



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
(ส่วนที่ 2/2)

โครงการ

คุณสมบัติเชื้อเพลิงและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซล
จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

ส่วนที่ 2 : คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงและทางเคมีของน้ำมันปาล์ม

โดย นายชัยศ ตั้งสฤติย์กุลชัย และคณะ

รายงานเมื่อ ๒๐ มกราคม ๒๕๔๖

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
(ส่วนที่ 2/2)

โครงการ

คุณสมบัติเชื้อเพลิงและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซล
จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

ส่วนที่ 2 : คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงและทางเคมีของน้ำมันปาล์ม

คณะผู้วิจัย

- 1) นายชัยศ ตั้งสฤติย์กุลชัย
- 2) นางมาลี ตั้งสฤติย์กุลชัย

สังกัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ

1. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่กรุณาให้ความสำคัญกับงานวิจัยนี้ โดยสนับสนุนทุนวิจัยตามสัญญาเลขที่ RDG4420015 สำหรับโครงการ "คุณสมบัติเชื้อเพลิงและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ"
2. ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้สนับสนุนให้ใช้ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือวิเคราะห์และทดสอบ ตลอดจนความช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี
3. รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เอกสมธราเมษฐ์ ผู้ประสานงานชุดโครงการวิจัย สกว. ที่ให้ความช่วยเหลือเอาใจใส่ตลอดจนส่งเอกสารและข่าวเกี่ยวกับปาล์มน้ำมันมาให้อย่างสม่ำเสมอ

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
สารบัญ.....	ข1
สรุปความสำหรับผู้บริหาร.....	ค1
บทคัดย่อ (ไทย).....	ง
บทคัดย่อ (อังกฤษ).....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ1
สารบัญรูป.....	ช1
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหางานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบข่ายของงานวิจัย.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ความรู้เกี่ยวกับน้ำมันพืชและการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิง.....	6
2.1 น้ำมันพืชและการวิเคราะห์องค์ประกอบ.....	6
2.2 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม [8]	12
2.3 น้ำมันดีเซลและสมบัติทางเชื้อเพลิง [9, 10, 11]	15
2.4 การนำน้ำมันพืชดิบไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล.....	26
บทที่ 3 ผลการศึกษา.....	29
3.1 ชนิดของน้ำมันปาล์มที่ศึกษา.....	29
3.2 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์ม.....	29
3.3 สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล.....	35
3.4 การปรับปรุงสภาพของน้ำมันปาล์มเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล.....	39
3.4.1 ผลของอุณหภูมิต่อสมบัติทางเชื้อเพลิง.....	39
3.4.2 การเจือจางน้ำมันปาล์มดิบด้วยน้ำมันดีเซล.....	47
3.4.3 การแยกไขปาล์มออกจากน้ำมันปาล์มดิบโดยการลดอุณหภูมิ.....	52
3.4.4 การลดปริมาณพันธะคู่ในน้ำมันปาล์ม.....	54
3.5 สมบัติของน้ำมันปาล์มหลังการเก็บกัก.....	58
3.6 เทคนิคการตรวจสอบสารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น.....	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	69
4.1 สรุปผล.....	69
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	71
บรรณานุกรม.....	72

- ภาคผนวก
- ก. การเผยแพร่ผลงานวิจัย
 - ข. ตารางแสดงกิจกรรมของโครงการวิจัย

สรุปความสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

ชื่อโครงการ : คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงและทางเคมีของน้ำมันปาล์ม

ชื่อผู้เสนอโครงการ : นายชัยศ ตั้งสฤติกุลชัย
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
โทรศัพท์ : 044-224490
โทรสาร : 044-224220

สรุปผลการดำเนินงาน

ความสำคัญ : งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย "คุณสมบัติเชื้อเพลิงและผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ" โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์ม ข้อมูลที่ได้จะเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการกำหนดสมบัติของน้ำมันปาล์มให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ต่อไปนี้

