.0	11.9	19.3
โครเมียม (Cr)	0.1	0.0	1.0	1.9
ตะกั่ว (Pb)	0.0	1.3	0.0	0.1
ทองแดง (Cu)	0.0	0.1	0.7	1.2
ดีบุก (Sn)	0.0	0.0	0.0	0.0
อะลูมิเนียม (Al)	0.5	0.7	1.6	1.9
นิกเกิล (Ni)	0.2	0.3	0.2	0.1
เงิน (Ag)	0.0	0.0	0.0	0.0
โมลิบดีนัม (Mo)	0.3	0.7	0.3	0.6
ไทเทเนียม (Ti)	0.0	0.0	0.0	0.0



ภาพที่ 4-5 อนุภาคเศษโลหะสึกหรอที่มีขนาดละเอียด (Fine) ซึ่งมีขนาดโดยประมาณเล็กกว่า 8 ไมครอน ที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น

ตารางที่ 4-13 อนุภาคเศษโลหะสึกหรอที่มีขนาดหยาบ (Coarse) ซึ่งมีขนาดโดยประมาณ
จาก 5-150 ไมครอน ที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น

ธาตุโลหะ	น้ำมันหล่อลื่น ที่วางขายตาม ท้องตลาดใหม่ (ppm)	น้ำมันหล่อลื่น ส่วนผสมที่ 9 ใหม่ (ppm)	น้ำมันหล่อลื่น ที่วางขายตามท้องตลาด ที่ใช้แล้ว (ppm)	น้ำมันหล่อลื่น ส่วนผสมที่ 9 ที่ใช้แล้ว (ppm)
เหล็ก (Fe)	1.9	1.3	13.9	21.5
โครเมียม (Cr)	2.5	1.7	3.1	3.0
ตะกั่ว (Pb)	15.0	9.4	7.9	6.1
ทองแดง (Cu)	0.0	0.0	0.2	0.1
ดีบุก (Sn)	10.6	14.1	7.5	5.0
อะลูมิเนียม (Al)	9.3	5.5	10.2	10
นิกเกิล (Ni)	2.8	1.7	1.5	0.0
เงิน (Ag)	0.1	0.0	0.0	0.0
โมลิบดีนัม (Mo)	10.8	5.5	5.5	0.0
ไทเทเนียม (Ti)	0.7	0.3	0.7	0.2



ภาพที่ 4-6 อนุภาคเศษโลหะสึกหรอที่มีขนาดหยาบ (Coarse) ซึ่งมีขนาดโดยประมาณ
จาก 5-150 ไมครอน

ตารางที่ 4-14 อนุภาคสิ่งสกปรกปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น

ธาตุโลหะ	น้ำมันหล่อลื่น ที่วางขายตาม ท้องตลาดใหม่ (ppm)	น้ำมันหล่อลื่น ส่วนผสมที่ 9 ใหม่ (ppm)	น้ำมันหล่อลื่น ที่วางขายตามท้องตลาด ที่ใช้แล้ว (ppm)	น้ำมันหล่อลื่น ส่วนผสมที่ 9 ที่ใช้แล้ว (ppm)
น้ำ(%wt)	0.101	0.152	0.073	0.110
เชื้อเพลิง (%wt)	0.930	0.400	0.750	0.490
ไกลคอล (Abs)	0.000	0.000	0.000	0.000
เขม่า (%wt)	0.000	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 4-15 ธาตุโลหะของสารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันหล่อลื่น

ธาตุโลหะ	น้ำมันหล่อลื่น ที่วางขายตาม ท้องตลาดใหม่ (ppm)	น้ำมันหล่อลื่น ส่วนผสมที่ 9 ใหม่ (ppm)	น้ำมันหล่อลื่น ที่วางขายตามท้องตลาด ที่ใช้แล้ว (ppm)	น้ำมันหล่อลื่น ส่วนผสมที่ 9 ที่ใช้แล้ว (ppm)
โบรอน (B)	174	207	177	158
โซเดียม (Mg)	8	9	10	11
แคลเซียม (Ca)	1759	1770	1954	1951
แบเรียม (Ba)	0	0	0	7
ฟอสฟอรัส (P)	875	1196	966	1189
สังกะสีแบบ ละเอียด (Zn)	1031	1425	1155	1321
สังกะสีแบบ หยาบ (Zn)	144	249	162	181

โลหะหรือธาตุที่เกิดจากการสึกหรอ (Wear Metals) ยกตัวอย่างเช่น อะลูมิเนียม เหล็ก และทองแดง การที่มีค่าอะลูมิเนียมสูง หรือมีค่าเกิน 75 ppm แสดงให้ทราบว่ามีการสึกหรอของลูกสูบมาก ซึ่งปกติจะมีค่าประมาณ 20 ppm [7] จากตารางที่ 4-12 และ 4-13 อนุภาคเศษอะลูมิเนียมที่มีขนาดละเอียดและหยาบของน้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 ที่ผ่านการใช้งานแล้ว 300 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 1.9 และ 10.0 ppm ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไปที่ใช้แล้วเท่ากับ 1.6 และ 10.2 ppm ตามลำดับและไม่เกินค่ามาตรฐาน สำหรับค่ามาตรฐานของธาตุเหล็กจะต้องไม่เกิน 600 ppm ซึ่งอนุภาคเศษเหล็กที่มีขนาดละเอียดและหยาบของน้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 ที่ผ่านการใช้งานแล้ว 300 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 19.3 และ 21.5 ppm ตามลำดับ ซึ่งค่าใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไปที่ใช้แล้วเท่ากับ 11.9 และ 13.9 ppm ตามลำดับและไม่เกินค่ามาตรฐาน ในระดับการทำงานปกตินั้นปริมาณเหล็กอาจจะมีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมากเช่นกัน ในกรณีที่พบปริมาณของทองแดงมีค่าสูงๆ แสดงให้ทราบว่ามีการสึกหรอของแบร้งที่มีส่วนผสมของทองแดง

หรือตะกั่ว ซึ่งจะต้องไม่เกิน 75 ppm โดยอนุภาคเศษทองแดงที่มีขนาดละเอียดและหยาบของ น้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 ที่ผ่านการใช้งานแล้ว 300 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 1.2 และ 0.1 ppm ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไปที่ใช้แล้วเท่ากับ 0.7 และ 0.2 ppm ตามลำดับ ในกรณีทั่วๆ ไป ปริมาณของทองแดงอาจจะมีค่าประมาณ 50 ppm [7] หากอนุภาคเศษโลหะมีขนาดใหญ่ จะส่งผลให้เกิดการขัดสีแบบขูดขีดเป็นร่องอย่างรุนแรงใน ชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว ควรทำการเปลี่ยนไส้กรอง และน้ำมันหล่อลื่นโดยทันที

การปนเปื้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงบางส่วนที่รั่วออกมาผสมกับน้ำมันหล่อลื่น จะก่อให้เกิด น้ำในน้ำมันหล่อลื่นและอาจจะทำให้ไม่สามารถเห็นถึงสิ่งสกปรกที่เป็นของแข็ง จากการศึกษา โดย สุรพล [7] พบว่า ปริมาณที่ยอมรับได้ของน้ำในน้ำมันหล่อลื่นจะต้องไม่เกิน 0.3% (3000 ppm) โดยปริมาตร จากตารางที่ 4-14 พบว่า ปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 ที่ผ่านการใช้งานแล้ว 300 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 0.110 %wt มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่น ที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไปที่ใช้แล้วเท่ากับ 0.073 %wt การทำงานของรถจักรยานยนต์ ในลักษณะเดินและหยุด จะทำให้มีโอกาสเกิดน้ำขึ้นในระบบได้สูง นอกจากนี้ในขณะที่การใช้ เครื่องยนต์ที่อุณหภูมิสูงหรือใช้งานอย่างต่อเนื่องจะทำให้มีน้ำในระบบน้อยลง เนื่องจากการ เฝ้าไหม้ในเครื่องยนต์ จึงทำให้น้ำระเหยออกไป ปริมาณไกลคอล (glycol) ซึ่งเป็นองค์ประกอบ ของน้ำหล่อเย็นหากเกิดขึ้น แสดงว่ามีการรั่วของน้ำหล่อเย็นเข้ามาผสมกับน้ำมันหล่อลื่น จะทำให้มีการเกิดขึ้นของตะกอน และคราบสิ่งสกปรกเกาะติดตามชิ้นส่วนเครื่องยนต์มากขึ้น ซึ่งการทดสอบพบว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาด และน้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 ทั้งก่อนและหลังใช้งาน ต่างก็มีค่าไกลคอล (glycol) เท่ากับ 0 Abs แสดงว่าเครื่องยนต์มีการซีลที่ดี การเจือปนของน้ำมันเชื้อเพลิงกับน้ำมันหล่อลื่นจะต้องไม่เกิน 2% โดยปริมาตร [7] ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 ที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าเท่ากับ 0.49% wt และน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไปที่ใช้แล้วเท่ากับ 0.75 %wt ถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน หากมีการเจือปนของน้ำมันเชื้อเพลิงมาก จะทำให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นลดลงอย่างรวดเร็ว เกิดการสึกหรออย่างรุนแรง เป็นสาเหตุทำให้เครื่องยนต์ชำรุดเร็ว

โลหะจากสารเพิ่มคุณภาพเช่นแบเรียม แคลเซียม สังกะสี ฟอสฟอรัส และโบรอน วิเคราะห์เพื่อยืนยันว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ถ่ายออกมากับน้ำมันหล่อลื่นที่เติมเข้าไป เป็นประเภทเดียวกัน ในกรณีของการใช้งานโดยปกตินั้น ธาตุหรือโลหะในสารเพิ่มคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น ที่ใช้แล้วที่ไม่ได้ผ่านการกรองละเอียดจะมีค่าธาตุหรือโลหะใกล้เคียงกับค่าของธาตุหรือโลหะใหม่ เนื่องจากการสูญเสียไปของน้ำมันหล่อลื่นจะถูกทำให้สมดุล โดยธาตุหรือโลหะในสารเพิ่มคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นใหม่ที่เติมเข้าไป หากพบว่าการลดลงเป็นอย่างมากของธาตุหรือโลหะใน สารเพิ่มคุณภาพในระหว่างการใช้งาน ก็อาจจะหมายถึงการเติมน้ำมันหล่อลื่นผิดประเภท

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบน้ำมันปาล์ม น้ำมันส่วนผสมที่ 9 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมอยู่ที่ 50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ และน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดโดยทั่วไป โดยเทียบจากมาตรฐานที่น้ำมันเกรด SAE 40 ได้ผลดังนี้

5.1.1 การหาค่าความหนืด และดัชนีความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพบว่าส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) ได้ค่าความหนืดที่ 100 °C เท่ากับ 15 cSt ซึ่งอยู่ระหว่าง 12.5 – 16.3 cSt ตามมาตรฐานของ SAE 40 และมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่มีขายตามตลาดทั่วไป เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความหนืด พบว่าน้ำมันส่วนผสมที่ 9 เท่ากับ 140 ซึ่งผ่านมาตรฐานทำให้ยอมรับได้ อีกทั้งยังมีค่าสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดโดยทั่วไป

5.1.2 การทดสอบหาจุดวาบไฟ พบว่า น้ำมันส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) มีจุดวาบไฟผ่านมาตรฐาน SAE 40 เนื่องจากมีค่าสูงถึง 278 ซึ่งมากกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป

5.1.3 การทดสอบหาคราบเกลือของกรดกำมะถันจากน้ำมันหล่อลื่น และสารเพิ่มคุณภาพ พบว่า น้ำมันส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) มีคราบเกลือของกรดกำมะถันผ่านมาตรฐาน เนื่องจากมีค่าเพียง 1.10 %wt ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งมีค่า 0.99 %wt โดยค่ามาตรฐานจะต้องไม่เกิน 1.2 %wt

5.1.4 การทดสอบหาปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอ ของน้ำมันหล่อลื่น พบว่า น้ำมันส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) มีปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไออยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากมีค่าเพียง 2.64 %wt ซึ่งดีกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไปมีค่า 3.07 %wt โดยค่ามาตรฐานจะต้องไม่เกิน 20 %wt

5.1.5 การทดสอบหาลักษณะแนวโน้มในการเกิดฟองในน้ำมันหล่อลื่นพบว่า น้ำมันส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) มีแนวโน้มการเกิดฟองมากกว่าค่ามาตรฐานมาก ซึ่งแสดงว่าสารเพิ่มคุณภาพที่ช่วยลดการเกิดฟองในน้ำมันปิโตรเลียมจะนำมาใช้กับน้ำมันพืชไม่ได้ เนื่องจากทำให้แนวโน้มการเกิดฟองในน้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 สูงกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาด

5.1.6 การทดสอบหาพฤติกรรมการต่อต้านการสึกกร่อน ของน้ำมันหล่อลื่นแบบลูกบอล 4 ลูก พบว่า น้ำมันส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) มีคุณสมบัติต่อต้านการสึกกร่อน เป็นฟิล์มที่หนาเมื่อไปเกาะกับโลหะชิ้นส่วนของรถจักรยานยนต์ เนื่องจากมีค่าเพียง 0.34 มิลลิเมตร ซึ่งดีกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป มีค่า 0.60 มิลลิเมตร

5.1.7 การทดสอบหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอพบว่า น้ำมันส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) มีคุณสมบัติต่อต้านการสึกกร่อน เป็นฟิล์มที่หนาเมื่อไปเกาะกับโลหะชิ้นส่วนของรถจักรยานยนต์สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอต่ำสุดคือ 0.60 ซึ่งดีกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอเป็น 0.73

5.1.8 การทดสอบหาลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ความดันสูงสุดของน้ำมันหล่อลื่น โดยวัดจากค่าความหนืดที่เปลี่ยนไปเมื่อปล่อยให้อากาศไหลผ่านน้ำมันที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 312 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดโดยทั่วไปมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยที่สุด แสดงว่าน้ำมันหล่อลื่นเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยกว่าน้ำมันส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ)

5.1.9 การทดสอบการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นกับเครื่องยนต์สี่จังหวะ พบว่า น้ำมันส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) ประหยัดเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไปถึง 6 กิโลเมตรต่อลิตร คิดเป็น 7.32 %

5.1.10 การทดสอบปริมาณก๊าซที่ออกมาจากท่อไอเสียจากเครื่องยนต์ รถจักรยานยนต์สี่จังหวะ พบว่า น้ำมันส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียม : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ) มีปริมาณก๊าซไอเสียออกมาน้อยกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป แสดงว่าเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทำให้มลภาวะเป็นพิษทางอากาศลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะทั่วไป

5.2.1 การที่ผู้คนจำนวนมากหันมานิยมใช้รถจักรยานยนต์สี่จังหวะเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดมลภาวะอากาศเป็นพิษ มีผลทำให้เสียสุขภาพ ผู้วิจัยจึงค้นคว้าหาวิธีป้องกันหาสิ่งทดแทน จึงได้ศึกษาเรื่องน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม เพราะปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจของไทยที่มีการผลิตมากเป็นอันดับหนึ่งในบรรดาพืชน้ำมันทุกชนิด น้ำมันหล่อลื่นจากปาล์มมีประโยชน์ เช่น มีระดับความเป็นพิษต่อระบบนิเวศต่ำมาก และสามารถย่อยสลายตามธรรมชาติได้ดี เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาก สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตมาจากน้ำมันปิโตรเลียมได้ ดังนั้นจึงควรหันมาให้ความสนใจปลูกปาล์มน้ำมันกันให้มากยิ่งขึ้น

5.2.2 ทดลองหาสารเพิ่มคุณภาพที่ช่วยในการลดการเกิดฟอง และลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สำหรับน้ำมันปาล์ม พัฒนาเป็นน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันพืชที่มีคุณภาพดีขึ้นต่อไป

5.2.3 ควรเพิ่มระยะทางทดสอบการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นกับเครื่องยนต์ที่จังหวะให้ขึ้น เช่น 500-1000 กิโลเมตร แล้วต้องใส่ภาระ (load) ที่เหมาะสมเพิ่มให้แก่เครื่องยนต์ แล้ววัดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ปริมาณก๊าซที่เผาไหม้ออกมา และธาตุโลหะในน้ำมันหล่อลื่นหลังการใช้งาน คาดว่าน่าจะได้ข้อมูลที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. “น้ำมันหล่อลื่นสำหรับยานยนต์.” วารสารเทคนิค เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหกรรม. 55 (2532) : 122-129.
2. อรุณรัตน์ วุฒิมงคลชัย. “น้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ.” วารสารคลื่นวิจัย. 3(5), (เมษายน-มิถุนายน 2543).
3. ชารินทร์ เพชรไพสิษฐ์. “น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์”. วารสารเครื่องจักรและอุตสาหกรรม. 2(16), (เมษายน 2539) : 86-93.
4. ประเสริฐ เทียนนิมิตร และคนอื่นๆ. **เชื้อเพลิง และสารหล่อลื่น**. กรุงเทพมหานคร : บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2526.
5. ปันดดา นรินาฬาลำพังศ์ และคนอื่นๆ. **การสีกหรือในงานอุตสาหกรรม**. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.
6. สุรชาติ ชื่นโชคสันต์. **Molub-Alloy คู่มือ: วิศวกรรมการหล่อลื่น Lubrication Engineers Manual**. มีนาคม 2528.
7. สุรพล ราษฎร์นุ้ย. **วิศวกรรมการหล่อลื่นเบื้องต้น**. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2549.
8. Rotbarn รถบ้าน อาณาจักรรถยนต์มือสอง คุณภาพมือ 1. **รถจักรยานยนต์**. [ออนไลน์] 2549 [สืบค้นวันที่ 4 พฤศจิกายน 2549]. จาก <http://www.rotbarn.com>
9. วีระวัฒน์ ศรีจิตราภิมุข. “น้ำมันหล่อลื่น.” วารสารเทคนิค เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหกรรม. (มีนาคม 2529) : 36-41.
10. วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร. “น้ำมันหล่อลื่น.” วารสารเทคนิค เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหกรรม. 160 (พฤษภาคม 2541) : 84-90.
11. เจย์ เวสเตอร์. **เครื่องยนต์เล็ก**. แปลโดย วีระยุทธ สุวรรณประทีป. กรุงเทพมหานคร : บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่นจำกัด, 2541.
12. อ่ำพล ช่อตรง และ ชาญชัย ทองประสิทธิ์. **เครื่องยนต์เล็ก และจักรยานยนต์**. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, 2543.
13. ชำรง โชตะมังสะ และ สุจิตต์ สนองคุณ. **เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น**. กรุงเทพมหานคร : เม็ดทรายพรินต์ติ้ง, 2550.
14. CMusedcar.com ศูนย์รวมรถยนต์มือสอง. **ข่าวสาววงการยานยนต์**. [ออนไลน์] 2549 [สืบค้นวันที่ 4 พฤศจิกายน 2549]. จาก <http://www.mocyc.com>

15. สมคิด ศิริพงษ์. **มอเตอร์ไซค์ (จักรยานยนต์ และสกู๊ตเตอร์) : เทคนิคการตรวจซ่อม.**
กรุงเทพมหานคร : สำนักงานหอสมุดกลาง, 2530.
16. บุญธรรม ภัทราจารกุล. **ทฤษฎีและปฏิบัติจักรยานยนต์.** กรุงเทพมหานคร : บริษัท
ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2538.
17. อ่ำพล ชี้อตรง และ ชาญชัย ทองประสิทธิ์. **งานจักรยานยนต์.** กรุงเทพมหานคร :
สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, 2545.
18. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์. **การซ่อมและบำรุงรักษา รถจักรยานยนต์.** กรุงเทพมหานคร :
บริษัทเจเนอรัลบุ๊กส์เซนเตอร์จำกัด. 2532.
19. ศรีณรงค์ ตู๋ทองคำ และคนอื่นๆ. **ปฏิบัติงานจักรยานยนต์.** กรุงเทพมหานคร :
สำนักพิมพ์เสริมวิทย์บรรณาการ, 2526.
20. อ่ำพล ชี้อตรง. **งานจักรยานยนต์ และเครื่องยนต์เล็ก.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์
ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, 2545.
21. “การผลิตน้ำมันหล่อลื่น.” **วารสารเทคนิค เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหกรรม.** 54 (2532) :
125-129.
22. สุรพล ราชภูริชัย. **การพัฒนาน้ำมันปาล์มเพื่อใช้ทดแทนสารหล่อลื่นอุตสาหกรรม.**
กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545.
23. อัมพร โฉมงาม. “การเปรียบเทียบสมบัติของสารปรับความหนืด (Viscosity Modifier).”
งานวิจัยและพัฒนา. (2543) : 21-26.
24. พิชัย โตวิวิชัย. “สารเคมีในน้ำมันเครื่อง.” **วารสารวิทยาศาสตร์.** 41(9), (2530) : 495-
499.
25. “การเสื่อมคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว.” **วารสารเครื่องจักรและ
อุตสาหกรรม.** (2538) : 113-119.
26. บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด. **น้ำมันปาล์ม.** [ออนไลน์] 2549 [สืบค้น
วันที่ 4 พฤศจิกายน 2549]. จาก <http://www.cpi-th.com>
27. ห้องสมุดสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. **สารเพิ่มคุณภาพ.** [ออนไลน์] 2550
[สืบค้นวันที่ 8 มกราคม 2550]. จาก <http://library.tisi.go.th>
28. **JASO T 903.** [online] 2006 [cited 4 November 2006]. Available from:
http://www.aac-jasoinfo.com/jaso_web/4_stroke_test_specifications.htm
29. JASO T 903, JASO Engine Oil Standards Implementation Panel, Motorcycle Four
Cycle Gasoline Engine Oil Performance Classification, Implementation Manual,
April 1999.