1. เพื่อทราบองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันปาล์มประเภทต่าง ๆ เช่น น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันเมล็ดในปาล์มและ น้ำมันปาล์มโอเลอิน เป็นต้น
2. เพื่อทราบข้อมูลสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มเทียบกับน้ำมันดีเซล
3. ศึกษาการปรับสภาพน้ำมันปาล์มดิบเพื่อลดความหนืดโดยใช้กระบวนการทางกายภาพอย่างง่ายและไม่ซับซ้อน
4. ศึกษาผลกระทบของระยะเวลาการเก็บกักน้ำมันปาล์มที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและทางเชื้อเพลิง

การวิจัย : ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์ม 3 ชนิด (น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มดิบกรองที่ 28°C และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม) และสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ของน้ำมันปาล์ม 5 ชนิด (ปาล์มดิบ ปาล์มดิบกรอง ปาล์มกลั่นถึงบริสุทธิ์ เมล็ดในปาล์ม และปาล์มโอเลอิน) นอกจากนั้นยังศึกษาการปรับสภาพน้ำมันปาล์มดิบเพื่อลดความหนืดโดยวิธี 1) เพิ่มอุณหภูมิ 2) เจือจางด้วยน้ำมันดีเซล 3) ตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิต่ำ และศึกษาการลดแนวโน้มการเกิดสารสะสมในห้องเผาไหม้โดยกระบวนการเติมอากาศให้กับน้ำมันที่อุณหภูมิสูง งานวิจัยนี้ยังวิเคราะห์น้ำมันปาล์มตัวอย่างที่ผ่านการเก็บกักมาแล้วเป็นเวลา 1 ปี เพื่อ

ตรวจสอบถึงความเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ยกเว้นค่าความหนืดซึ่งมีค่าที่สูงกว่าความหนืดของน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก (ประมาณ 12 เท่า ที่อุณหภูมิ 40°C)

ทำซ้ำได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์การปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบในเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้เทคนิค FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

ผลที่ได้และข้อเสนอแนะ

1. น้ำมันปาล์มทุกชนิดที่ทดสอบมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ยกเว้นค่าความหนืดซึ่งมีค่าที่สูงกว่าความหนืดของน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก (ประมาณ 12 เท่า ที่อุณหภูมิ 40°C)
2. ได้ข้อมูลที่จะแยกแยะและครบถ้วนเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์ม
3. ได้ข้อมูลผลของอุณหภูมิต่อความหนืด ความตึงผิวและความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มในช่วงอุณหภูมิ 20-100°C
4. การให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มและหรือผสมน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่เหมาะสมเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากในการควบคุมความหนืดของน้ำมันปาล์มที่มีประสิทธิภาพ
5. พิสูจน์ได้ว่าการเก็บน้ำมันปาล์มไว้ในสภาวะที่เหมาะสมเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ปี จะไม่มีผลกระทบต่อสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์ม
6. สามารถใช้เทคนิค FTIR ในการตรวจสอบทั้งลักษณะและปริมาณของสารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นได้
7. ควรทำการศึกษาต่อไปเพื่อกำหนดมาตรฐานทางเชื้อเพลิงและองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มที่เหมาะสมที่สุดเพื่อสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยมีผลกระทบน้อยที่สุด

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและวัดสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มชนิดต่าง ๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล เพื่อรวบรวมข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

ผลการศึกษาแสดงว่าน้ำมันปาล์มมีขนาดของโครงสร้างทางเคมีที่ใหญ่กว่าของน้ำมันดีเซล ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์เมื่อนำไปใช้งาน สมบัติทางเชื้อเพลิงในกลุ่มของการระเหยและการติดไฟสำหรับน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซลมีค่าใกล้เคียงกันแต่สมบัติการไหลซึ่งได้แก่ ค่าความหนืด พบว่าความหนืดของน้ำมันปาล์มทุกชนิดที่นำมาทดสอบมีค่าที่สูงกว่าของน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก แต่ความแตกต่างนี้มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น จากการศึกษาการปรับสภาพของน้ำมันปาล์มดิบเพื่อลดค่าความหนืดพบว่าการลดความหนืดโดยการเพิ่มอุณหภูมิและการผสมกับน้ำมันดีเซลเป็นวิธีการที่ให้ผลดีและไม่ยุ่งยากและพบว่าการลดความหนืดโดยการตกผลึกและกรองแยกไขออกจากน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องไม่ช่วยให้ความหนืดมีค่าลดลง

การลดแนวโน้มการเกิดสารสะสมในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์โดยการป้อนอากาศผ่านน้ำมันปาล์มดิบและปาล์มดิบกรองที่สถานะ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง เพื่อลดปริมาณพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว พบว่าวิธีการนี้ใช้ได้ผลเฉพาะกับน้ำมันปาล์มดิบกรอง โดยสามารถเพิ่มระดับชั้นความอิ่มตัวได้ถึง 36% แต่ความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้กลับเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก จากการทดสอบน้ำมันปาล์มที่เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1 ปี พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเชื้อเพลิงที่สำคัญเช่น ความหนืด และค่าความร้อน เป็นต้น จากการใช้เทคนิควิเคราะห์ FTIR เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลชนิด direct injection ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง พบว่าสามารถใช้เทคนิคนี้ในการติดตามและตรวจสอบทั้งลักษณะและปริมาณของสารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นได้

Abstract

This research project is concerned with the determination of chemical characteristics and fuel properties of palm oils along with those of diesel oil. The data obtained can be employed for the selection of palm oil properties that suit for their use in a diesel engine.

It was discovered that palm oils had a larger chemical structure as compared to that of diesel oil, reflecting the possibility of incomplete combustion when fired in a diesel combustion engine. The volatility and ignition properties of palm oils and diesel oil were comparable but the viscosities of palm oils were much higher than those of diesel oil with the difference becoming less at higher temperatures. An attempt was made to lower the viscosity of crude palm oil by simple physical methods. It was found that increasing temperature and/or blending with diesel oil were effective in reducing the palm oil viscosity. However, the reduction of palm oil viscosity by crystallizing out the solid fat at temperatures below the ambient temperature produced almost no change in the viscosity of the separated oil. An effort was also made to transform the unsaturated portions of fatty acid to saturated components by aerating the palm oils to reduce the gumming potential of oils when burned in the diesel engine. The results showed that this technique worked reasonably well for the filtered palm oil (at 28°C) but not with the crude palm oil. The degree of saturation was found to increase by almost 36%, but the higher saturated fat product obtained showed a substantial increase in the viscosity, making it inappropriate for further use unless the viscosity is drastically reduced. In another experiment, the test palm oils were kept in closed containers for about a year and the various properties were checked. No significant changes were observed both for the physical appearance and the fuel properties of the oils such as viscosity and heating value. A method was developed to check for the possible contamination of lubricating oil of a direct-injection diesel engine run with crude palm oil for 135 hours, using the FTIR technique. It was found that this technique was able to detect the type and quantity of contaminant in the lubricating oil.

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สูตรของกรดไขมันบางชนิด [6].....	8
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ [7].....	9
ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันพืช [7].....	11
ตารางที่ 2.4 การกำหนดคุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับใช้กับเครื่องยนต์หมุนเร็ว (ประกาศกระทรวงพาณิชย์ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2541).....	19
ตารางที่ 2.5 การกำหนดคุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับใช้กับเครื่องยนต์หมุนช้า (ประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2541).....	20
ตารางที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันปาล์มตัวอย่างและน้ำมันดีเซล.....	31
ตารางที่ 3.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล.....	33
ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบและสมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์มที่ศึกษา.....	34
ตารางที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ของน้ำมันปาล์ม และน้ำมันดีเซล.....	37
ตารางที่ 3.5 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล.....	41
ตารางที่ 3.6 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความตึงผิวของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล.....	41
ตารางที่ 3.7 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล.....	42
ตารางที่ 3.8 ค่าคงที่ a และ b ในสมการ (3.1) : $\mu = aT^b$ ของน้ำมันชนิดต่าง ๆ.....	46
ตารางที่ 3.9 ค่าคงที่ c และ d ในสมการ (3.2) : $\sigma = c + dT$ ของน้ำมันชนิดต่าง ๆ.....	46
ตารางที่ 3.10 ค่าคงที่ m และ n ในสมการ (3.3) : $\rho = m + nT$ ของน้ำมันชนิดต่าง ๆ.....	46
ตารางที่ 3.11 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและ น้ำมันดีเซล.....	48
ตารางที่ 3.12 ค่าคงที่ a และ b ในสมการความหนืด $\mu = aT^b$ ของน้ำมันผสมระหว่าง น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันดีเซล.....	50
ตารางที่ 3.13 ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มดิบที่กรองแยกไขออกแล้ว.....	53
ตารางที่ 3.14 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบที่กรองแยกไขออกแล้ว.....	53
ตารางที่ 3.15 ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบที่กรองแยกไขออกแล้ว.....	53
ตารางที่ 3.16 ตัวเลขไอโอดีนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่เวลาต่าง ๆ.....	56
ตารางที่ 3.17 ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง.....	57
ตารางที่ 3.18 ค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง.....	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 3.19 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง.....	58
ตารางที่ 3.20 ค่าความร้อน (Gross heating value) ของน้ำมันปาล์มที่เก็บกักเป็นเวลา 1 ปี.....	59
ตารางที่ 3.21 ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มที่เก็บกักเป็นเวลา 1 ปี.....	59
ตารางที่ 3.22 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่เก็บกักเป็นเวลา 1 ปี.....	59
ตารางที่ 3.23 ตัวอย่างการระบุหมู่ฟังก์ชันจากการพิจารณาตำแหน่งยอดกราฟ (peak) ตามตัวเลขคลื่น (wave number) โดยเทคนิค FTIR.....	61