30. ASTM D 445-97, ASTM Annual Book of Standards, ASTM, 1999, Vol.5.0.1, Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (the Calculation of Dynamic Viscosity), pp. 184-191.
31. ASTM D 2270, ASTM Annual Book of Standards, ASTM, 1999, Vol.5.0.1, Standard Practice for Calculating Viscosity Index From Kinematic Viscosity at 40 and 100°C, pp. 757-762.
32. ASTM D 92-97, ASTM Annual Book of Standards, ASTM, 1999, Vol.5.0.1, Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup, 44-50.
33. ASTM D 874-96, ASTM Annual Book of Standards, ASTM, 1999, Vol.5.0.1, Standard Test Method for Sulfated Ash from Lubricating Oils and Additives, 288-291.
34. ASTM D 5800-95, ASTM Annual Book of Standards, ASTM, 1995, Vol.5.0.2, Standard Test Method for Evaporation Loss of Lubricating Oils by the Noack Method, 808-811.
35. ASTM D 892-97, ASTM Annual Book of Standards, ASTM, 1999, Vol.5.0.1, Standard Test Method for Foaming Characteristics of Lubricating Oils, 292-298.
36. ASTM D 4172-94, ASTM Annual Book of Standards, ASTM, 1995, Vol.5.0.2, Standard Test Method for Wear Preventive Characteristics of Lubricating Fluid, 726-729.
37. ASTM D 2893-99, ASTM Annual Book of Standards, ASTM, Standard Test Method for Oxidation Characteristics of Extreme-Pressure Lubrication Oils.
38. ASTM G 133-95, ASTM Annual Book of Standards, ASTM, Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear, 535-542.
39. กรมวิชาการเกษตร. **คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น**. [ออนไลน์] 2550 [สืบค้นวันที่ 8 มกราคม 2550]. จาก <http://www.doa.go.th>
40. พรชัย เปรมไกรสร. “พืชพลังงาน (Plant Power).” วารสารวิทยาศาสตร์. (มกราคม-กุมภาพันธ์ 2545) : 29-33.
41. กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์. **ภาวะการณตลาด**. [ออนไลน์] 2550 [สืบค้นวันที่ 8 มกราคม 2550]. จาก <http://www.dit.go.th>
42. Blandine Cailliez. **Vegetal Oil in machinery and engines, a cleaner oil**. แปลโดย กองบรรณาธิการ. **น้ำมันหล่อลื่นจากพืชพลังงานสะอาด สำหรับเครื่องจักรและเครื่องยนต์**. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานข่าวเทคโนโลยีฝรั่งเศส, 2546.

43. โครงการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น. “โครงการ s-o-s (Scheduled Oil Sampling).”
ข่าวช่าง. (2535) : 21-25.
44. Tungwongcharoen Siriwan. **Synthesis of lubricating oil from castor oil.** Masters Thesis, Petrochemistry and Polymer Science, Chulalongkorn University, 1995.
45. Vatanaputi Naiyachan. **Synthesis of lubricating oil from coconut oil.** Masters Thesis, Petrochemistry and Polymer Science, Chulalongkorn University, 1996.
46. Eiamsupasawat Kachane. **Synthesis of lubricating base oil from rice bran oil.** Masters Thesis, Petrochemistry and Polymer Science, Chulalongkorn University, 1999.
47. Tubthim Darunee. **Synthetic diester lubricating base oils from palm oil.** Masters Thesis, Petrochemistry and Polymer Science, Chulalongkorn University, 1996.
48. Phattanaphakdee Kawin. **Synthesis of lubricating base oil from palm oil.** Masters Thesis, Petrochemistry and Polymer Science, Chulalongkorn University, 1995.
49. ป่วย อุ่นใจ และ สยาม ภพลือชัย. “ไบโอดีเซล เชื้อเพลิงชีวภาพแห่งยุคสมัย.” **Update.** (สิงหาคม 2544) : 50-55.
50. บีที เวิลด์ลีส์. **ตลาดรถจักรยานยนต์.** [ออนไลน์] 2550 [สืบค้นวันที่ 8 มกราคม 2550].
จาก http://www.btworldlease.co.th/BTW_home.htm
51. Mortier, R.M. and Orszulik, S.T. **Chemistry and Technology of Lubricants.** Great Britain : Chapman & Hall, 1997.
52. Colclough, T. “Role of Additives and Transition Metals in Lubricating Oil Oxidation.” **Ind. Eng. Chem. Res.** 26 (1987) : 1888-1895.
53. Rudnick, L. R. **Synthetics, Mineral Oils and Bio-Based Lubricants.** Boca Roton : CRC/taylor & Francis, 2005.
54. Irvin Glassman. **Combustion.** 3rd ed. New York : Academic Press, 1977.
55. อุตสาหกรรม จีรากร และ เชื้อ ชูชา. **เครื่องยนต์สันดาปภายใน.** กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2527.
56. Focus Laboratories Ltd. **Oil Analysis.** [online] 2006 [cited 8 January 2006].
Available from: <http://www.focuslab.co.th>

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก-1 การทดสอบการหาค่าความหนืด

ส่วนผสมที่	อัตราส่วนผสม (wt%)			ค่าความหนืดที่ 100 °C (cSt)
	% น้ำมันปาล์ม	% น้ำมันปิโตรเลียม	% สารเพิ่มคุณภาพ	
1	45	55	0	8.09
				8.07
				8.08
เฉลี่ย				8.08
2	41.74	51.02	7.24	16.6
				16.59
				16.62
เฉลี่ย				16.61
3	40.91	50	9.09	17.73
				17.71
				17.71
เฉลี่ย				17.72
4	55.66	37.11	7.24	13.81
				13.82
				13.82
เฉลี่ย				13.82
5	60.3	32.47	7.24	13.24
				13.22
				13.25
เฉลี่ย				13.24
6	64.94	27.4	7.24	12.21
				12.19
				12.24
เฉลี่ย				12.22
7	57.9	34.3	7.80	13.64
				13.58
				13.62
เฉลี่ย				13.6
8	52.9	39.3	7.80	14.46
				14.44
				14.44
เฉลี่ย				14.45

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ส่วนผสมที่	อัตราส่วนผสม (wt%)			อัตราส่วนผสม (wt%)
	% น้ำมันปาล์ม	% น้ำมันปิโตรเลียม	% สารเพิ่มคุณภาพ	
9	50.6	41.6	7.80	15.02
				15.03
				15.06
เฉลี่ย				15.04
10	41.2	51	7.80	16.78
				16.81
				16.77
เฉลี่ย				16.80

ตารางที่ ก-2 การทดสอบการหาค่าดัชนีความหนืด

น้ำมัน	ความหนืดที่ 100 °C (cSt)	ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	ดัชนีความหนืด
น้ำมันปาล์ม 100%	8.65	42.66	187.00
น้ำมันปิโตรเลียม 100%	32.51	503.40	96.15
น้ำมันส่วนผสมสูตรที่ 9	15.04	111.60	140.00
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	15.00	151.60	99.00

ตารางที่ ก-3 การทดสอบการหาค่าจุดวาบไฟ

อัตราส่วนน้ำมัน	จุดวาบไฟ (°C)
น้ำมันปาล์ม 100%	306
	304
	303
เฉลี่ย	304.33
น้ำมันปิโตรเลียม 100%	302
	302
	301
เฉลี่ย	301.66

ตารางที่ ก-3 (ต่อ)

อัตราส่วนน้ำมัน	จุดวาบไฟ (°C)
น้ำมันส่วนผสมสูตรที่ 9	278
	277
	278
เฉลี่ย	277.67
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	254
	255
	258
เฉลี่ย	255.67

ตารางที่ ก-4 การทดสอบหาคราบเกลือของกรดกำมะถันจากน้ำมันหล่อลื่น และสารเพิ่มคุณภาพ

อัตราส่วนน้ำมัน	คราบเกลือของกรดกำมะถัน (%wt)
น้ำมันปาล์ม 100%	0.007
น้ำมันส่วนผสมสูตรที่ 9	1.100
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	0.990

ตารางที่ ก-5 การทดสอบการหาปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอ ของ
น้ำมันหล่อลื่น

อัตราส่วนน้ำมัน	ปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอ (%wt)
น้ำมันส่วนผสมสูตรที่ 9	2.64
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	3.07

ตารางที่ ก-6 การทดสอบหาลักษณะแนวโน้มในการเกิดฟองในน้ำมันหล่อลื่น

อัตราส่วนน้ำมัน	ค่าการทดสอบหาลักษณะแนวโน้มในการเกิดฟอง (mL/mL)		
	Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3
น้ำมันปาล์ม 100%	210/0	N/A/0	60/0
น้ำมันส่วนผสมสูตรที่ 9	490/310	300/N/A	190/10
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	20/5	240/0	10/0

ตารางที่ ก-7 การทดสอบหาพฤติกรรมกรรมการต่อต้านการสีกร่อน ของน้ำมันหล่อลื่นแบบลูกบอล

4 ลูก

อัตราส่วนน้ำมัน	ค่าการสีกร่อน (mm)
น้ำมันปาล์ม 100% เฉลี่ย	0.58
	0.58
	0.57
	0.57
น้ำมันส่วนผสมสูตรที่ 9 เฉลี่ย	0.34
	0.34
	0.34
	0.34
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด เฉลี่ย	0.61
	0.61
	0.6
	0.60

ตารางที่ ก-8 การทดสอบวัดก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียของน้ำมันปาล์มผสม 1-100 กิโลเมตร

ลำดับที่	[%] O ₂	[ppm] CO	[%] CO ₂	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]	H ₂ [ppm]
1	13	6280	7.01	25	0.5	25.5	3197
2	12.82	6739	7.17	25	0.5	25.5	3493
3	12.59	7180	7.37	27	0.3	27.3	3747
4	12.43	7411	7.51	27	0.4	27.4	3942
5	12.4.0	7314	7.54	28	0.3	28.3	3918
6	12.22	7559	7.69	29	0.3	29.3	4019
7	12.3	7589	7.62	29	0.1	29.1	4094
8	12.37	7454	7.56	29	0.2	29.2	4048
9	12.4.0	7661	7.54	28	0.2	28.2	4100
10	12.33	7648	7.60	29	0.1	29.1	4164
11	12.38	7452	7.55	28	0.0	28.0	4088
12	12.4	7355	7.53	29	0.0	29.0	3983
13	12.32	7667	7.60	29	0.0	29.0	4175
14	12.11	7384	7.79	30	0.0	30.0	4064
15	12.22	7559	7.69	29	0.3	29.3	4019
16	12.11	7384	7.79	31	0.0	31.0	4627
17	11.99	7314	7.89	28	0.0	28.0	4970
18	12.06	7559	7.84	29	0.0	29.0	4736

ตารางที่ ก-8 (ต่อ)

ลำดับที่	[%] O ₂	[ppm] CO	[%] CO ₂	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]	H ₂ [ppm]
19	12.06	7589	7.83	29	0.0	29.0	4533
20	12.01	7454	7.88	29	0.0	29.0	4564
21	11.98	7661	7.90	29	0.0	29.0	4659
22	12.08	7314	7.81	29	0.0	29.0	4817
23	12.08	7559	7.82	29	0.0	29.0	4741
24	12.08	7589	7.82	29	0.0	29.0	4726
25	11.97	8690	7.91	29	0.0	29.0	4793
26	11.96	8914	7.92	30	0.0	30.0	4902
27	12.30	8739	7.62	29	0.0	29.0	4931
28	13.07	7514	6.95	28	0.0	28.0	4356
29	13.03	7497	6.98	28	0.0	28.0	4188
30	12.87	8205	7.12	28	0.0	28.0	4546
31	12.87	8635	7.12	28	0.0	28.0	4871
32	12.88	8199	7.12	28	0.0	28.0	4604
33	12.86	8517	7.13	27	0.0	27.0	4770
34	12.94	8528	7.06	27	0.0	27.0	4819
35	13.01	8042	7.00	26	0.0	26.0	4553
36	13.06	7859	6.96	27	0.0	27.0	4494
37	12.99	7944	7.02	27	0.0	27.0	4516
38	12.96	7988	7.05	27	0.0	27.0	4597
39	12.85	8149	7.14	28	0.0	28.0	4606
40	12.85	8712	7.14	28	0.0	28.0	4937
41	12.85	8670	7.14	28	0.0	28.0	4926
42	12.89	8496	7.11	28	0.1	28.1	4839
43	12.91	8593	7.09	28	0.0	28	4886
44	12.93	8505	7.07	28	0.0	28	4831
45	12.99	8604	7.01	28	0.1	28.1	4914
46	13.04	7995	6.98	28	0.0	28	4671
47	13.07	7514	6.95	28	0.0	28	4356
48	13.03	7497	6.98	28	0.0	28	4188
49	12.87	8205	7.12	28	0.0	28	4546
50	12.87	8635	7.12	28	0.0	28	4871
51	12.33	7648	7.6	29	0.1	29.1	4164
52	12.38	7452	7.55	29	0.0	29	4088

ตารางที่ ก-8 (ต่อ)

ลำดับที่	[%] O ₂	[ppm] CO	[%] CO ₂	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]	H ₂ [ppm]
53	12.4	7355	7.53	29	0.0	29	3983
54	12.32	7667	7.60	28	0.0	28	4175
55	12.11	7384	7.79	29	0.0	29	4064
56	12.22	7452	7.69	28	0.3	28.3	4019
57	12.11	7355	7.79	29	0.0	29	4627
58	11.99	7667	7.89	29	0.0	29	4970
59	12.06	7384	7.84	30	0.0	30	4736
60	12.06	7559	7.83	29	0.0	29	4533
เฉลี่ย	12.51	7790.73	7.43	28.28	0.06	28.34	4438.23

ตารางที่ ก-9 การทดสอบวัดก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียของน้ำมันปาล์มผสม 101 - 200 กิโลเมตร

ลำดับที่	[%] O ₂	[ppm] CO	[%] CO ₂	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]	H ₂ [ppm]
1	12.40	7661	7.54	28	0.2	28.2	3197
2	12.33	7648	7.6	29	0.1	29.1	3493
3	12.38	7452	7.55	28	0.0	28.0	3747
4	12.40	7355	7.53	29	0.0	29.0	3942
5	12.32	7667	7.6	29	0.0	29.0	3918
6	12.11	7384	7.79	30	0.0	30.0	4019
7	12.66	7314	7.31	22	0.1	22.1	4094
8	11.97	7559	7.91	24	0.1	24.1	4048
9	12.31	7589	7.61	23	0.1	23.1	4100
10	12.73	7454	7.24	22	0.0	22.0	4164
11	12.69	7661	7.28	23	0.0	23.0	4088
12	12.78	7314	7.20	23	0.1	23.1	3983
13	12.55	7559	7.40	23	0.1	23.1	4175
14	12.74	7589	7.24	30	0	30.0	4064
15	12.6	7454	7.36	29	0.2	29.2	4019
16	12.74	7661	7.24	25	0.1	25.1	4627
17	12.74	9091	7.24	24	0.0	24.0	4970
18	12.43	7411	7.51	27	0.4	27.4	4736
19	12.40	7314	7.54	28	0.3	28.3	4533
20	12.22	7559	7.69	29	0.3	29.3	4564
21	12.30	7589	7.62	29	0.1	29.1	4659
22	12.37	7454	7.56	29	0.2	29.2	4817
23	12.40	7661	7.54	28	0.2	28.2	4741

ตารางที่ ก-9 (ต่อ)

ลำดับที่	[%] O ₂	[ppm] CO	[%] CO ₂	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]	H ₂ [ppm]
24	12.33	7648	7.6	29	0.1	29.1	4726
25	12.38	7452	7.55	28	0.0	28.0	4793
26	12.40	7355	7.53	29	0.0	29.0	4902
27	12.32	7667	7.60	29	0.0	29.0	4931
28	12.11	7384	7.79	30	0.0	30.0	4356
29	12.22	7559	7.69	29	0.3	29.3	4188
30	12.11	7487	7.79	31	0.0	31.0	4546
31	11.99	7360	7.89	31	0.0	31.0	4871
32	12.06	7248	7.84	29	0.0	29.0	4604
33	12.06	7440	7.83	29	0.0	29.0	4770
34	12.01	7962	7.88	29	0.0	29.0	4819
35	11.98	7798	7.90	29	0.0	29.0	4553
36	12.08	7384	7.81	29	0.0	29.0	4494
37	12.08	7314	7.82	29	0.0	29.0	4516
38	12.08	7559	7.82	29	0.0	29.0	4597
39	11.97	7589	7.91	29	0.0	29.0	4606
40	11.96	7454	7.92	30	0.0	30.0	4937
41	12.3	7661	7.62	29	0.0	29.0	4926
42	13.07	7314	6.95	28	0.0	28.0	4839
43	13.03	7559	6.98	28	0.0	28.0	4886
44	12.87	7589	7.12	28	0.0	28.0	4831
45	12.87	7360	7.12	28	0.0	28.0	4914
46	12.88	7248	7.12	28	0	28	4671
47	12.86	7440	7.13	27	0	27	4356
48	12.94	7962	7.06	27	0	27	4188
49	13.01	7798	7.00	26	0	26	4546
50	13.06	7859	6.96	27	0	27	4871
51	12.99	7944	7.02	27	0	27	4164
52	11.97	8690	7.91	29	0	29	4088
53	11.96	8914	7.92	30	0	30	3983
54	12.30	8739	7.62	29	0	29	4175
55	13.07	7514	6.95	28	0	28	4064
56	13.03	7497	6.98	28	0	28	4019
57	12.87	8205	7.12	28	0	28	4627

ตารางที่ ก-9 (ต่อ)

ลำดับที่	[%] O ₂	[ppm] CO	[%] CO ₂	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]	H ₂ [ppm]
58	12.87	8635	7.12	28	0	28	4970
59	12.88	8199	7.12	28	0	28	4736
60	12.86	8517	7.13	27	0	27	4533
เฉลี่ย	12.47	7678.4	7.47	27.78	0.05	27.83	4438.23

ตารางที่ ก-10 การทดสอบวัดก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียของน้ำมันปาล์มผสม 201 - 300 กิโลเมตร

ลำดับที่	[%] O ₂	[ppm] CO	[%] CO ₂	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]	H ₂ [ppm]
1	12.92	8381	7.08	24	0	24	5037
2	12.78	8106	7.2	28	0	28	5050
3	12.88	7177	7.11	28	0	28	4404
4	12.94	7240	7.06	25	0	25	4471
5	12.88	7589	7.11	25	0	25	4680
6	12.95	7577	7.05	25	0	25	4726
7	12.93	7395	7.07	26	0	26	4583
8	12.91	7841	7.09	26	0	26	4836
9	12.84	7781	7.15	26	0	26	4822
10	12.92	7776	7.08	26	0	26	4891
11	12.24	8860	7.68	29	0	29	5165
12	13.14	7622	6.89	24	0	24	4854
13	13.05	6963	6.96	25	0	25	4201
14	13.10	6597	6.92	24	0	24	4037
15	12.32	9004	7.60	29	0	29	5064
16	12.18	8968	7.73	30	0	30	5395
17	12.58	9041	7.38	27	0	27	5611
18	12.91	7789	7.09	24	0	24	4738
19	12.93	7970	7.07	24	0	24	4814
20	12.87	8184	7.12	24	0	24	4921
21	12.92	8381	7.08	24	0	24	5037
22	12.78	8106	7.20	28	0	28	5050
23	12.88	7177	7.11	28	0	28	4404
24	12.94	7240	7.06	25	0	25	4471
25	12.88	7589	7.11	25	0	25	4680
26	12.95	7577	7.05	25	0	25	4726
27	12.93	7395	7.07	26	0	26	4583

ตารางที่ ก-10 (ต่อ)

ลำดับที่	[%] O ₂	[ppm] CO	[%] CO ₂	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]	H ₂ [ppm]
28	12.91	7841	7.09	26	0	26	4836
29	12.96	7598	7.04	25	0	25	4750
30	12.99	7270	7.02	25	0	25	4578
31	12.93	7544	7.07	26	0	26	4674
32	12.97	7531	7.03	25	0	25	4751
33	12.95	7323	7.05	26	0	26	4605
34	12.84	7781	7.15	26	0	26	4822
35	12.92	7776	7.08	26	0	26	4891
36	12.97	7173	7.03	26	0	26	4621
37	12.91	7458	7.09	26	0	26	4628
38	12.78	7487	7.20	27	0	27	4742
39	12.88	7360	7.11	26	0	26	4668
40	12.98	7248	7.02	26	0	26	4575
41	13.02	7440	6.99	25	0	25	4664
42	13.03	7962	6.98	25	0	25	4914
43	13.07	7798	6.94	25	0	25	4864
44	13.06	8054	6.95	24	0	24	5036
45	12.87	8184	7.12	24	0	24	4921
46	12.92	8381	7.08	24	0	24	5037
47	12.78	8106	7.20	28	0	28	5050
48	12.88	7177	7.11	28	0	28	4404
49	12.94	7240	7.06	25	0	25	4471
50	12.88	7589	7.11	25	0	25	4680
51	12.95	7577	7.05	25	0	25	4726
52	12.93	7395	7.07	26	0	26	4583
53	12.91	7841	7.09	26	0	26	4836
54	12.96	7598	7.04	25	0	25	4750
55	12.99	7270	7.02	25	0	25	4578
56	12.93	7544	7.07	26	0	26	4674
57	12.97	7531	7.03	25	0	25	4751
58	12.95	7323	7.05	26	0	26	4605
59	12.92	7776	7.08	26	0	26	4891
60	12.97	7173	7.03	26	0	26	4621
เฉลี่ย	12.89	7694.58	7.10	25.75	0	25.75	4757.46

ตารางที่ ก-11 การทดสอบวัดก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียของน้ำมันหล่อลื่นที่วางขาย
ตามท้องตลาด ใน 1-100 กิโลเมตร