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์เมธิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (FAME) จากน้ำมันปลา (fish oil) ชนิดหนึ่ง โดยใช้เทคนิค gas chromatograph (GC) [6].....	10
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มในอุตสาหกรรม [8].....	13
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการทำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ [8].....	15
รูปที่ 2.4 ก. เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน (Bomb Calorimeter, ASTM D240).....	21
รูปที่ 2.4 ข. เครื่องวิเคราะห์การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Corrosion Test, ASTM I30).....	21
รูปที่ 2.4 ค. เครื่องวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิการกลั่น (Distillation Unit, ASTM 86).....	22
รูปที่ 2.4 ง. เครื่องวิเคราะห์จุดวาบไฟแบบปิดของ Pensky-Marsten (Pensky-Marsten Closed Cup Test, ASTM D93).....	22
รูปที่ 2.4 จ. เครื่องวิเคราะห์จุดวาบไฟแบบเปิดของ Cleveland (Cleveland Open Cup Test, ASTM D92).....	23
รูปที่ 2.4 ฉ. เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณกากคาร์บอนของแรมส์บอตตอม (Ramsbottom Carbon Residue Test, ASTM D524).....	23
รูปที่ 2.4 ช. เครื่องวิเคราะห์ความดันไอ (Reid Vapor Pressure Apparatus, ASTM D323).....	24
รูปที่ 2.4 ซ. เครื่องวิเคราะห์ความหนืด (Capillary Kinematic Viscometer, Cannon-Fenske Opaque, ASTM D445).....	24
รูปที่ 2.4 ฅ. เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (Muffle furnace, ASTM D482).....	25
รูปที่ 3.1 ข้อมูลการกลั่นของน้ำมันปาล์มตัวอย่างและน้ำมันดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D86...	38
รูปที่ 3.2 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล.....	43
รูปที่ 3.3 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความตึงผิวของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล.....	44
รูปที่ 3.4 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล.....	45
รูปที่ 3.5 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบ.....	49
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ a ในสมการ $\mu = aT^b$ และร้อยละโดยปริมาตรของน้ำมันปาล์มดิบ.....	50
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ b ในสมการ $\mu = aT^b$ และร้อยละโดยปริมาตรของน้ำมันปาล์มดิบ.....	51
รูปที่ 3.8 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันปาล์มดิบก่อน (ก) และหลัง (ข) การเติมอากาศที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง (อัตราการป้อนอากาศ 3 ลิตรต่อนาที).....	55