ลำดับที่	[%] O ₂	[ppm] CO	[%] CO ₂	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]	H ₂ [ppm]
1	12.46	7803	7.48	27	0	27	4171
2	12.42	7881	7.52	28	0	28	4280
3	12.47	7794	7.48	27	0	27	4294
4	12.38	7876	7.55	28	0.1	28.1	4374
5	12.45	7849	7.49	28	0.4	28.4	4423
6	12.50	7617	7.44	27	0.3	27.3	4313
7	12.47	7355	7.47	28	0.5	28.5	4219
8	12.32	8075	7.60	28	0.5	28.5	4566
9	12.38	7342	7.55	28	0.7	28.7	4342
10	12.34	7519	7.59	29	0.9	29.9	4361
11	12.38	7863	7.47	27	0.8	27.8	4365
12	12.45	7852	7.46	28	0.4	28.4	4751
13	12.36	7954	7.46	27	0.6	27.6	4235
14	12.889	7863	7.48	28	0.8	28.8	4215
15	12.54	7841	7.4	29	0.5	29.5	4230
16	13.02	7896	7.48	28	0.7	28.7	4102
17	13.13	8012	7.42	27	0.9	27.9	4510
18	12.25	8123	7.41	26	0.4	26.4	4210
19	12.69	7956	7.45	28	0.5	28.5	4182
20	12.54	7941	7.41	29	0.4	29.4	4230
21	12.68	7523	7.58	27	0.6	27.6	4510
22	12.36	7412	7.52	27	0.7	27.7	4123
23	13.24	7863	7.53	28	0.8	28.8	4321
24	12.65	7854	7.48	29	0.6	29.6	4325
25	12.63	7452	7.48	26	0.5	26.5	4256
26	12.54	7412	7.49	24	0.9	24.9	4158
27	12.45	7896	7.45	28	0.8	28.8	4105
28	12.78	8147	7.32	29	0.7	29.7	4102
29	12.35	8256	7.48	28	0.7	28.7	4321
30	12.36	8124	7.41	27	0.5	27.5	4365
31	12.39	8142	7.49	26	0.5	26.5	4326
32	12.54	7985	7.54	28	0.7	28.7	4235
33	13.96	7963	7.52	29	0.9	29.9	4369

ตารางที่ ก-11 (ต่อ)

ลำดับที่	[%] O ₂	[ppm] CO	[%] CO ₂	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]	H ₂ [ppm]
34	13.69	7854	7.51	27	0.8	27.8	4123
35	13.65	7412	7.58	27	0.4	27.4	4254
36	12.54	7452	7.48	28	0.6	28.6	4635
37	12.36	7896	7.54	28	0.8	28.8	4387
38	12.54	7854	7.40	29	0.5	29.5	4326
39	12.98	7896	7.46	28	0.7	28.7	4258
40	12.78	7193	7.48	27	0.9	27.9	4178
41	12.65	7523	7.49	26	0.4	26.4	4298
42	12.34	7451	7.74	28	0.5	28.5	4325
43	12.36	7463	7.54	29	0.4	29.4	4125
44	13.32	7987	7.51	27	0.5	27.5	4306
45	12.36	7985	7.5	27	0.7	27.7	4308
46	13.54	8236	7.52	28	0.9	28.9	4512
47	12.36	8145	7.45	27	0.4	27.4	4325
48	12.98	8174	7.48	26	0.5	26.5	4268
49	12.47	8006	7.73	28	0.4	28.4	4268
50	12.46	7021	7.54	29	0.6	29.6	4245
51	12.15	7365	7.52	27	0.7	27.7	4457
52	12.39	7894	7.36	27	0.8	27.8	4412
53	12.32	7521	7.41	28	0.6	28.6	4351
54	12.35	7582	7.32	28	0.5	28.5	4256
55	12.45	7456	7.54	29	0.9	29.9	4287
56	12.14	7541	7.32	28	0.8	28.8	1298
57	12.45	7521	7.54	27	0.7	27.7	4369
58	12.69	8123	7.49	29	0.7	29.7	4123
59	12.36	8124	7.41	27	0.5	27.5	4365
60	12.39	8142	7.49	26	0.5	26.5	4326
เฉลี่ย	12.60	7787.63	7.48	27.6	0.58	28.18	4254.56

ตารางที่ ก-12 การทดสอบวัดก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียของน้ำมันหล่อลื่นที่วางขาย
ตามท้องตลาด ใน 101-200 กิโลเมตร

ลำดับที่	[%] O ₂	[ppm] CO	[%] CO ₂	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]	H ₂ [ppm]
1	12.46	7803	7.48	27	0	27	4171
2	12.42	7881	7.52	28	0	28	4280
3	12.47	7794	7.48	27	0	27	4294
4	12.38	7876	7.55	28	0.1	28	4374
5	12.45	7849	7.49	28	0.4	28	4423
6	12.5	7617	7.44	27	0.3	28	4313
7	12.47	7355	7.47	28	0.5	28	4219
8	12.32	8075	7.60	28	0.5	29	4566
9	12.38	7342	7.55	28	0.7	29	4342
10	12.34	7519	7.59	29	0.9	29	4361
11	15.52	5254	7.6	28	0.5	29	4566
12	12.42	8452	7.52	27	0.2	27	5168
13	12.44	8501	7.5	27	0.1	28	5422
14	12.43	8349	7.51	28	0.1	28	5352
15	12.45	7950	7.49	27	0.2	28	5097
16	12.50	7734	7.45	28	0.8	29	5002
17	12.49	8064	7.45	28	0.8	29	5156
18	12.46	8368	7.48	28	0.8	29	5283
19	12.43	8127	7.51	28	1.0	29	5336
20	12.45	8043	7.49	29	0.9	29	5169
21	12.5	8359	7.45	28	0.8	29	5395
22	12.5	8261	7.45	28	0.8	29	5305
23	12.43	8494	7.51	28	0.8	29	5505
24	12.39	8847	7.54	28	0.6	29	5709
25	12.41	8831	7.53	28	0.5	29	5730
26	12.38	8901	7.55	28	0.7	29	5825
27	12.46	8377	7.48	28	0.7	29	5502
28	12.42	8835	7.51	28	0.6	29	5738
29	12.50	7617	7.44	27	0.3	28	4313
30	12.47	7355	7.47	28	0.5	28	4219
31	12.32	8075	7.60	28	0.5	29	4566
32	12.38	7342	7.55	28	0.7	29	4342
33	12.34	7519	7.59	29	0.9	29	4361

ตารางที่ ก-12 (ต่อ)

ลำดับที่	[%] O ₂	[ppm] CO	[%] CO ₂	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]	H ₂ [ppm]
34	15.52	5254	7.60	28	0.5	29	4566
35	12.42	8452	7.52	27	0.2	27	5168
36	12.44	8501	7.5	27	0.1	28	5422
37	12.43	8349	7.51	28	0.1	28	5352
38	12.45	7950	7.49	27	0.2	28	5097
39	12.50	7734	7.45	28	0.8	29	5002
40	12.49	8064	7.45	28	0.8	29	5156
41	12.46	8368	7.48	28	0.8	29	5283
42	12.43	8127	7.51	28	1.0	29	5336
43	12.45	8043	7.49	29	0.9	29	5169
44	12.50	8359	7.45	28	0.8	29	5395
45	12.44	8501	7.5	27	0.1	28	5422
46	12.43	8349	7.51	28	0.1	28	5352
47	12.45	7950	7.49	27	0.2	28	5097
48	12.50	7734	7.45	28	0.8	29	5002
49	12.49	8064	7.45	28	0.8	29	5156
50	12.46	8368	7.48	28	0.8	29	5283
51	12.43	8127	7.51	28	1.0	29	5336
52	12.45	8043	7.49	29	0.9	29	5169
53	12.50	8359	7.45	28	0.8	29	5395
54	12.50	8261	7.45	28	0.8	29	5305
55	12.43	8494	7.51	28	0.8	29	5505
56	12.39	8847	7.54	28	0.6	29	5709
57	12.41	8831	7.53	28	0.5	29	5730
58	12.38	8901	7.55	28	0.7	29	5825
59	12.46	8377	7.48	28	0.7	29	5502
60	12.42	8835	7.51	28	0.6	29	5738
เฉลี่ย	12.54	8066.8	7.50	27.88	0.56	28.6	5081.26

ตารางที่ ก-13 การทดสอบวัดก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียของน้ำมันหล่อลื่นที่วางขาย
ตามท้องตลาด ใน 201-300 กิโลเมตร

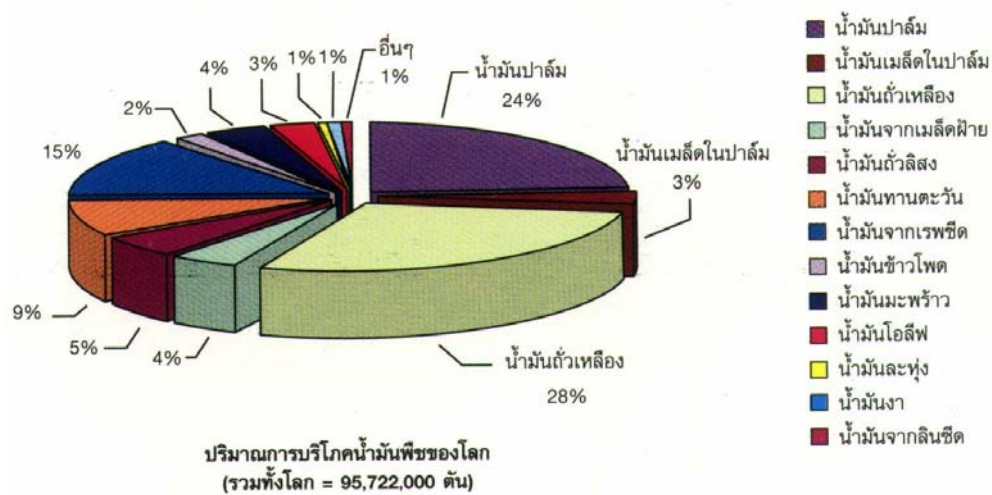
ลำดับที่	[%] O ₂	[ppm] CO	[%] CO ₂	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]	H ₂ [ppm]
1	12.74	6763	7.24	24	0.4	24.4	3684
2	12.65	7476	7.32	25	0.5	25.5	4203
3	12.72	7338	7.25	24	0.7	24.7	4186
4	12.73	7300	7.25	24	1.1	25.1	4168
5	12.46	8366	7.48	26	1.3	27.3	4909
6	12.53	8188	7.42	28	1.7	29.7	4913
7	12.55	7959	7.41	27	1.6	28.6	4779
8	12.58	7784	7.38	27	1.6	28.6	4721
9	12.55	7465	7.40	28	1.6	29.6	4556
10	12.53	7274	7.42	27	1.8	28.8	4477
11	12.49	7028	7.45	28	1.8	29.8	4326
12	12.62	6824	7.34	27	2.0	29.0	4197
13	12.61	7090	7.35	27	1.8	28.8	4324
14	12.67	6993	7.30	28	2.3	30.3	4321
15	12.64	7224	7.32	28	2.2	30.2	4407
16	12.70	7257	7.27	28	2.4	30.4	4495
17	12.64	7363	7.33	28	2.4	30.4	4552
18	12.67	7250	7.30	28	2.6	30.6	4501
19	12.66	7264	7.31	28	2.5	30.5	4505
20	12.64	7412	7.33	28	2.5	30.5	4588
21	12.64	7497	7.33	28	2.7	30.7	4662
22	12.60	7784	7.36	28	2.8	30.8	4847
23	12.47	8223	7.48	29	2.8	31.8	5114
24	12.48	7950	7.47	29	2.6	31.6	5036
25	12.51	7557	7.44	29	2.7	31.7	4814
26	12.58	7411	7.37	29	2.8	31.8	4710
27	12.59	7487	7.37	29	2.9	31.9	4704
28	12.52	7711	7.43	29	2.8	31.8	4851
29	12.51	8001	7.44	29	3.0	32.0	5052
30	12.48	8251	7.47	29	3.0	32.0	5229
31	12.50	7919	7.45	29	3.0	32.0	5058
32	12.52	7893	7.43	29	3.1	32.1	5028
33	12.53	7993	7.42	29	2.9	31.9	5091