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.9 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันปาล์มดิบกรองก่อน (ก) และหลัง (ข) การเติมอากาศ ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง (อัตราการป้อนอากาศ 3 ลิตรต่อนาที).....	55
รูปที่ 3.10 ผลของเวลาที่มีต่อตัวเลขไอโอซินของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการเติมอากาศ (อุณหภูมิ 80°C, อัตราการไหลของอากาศ 3 ลิตรต่อนาที).....	56
รูปที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันหล่อลื่นบริสุทธิ์.....	62
รูปที่ 3.12 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันผสมมาตรฐาน (หล่อลื่น 95%+ปาล์มดิบ 5%).	63
รูปที่ 3.13 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันผสมมาตรฐาน (หล่อลื่น 90%+ปาล์มดิบ10%).	64
รูปที่ 3.14 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันผสมมาตรฐาน (หล่อลื่น 85%+ปาล์มดิบ15%).	65
รูปที่ 3.15 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันผสมมาตรฐาน (หล่อลื่น 50%+ปาล์มดิบ50%).	66
รูปที่ 3.16 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันปาล์มดิบ.....	67
รูปที่ 3.17 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลา 135 ชั่วโมง.....	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหางานวิจัย

เป็นที่ทราบกันดีว่าพลังงานเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาประเทศ โดยที่ความต้องการของการใช้พลังงานจะเป็นดัชนีหนึ่งที่ชี้วัดถึงอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศ พลังงานส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 95 ถูกนำไปใช้ในภาคเศรษฐกิจหลักสามประเภท ได้แก่ การคมนาคมและขนส่ง การผลิตในภาคอุตสาหกรรมและอาคารพาณิชย์และที่อยู่อาศัย [1] โดยภาคขนส่งมีส่วนการใช้พลังงานสูงสุดตลอดมาและสูงถึงประมาณร้อยละ 40 อุปสงค์ด้านพลังงานของประเทศในปี พ.ศ. 2543 มีสัดส่วนดังนี้ : ปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ร้อยละ 51 ก๊าซธรรมชาติร้อยละ 33 ถ่านหินร้อยละ 13 และชีวมวลร้อยละ 3 [2] จะเห็นว่าพลังงานที่ใช้ในปัจจุบันประมาณร้อยละ 97 เป็นพลังงานที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล จากตัวเลขความต้องการพลังงานทั้งหมดพบว่า ประมาณร้อยละ 60 ต้องมีการนำเข้า ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำมันดิบและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ที่เหลือเป็นถ่านหินคุณภาพดีและกระแสไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน

การที่ประเทศยังต้องพึ่งพาแหล่งพลังงานจากภายนอกย่อมส่งผลกระทบต่ออย่างน้อยสองประการ ได้แก่ การสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการสั่งซื้อเชื้อเพลิงและการเสี่ยงต่อเสถียรภาพด้านพลังงาน ความผันผวนของราคาน้ำมันหรือราคาน้ำมันที่แพงจนเกินไปเนื่องจากความอ่อนไหวของเศรษฐกิจโลกหรือภัยคุกคามจากสถานะสงครามจะส่งผลให้เกิดความชะงักงันของสภาพเศรษฐกิจโดยรวมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่ต้องเตรียมการและแก้ปัญหาความมั่นคงด้านพลังงาน โดยใช้มาตรการจำเป็นในด้านต่าง ๆ อาทิ การลงทุนสำรวจและพัฒนาแหล่งพลังงานเพิ่มเติม ขยายการส่งเสริมมาตรการและเทคโนโลยีการประหยัดพลังงานทั้งในภาครัฐและเอกชน ตลอดจนการนำพลังงานหมุนเวียนต่าง ๆ มาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

เมื่อพิจารณาถึงการใช้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมพบว่าสัดส่วนการใช้แบ่งได้เป็น น้ำมันดีเซลร้อยละ 44 น้ำมันเตาร้อยละ 24 น้ำมันแก๊สโซลีนร้อยละ 18 น้ำมันเครื่องบินร้อยละ 9 และอื่น ๆ อีกร้อยละ 5 จะเห็นว่ามีการใช้ น้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่สูงกว่าน้ำมันประเภทอื่นค่อนข้างมาก (ประมาณ 15,000 ล้านลิตรต่อปี [3]) เนื่องจากถูกนำไปใช้ในสาขาคมนาคมขนส่ง ซึ่งเป็นกิจกรรมหลักในการขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจของประเทศ อย่างไรก็ตามพลังงานฟอสซิลมีปริมาณสำรองลดน้อยลงเรื่อย ๆ ประกอบกับการใช้พลังงานฟอสซิลมีส่วนทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกจากการสะสมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ ตลอดจนการสร้างมลพิษในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ไฮโดรคาร์บอนหรือฝนกรดจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น ดังนั้นการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ทดแทนพลังงานฟอสซิลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในระดับหนึ่ง