ตารางที่ ก-13 (ต่อ)

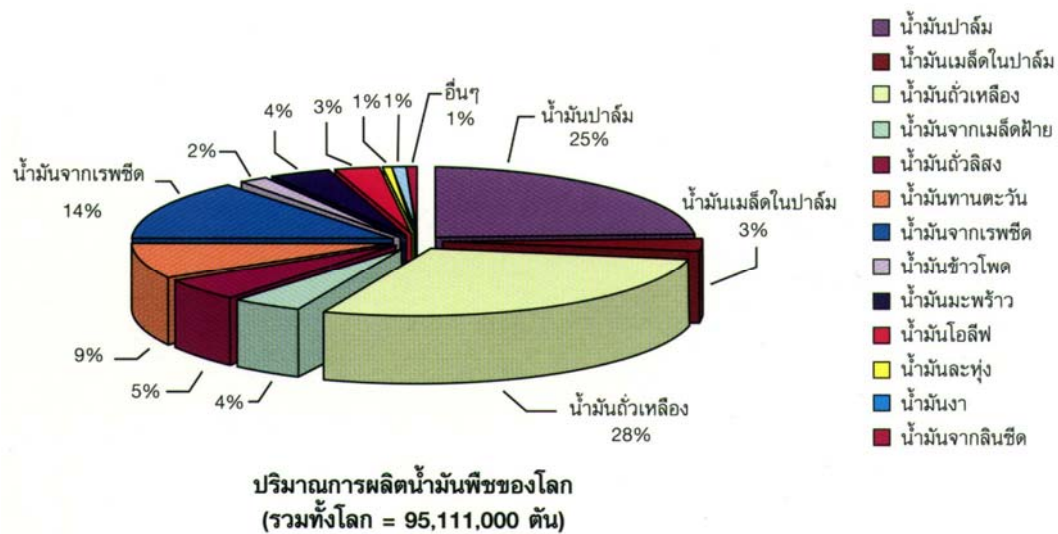
ลำดับที่	[%] O ₂	[ppm] CO	[%] CO ₂	NO [ppm]	NO ₂ [ppm]	NO _x [ppm]	H ₂ [ppm]
34	12.55	8285	7.40	29	2.9	31.9	5252
35	12.55	8493	7.40	29	3.1	32.1	5406
36	12.54	8418	7.41	29	3.3	32.3	5344
37	12.55	8649	7.40	29	3.3	32.3	5498
38	12.48	9068	7.46	29	3.4	32.4	5744
39	12.49	8724	7.45	29	3.5	32.5	5652
40	12.51	8711	7.44	29	3.4	32.4	5597
41	12.57	8017	7.38	29	3.2	32.2	5180
42	12.65	7437	7.32	29	3.5	32.5	4861
43	12.61	7929	7.35	28	3.0	31.0	4977
44	12.65	8395	7.31	28	3.1	31.1	5384
45	12.61	7631	7.35	28	3.2	31.2	5035
46	12.62	7672	7.34	28	3.2	31.2	4842
47	12.42	8452	7.52	27	0.2	27.2	5168
48	12.44	8501	7.50	27	0.1	27.1	5422
49	12.43	8349	7.51	28	0.1	28.1	5352
50	12.45	7950	7.49	27	0.2	27.2	5097
51	12.50	7734	7.45	28	0.8	28.8	5002
52	12.49	8064	7.45	28	0.8	28.8	5156
53	12.46	8368	7.48	28	0.8	28.8	5283
54	12.43	8127	7.51	28	1.0	29.0	5336
55	12.45	8043	7.49	29	0.9	29.9	5169
56	12.50	8359	7.45	28	0.8	28.8	5395
57	12.50	8261	7.45	28	0.8	28.8	5305
58	12.43	8494	7.51	28	0.8	28.8	5505
59	12.39	8847	7.54	28	0.6	28.6	5709
60	12.43	8349	7.51	28	0.1	28.1	5352
เฉลี่ย	12.55	7877.03	7.403	27.93	2.03	29.96	4933.85

ภาคผนวก ข

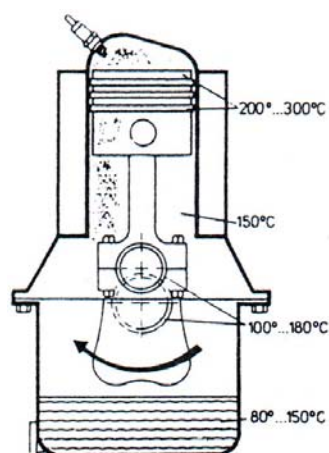
รูปประกอบการทำวิจัย



ภาพที่ ข-1 ปริมาณการบริโภคน้ำมันพืชของโลก



ภาพที่ ข-2 ปริมาณการผลิตน้ำมันพืชของโลก



ภาพที่ ข-3 อุณหภูมิน้ำมันเครื่องที่ส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ขณะใช้งานปกติ



ภาพที่ ข-4 น้ำมันปาล์มโอเลอิน



ภาพที่ ข-5 น้ำมันผสมส่วนผสมที่ 9 (น้ำมันปาล์ม : 41.60% น้ำมันปิโตรเลียมฐาน : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพโดยปริมาตร)



ภาพที่ ข-6 น้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ ที่วางขายตามท้องตลาด



ภาพที่ ข-7 เครื่องทดสอบ 4 ball wear



ภาพที่ ข-8 เครื่องทดสอบ Microscope ใช้หาการสึกกร่อนซึ่งมีความถูกต้องถึง 0.01 มิลลิเมตร



ภาพที่ ข-9 ลูกบอลที่ใช้ในการทดสอบ 4 ball wear



ภาพที่ ข-10 เครื่อง Tribometer ของบริษัท CETR ใช้ทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอ



ภาพที่ ข-11 เครื่อง Tribometer ของบริษัท CETR พร้อมการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอ



ภาพที่ ข-12 ชิ้นส่วนลูกสูบรถจักรยานยนต์สีจิ้งหะ



ภาพที่ ข-13 เครื่องมือในการหยดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในการทดสอบ ความละเอียด 100 ไมโครลิตร



ภาพที่ ข-14 เครื่อง CANNON-FENSKE ROUTINE TYPE ใช้ทดสอบค่าความหนืด
ในการหาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน



ภาพที่ ข-15 เครื่อง Koehler Model k12230



ภาพที่ ข-16 เครื่องทดสอบค่าความหนืดที่เปลี่ยนไป เมื่อมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น



ภาพที่ ข-17 รถจักรยานยนต์สีจิ้งหะ รุ่นฮอนด้าเวฟ 125 ซีซี



ภาพที่ ข-18 เครื่อง testo 350-XL ใช้วัดก๊าซที่ออกมาจากท่อไอเสียรถจักรยานยนต์



ภาพที่ ข-19 การดูดน้ำมันหล่อลื่นออกจากถังน้ำมันหล่อลื่นของรถจักรยานยนต์



ภาพที่ ข-20 การต่อเครื่องวัดก๊าซที่ท่อไอเสียรถจักรยานยนต์



A B C D

- A : น้ำมันหล่อลื่นก่อนการทดสอบ
 B : น้ำมันหล่อลื่นเมื่อรถวิ่งได้ระยะทาง 100 กิโลเมตร
 C : น้ำมันหล่อลื่นเมื่อรถวิ่งได้ระยะทาง 200 กิโลเมตร
 D : น้ำมันหล่อลื่นเมื่อรถวิ่งได้ระยะทาง 300 กิโลเมตร

ภาพที่ ข-21 น้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป



A B C D

- A : น้ำมันหล่อลื่นผสมก่อนการทดสอบ
 B : น้ำมันหล่อลื่นผสมเมื่อรถวิ่งได้ระยะทาง 100 กิโลเมตร
 C : น้ำมันหล่อลื่นผสมเมื่อรถวิ่งได้ระยะทาง 200 กิโลเมตร
 D : น้ำมันหล่อลื่นผสมเมื่อรถวิ่งได้ระยะทาง 300 กิโลเมตร

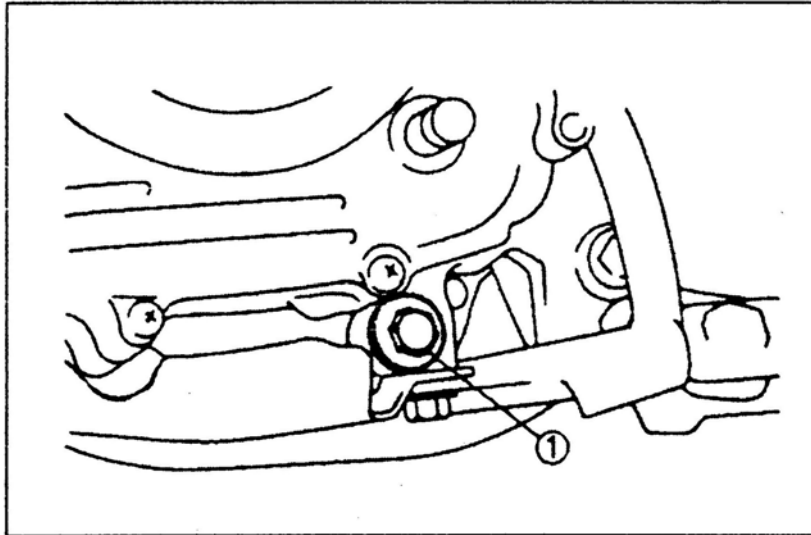
ภาพที่ ข-22 น้ำมันหล่อลื่นที่ผสมจากส่วนผสมที่ 9 (50.60% น้ำมันปาล์ม : 41.60%
 น้ำมันปิโตรเลียมฐาน : 7.80% สารเพิ่มคุณภาพ)

ภาคผนวก ค

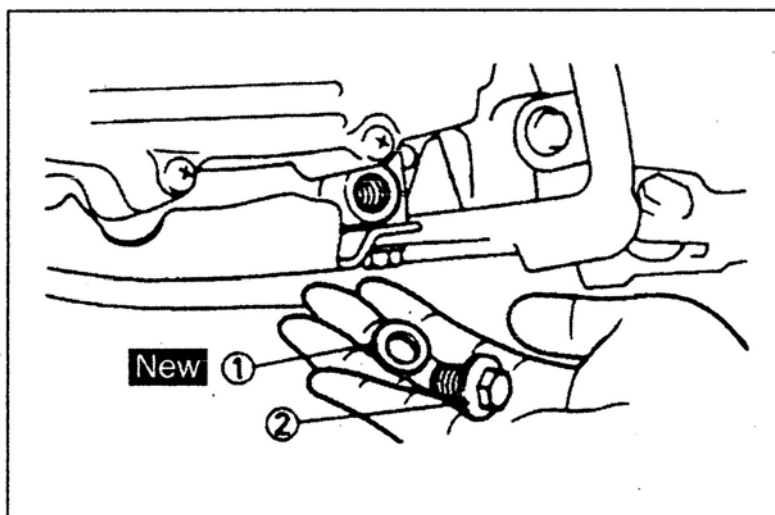
ตัวอย่างวิธีการทดสอบ

1. การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น

- 1.1 สตาร์ทเครื่องยนต์อุ่นเครื่องพอร้อน
- 1.2 ดับเครื่องยนต์ และนำภาชนะรองไว้ใต้เครื่องยนต์เพื่อเตรียมการถ่ายน้ำมันหล่อลื่น
- 1.3 ถอดสกรูถ่ายน้ำมันหล่อลื่น และปะเก็น ดังภาพที่ ค-1 และ ค-2

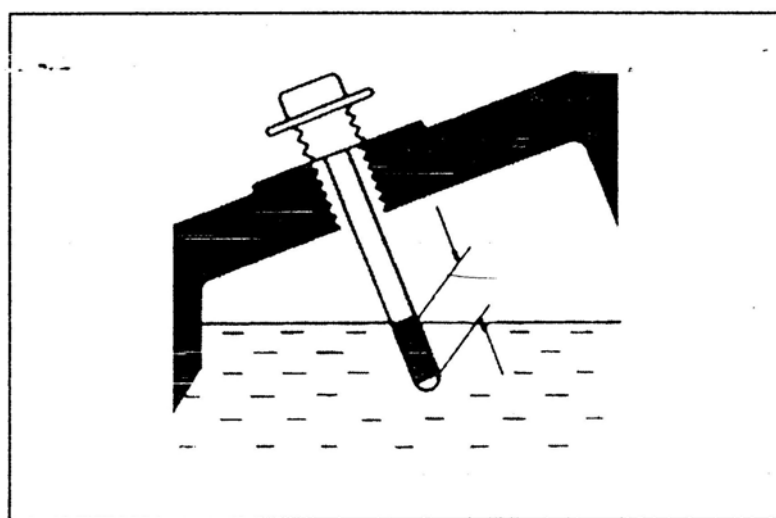


ภาพที่ ค-1 ตำแหน่งที่ต้องถอดสกรูเพื่อถ่ายน้ำมันหล่อลื่น



ภาพที่ ค-2 สกรู และปะเก็นที่ต้องถอดเพื่อถ่ายน้ำมันหล่อลื่น

- 1.4 ถ่ายน้ำมันเครื่องออกจากห้องแครง
- 1.5 ทิ้งไว้สักครู่ รอจนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วไหลออกมาจนหมด
- 1.6 ประกอบปะเก็นและสกรูใหม่อีกครั้งขึ้นให้แน่น
- 1.7 เปิดจุกฝาแครงเพื่อเติมน้ำมันหล่อลื่นใหม่
- 1.8 เติมน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ลงไปประมาณ 700 มิลลิลิตร
- 1.9 เช็ดปลายฝาจุกแครงให้สะอาด ลองจุ่มเข้าไปในห้องแครง แล้วนำออกมาดูว่าระดับน้ำมันหล่อลื่นควรจะอยู่ระหว่างระดับสูงสุด และต่ำสุด ดังภาพ ค-3



ภาพที่ ค-3 แสดงระดับน้ำมันหล่อลื่นในแครง

- 1.10 เติมน้ำมันหล่อลื่นให้ระดับน้ำมันหล่อลื่นอยู่ระดับสูงสุดของขีดบอกระดับ ดังภาพที่ ค-3 จากนั้นปิดฝาจุกให้เรียบร้อย

2. วิธีการทดสอบค่าการสึกหรอ แบบลูกบอลสี่ลูก (4-ball wear)

- 2.1 เสียบปลั๊กเครื่องทดสอบ บั้มลม และ Recorder
- 2.2 กดสวิตช์ด้านข้างของเครื่องทดสอบมาที่ตำแหน่ง ON
- 2.3 ดึงสวิตช์ Start/Stop มาอยู่ตำแหน่ง Start (ไฟสีแดง) และอุ่นเครื่อง 15 นาที
- 2.4 เลือกลูกบอล 4 ลูก แช่ใน hexane เพื่อทำความสะอาดเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้น แช่ใน iso-propanal เป็นเวลา 5 นาที
- 2.5 ทำความสะอาด ball cup, ball clamp ring โดยใช้ hexane

2.6 ใส่ลูกบอล 3 ลูกใน ball cup ใส่ ball clamp ring ใส่ clamping lock ชันให้แน่น (โดยใช้แท่นวาง ball cup ที่มุมขวาด้านหน้าของเครื่องทดสอบ)

2.7 ใส่ลูกบอล 1 ลูกใน collet แล้วใส่ collet ใน spindle ชันให้ตึงมือ

2.8 บรรจุน้ำมันทดสอบใน ball cup (สูงกว่า ball ประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) แล้วใส่ ball cup บนแท่นทดสอบ และเสียบ thermocouple

2.9 กดปุ่ม heater ให้เป็น manual (ไฟสีเขียว)

2.10 กดปุ่ม start เครื่องจะเริ่มทำงาน ปรับความเร็วรอบไปตามที่ต้องการ (1200 rpm)

2.11 กดปุ่ม reset เพื่อให้เครื่องหยุดทำงาน จะสังเกตเห็นว่าความเร็วรอบกลับมาอยู่ที่ 0 rpm

2.12 กดปุ่ม air bearing และกดปุ่ม on/off ของ load controller มาอยู่ที่ตำแหน่ง on (ไฟสีแดง)

2.13 ใส่ friction chain ใน slot ที่ arm ของ ball cup

2.14 ตั้งอุณหภูมิที่ต้องการ แล้วกด Temperature Switch สู่ตำแหน่ง ON (สีแดง)

2.15 ตั้งเวลาในการทดสอบตามที่ต้องการ แล้วกด timer switch สู่ตำแหน่ง ON (สีแดง)

2.16 กดปุ่ม power ที่ recorder และกด pen ลง

2.17 กดปุ่ม start เมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งไว้

2.18 ทิ้งให้เครื่องทำงานจนหมดเวลา แล้วถอดเครื่อง

2.19 กด switch air bearing มาอยู่ในตำแหน่ง off

2.20 กด switch load ถอด friction chain

2.21 ผลัก controller มาอยู่ในตำแหน่ง off

2.22 กด switch temperature, timer และผลัก switch start/stop มาอยู่ในตำแหน่ง off

2.23 ปิด switch ด้านข้างเครื่องทดสอบมาอยู่ในตำแหน่ง off

2.24 ปิด power ของ recorder และยก pen ขึ้น

2.25 ถอดสายไฟทั้งหมดออก

2.26 ถอดลูกบอลไปหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรอยสึกของลูกบอลแต่ละลูก

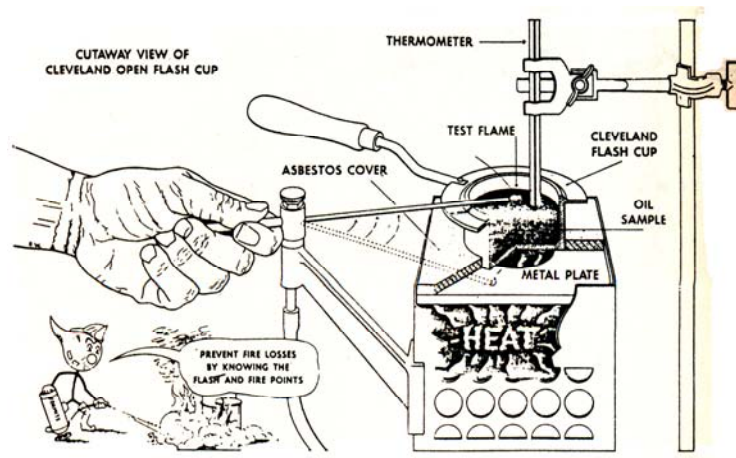


ภาพที่ ค-4 เครื่องทดสอบ 4 ball test

3. การทดสอบการหาค่าจุดวาบไฟ

- 3.1 เทน้ำมันที่ผสมไว้ ลงใน test cup ให้ถึงขีดที่กำหนด นำ test cup วางลงตรงตำแหน่ง
 - 3.2 ใส่ฝาครอบ test cup ให้ตรงตำแหน่ง เลื่อน Igniter ให้เข้ากับตำแหน่ง
 - 3.3 ประกอบ stirrer (90 ถึง 120 rpm) โดยปลายด้านหนึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง ใบพัดบนฝาครอบ และ ปลายอีกด้านหนึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง Stirrer motor บนตัวเครื่อง
 - 3.4 ประกอบ thermometer ASTM เข้าไปที่ช่องใส่บนฝาครอบ
 - 3.5 เปิด switch ให้ heater และใบกวนทำงาน โดยควบคุมความร้อนกับตัวอย่างที่อัตรา 5 องศาเซลเซียส ถึง 6 องศาเซลเซียส (9 ถึง 11 องศาฟาเรนไฮต์) ต่อนาที
 - 3.6 เปิด switch ที่ electro ignition และทำการทดสอบโดย การปิดมือหมุนทดสอบบนฝาครอบโดยขึ้นอยู่กับสภาวะการทดสอบดังนี้
 - 3.7 ในกรณีที่สารทดสอบมีจุดวาบไฟต่ำกว่า 110 องศาเซลเซียส (260 องศาฟาเรนไฮต์) ให้เริ่มนับอุณหภูมิทดสอบที่ต่ำกว่า expected flash point 17 องศาเซลเซียส (30 องศาฟาเรนไฮต์) ถึง 28 องศาเซลเซียส (50 องศาฟาเรนไฮต์) โดยอ่านค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ทุกๆ 1 องศาเซลเซียส (2 องศาฟาเรนไฮต์)
 - 3.8 ถ้าสารตัวอย่างมีค่า flash point สูงกว่า 110 องศาเซลเซียส (230 องศาฟาเรนไฮต์) ก็เริ่มทดสอบที่อุณหภูมิ ต่ำกว่า expected flash point 17 องศาเซลเซียส เช่นกันแต่อ่าน อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นคราวละ 2 องศาเซลเซียส (5 องศาฟาเรนไฮต์)
- หมายเหตุ ค่าวาบไฟที่สังเกตได้เป็นค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในถ้วยทดสอบ หากความจริงแล้ว การทำงานหรือการใช้งานผลิตภัณฑ์นั้น บรรยากาศและสิ่งแวดล้อมต่างๆ ก็มีความสำคัญในการ ได้มาซึ่งค่าจุดวาบไฟที่ถูกต้อง ดังนั้นจึงควรระบุที่ทำการทดลองด้วย

3.9 บันทึกผลการทดสอบ



ภาพที่ ค-5 แสดงการทดสอบการหาจุดวาบไฟ

ภาคผนวก ง

ตารางและแผนภาพประกอบการหาความชื้น

ตารางที่ ง-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิที่มีค่าดัชนีความหนืดสูงและต่ำ
(หน่วยวินาทีเซย์โบลต์) [4]

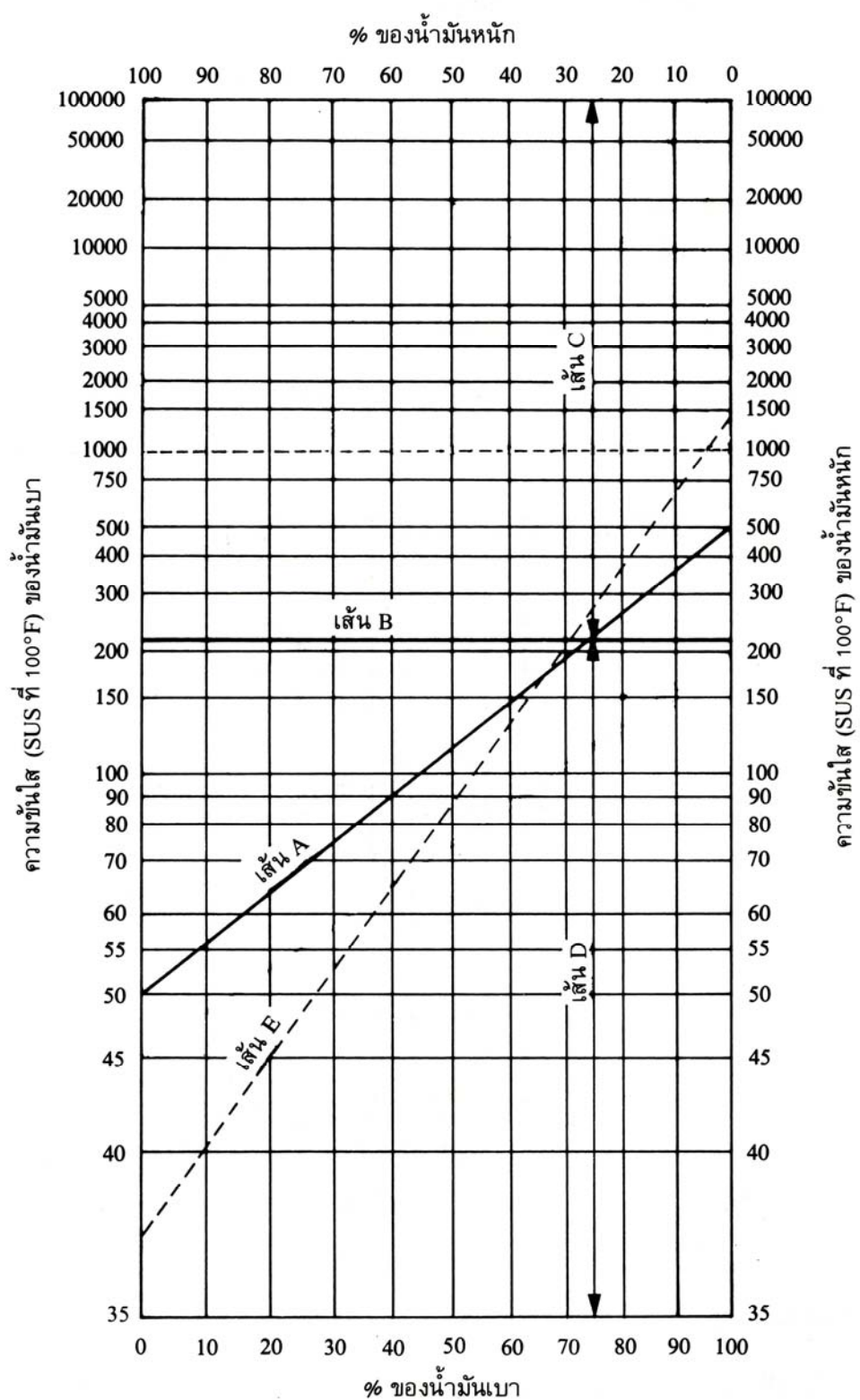
ค่าความหนืดที่ 210 °F (SUS)	H	L	L-H
60	425	780	355
65	514	976	462
70	604	1182	578
75	697	1399	702
80	791	1627	836
85	888	1865	977
90	986	2115	1129
95	1087	2375	1288
100	1189	2646	1457
105	1294	2928	1634
110	1401	3220	1819
115	1510	3523	2013
120	1620	3838	2218
125	1733	4163	2430
130	1848	4498	2650
135	1965	4845	2880
140	2084	5202	3118
145	2205	5570	3365
150	2328	5949	3621
160	2580	6740	4160
170	2840	7573	4733
180	3109	8450	5341
190	3385	9370	5985
200	3670	10333	6663
225	4418	12930	8512
250	5217	15796	10579
300	6967	22340	15373

ตารางที่ ง-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิที่มีค่าดัชนีความหนืดสูงและต่ำ
(หน่วย เซนติสโตก) [4]

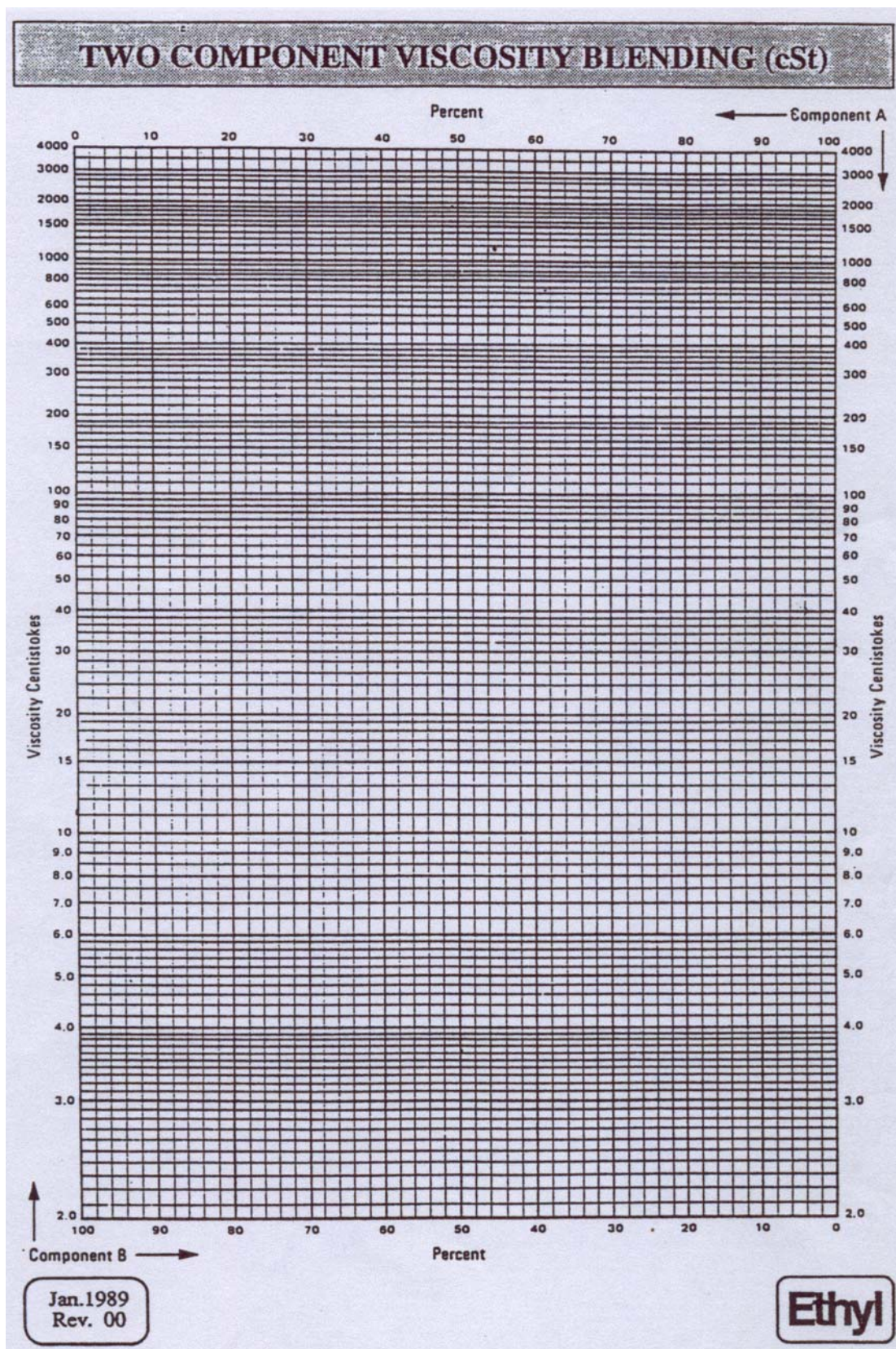
ค่าความหนืดที่ 210 °F (SUS)	H	L
8.00	63.72	108.86
8.10	64.97	111.42
8.20	66.25	114.06
8.30	67.50	116.65
8.40	68.75	119.30
8.50	70.04	121.92
8.60	71.29	127.53
8.70	72.54	127.15
8.80	73.79	129.78
8.90	75.09	132.51
9.00	76.35	135.17
9.10	77.61	137.84
9.20	78.88	140.51
9.30	80.18	143.28
9.40	81.45	145.99
9.50	82.71	148.69
9.60	83.98	151.41
9.70	85.26	154.15
9.80	86.57	156.98
9.90	87.85	159.72
10.00	89.18	162.49
10.10	90.46	165.36
10.20	91.81	168.30
10.30	93.13	171.19
10.40	94.46	174.07
10.50	95.82	177.07
10.60	97.15	179.98
10.70	97.49	182.90
10.80	99.82	185.85

ตารางที่ ง-2 (ต่อ)

ค่าความหนืดที่ 210 °F (SUS)	H	L
10.90	101.20	188.87
11.00	102.54	191.85
11.10	103.91	194.90
11.20	105.30	197.96
11.30	106.72	201.15
11.40	108.10	204.24
11.50	109.49	207.34
11.60	110.89	210.47
11.70	112.27	213.60
11.80	113.71	216.83
11.90	115.11	219.98
12.00	116.51	223.14



ภาพที่ ง-1 ค่าความหนืดผสมระหว่างของเหลวสองชนิดที่มีหน่วยเป็นวินาทีเซย์โบลต์ [4]



ภาพที่ ง-2 ค่าความหนืดผสมระหว่างของเหลวสองชนิดที่มีหน่วยเป็นเซนติสโตก

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นางสาวอิสราวัจน์ อุดรเทพ
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันปาล์มสำหรับรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเคมี

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว ปัจจุบันบ้านเลขที่ 18 ถนนเทศบาล 3 หมู่ 2 ตำบลสบปราบ อำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง 52170

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา จากโรงเรียนอรุโณทัย จังหวัดลำปาง สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนอรุโณทัย จังหวัดลำปาง สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย จังหวัดลำปาง และสำเร็จการศึกษาระดับอุดมศึกษา สาขาวิศวกรรมจักรกลการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่