แนวคิดหนึ่งที่น่าสนใจคือการใช้น้ำมันพืชที่สกัดจากพืชน้ำมันประเภทต่าง ๆ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายในระบบอัด (เครื่องยนต์ดีเซล) เนื่องจากน้ำมันพืชมีสมบัติทางเชื้อเพลิงที่คล้ายกับน้ำมันดีเซล เช่น ค่าความร้อน ความหนาแน่นและตัวเลขซีเทน เป็นต้น การนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลมีข้อดีหลายประการ เช่น

- 1) ช่วยเพิ่มเสถียรภาพของแหล่งพลังงานในระยะยาว
- 2) ช่วยลดการใช้พลังงานฟอสซิล
- 3) ไม่เพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ เนื่องจากการปลูกพืชน้ำมันทดแทน
- 4) ไม่ทำให้เกิดสถานะฝนกรดเนื่องจากมีกำมะถันอยู่น้อยมากในน้ำมันพืช
- 5) เป็นพลังงานสะอาดที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไม่ทำให้เกิดปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเกิดการรั่วไหล
- 6) มีความปลอดภัยในการเก็บและขนส่งเนื่องจากมีจุดวาบไฟสูง
- 7) ช่วยพุงราคาผลิตผลทางการเกษตร หากมีการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงอย่างแพร่หลาย จะช่วยให้เกษตรกรมีรายได้ที่แน่นอนและเป็นธรรม

การนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง มีข้อจำกัดที่สำคัญคือ ค่าความหนืดของน้ำมันพืชจะสูงกว่าของน้ำมันดีเซลประมาณ 20 เท่าที่อุณหภูมิปกติ เนื่องจากมีขนาดของโครงสร้างโมเลกุลที่ใหญ่กว่า ซึ่งทำให้เกิดปัญหาต่อการไหลเวียนของเชื้อเพลิงในระบบและการดูดดันของระบบจ่ายเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำ รวมถึงปัญหาการแตกกระจายเป็นฝอยละอองของน้ำมันในห้องเผาไหม้ ส่งผลให้การเผาไหม้เกิดได้ไม่สมบูรณ์ เกิดสารตกค้างซึ่งมีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์ และก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม การแก้ปัญหาค่าความหนืดสูงของน้ำมันพืชทำได้สองวิธี ได้แก่

- 1) การใช้เครื่องยนต์ดีเซลที่ออกแบบใหม่ให้เหมาะกับการใช้น้ำมันพืชดิบ ตัวอย่างเช่น การพัฒนาเครื่องยนต์ Duotherm โดย Ludwig Elsbett ที่เรียก Elsbett Technology [4] ซึ่งเป็นการออกแบบระบบหัวฉีดเชื้อเพลิงชนิดฉีดตรง (direct injection) ในลักษณะการหมุนวนโดยไม่ให้เชื้อเพลิงปะทะกับผนังของกระบอกสูบขณะเกิดการเผาไหม้ ช่วยให้การเผาไหม้เกิดได้อย่างสมบูรณ์มากที่สุด
- 2) การปรับสภาพน้ำมันพืชโดยกระบวนการต่าง ๆ เพื่อให้ความหนืดลดลงโดยยังใช้เครื่องยนต์ดีเซลในปัจจุบันซึ่งมีอยู่หลายวิธีการ ได้แก่
 - การเพิ่มอุณหภูมิโดยตรง
 - การเจือจางน้ำมันพืชดิบด้วยน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าด
 - การแปลงสภาพน้ำมันพืชให้อยู่ในรูปของอัลคิลเอสเทอร์ (alkyl ester) โดยกระบวนการ transesterification ได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกไบโอดีเซล (biodiesel)

- การทำน้ำมันพืชให้อยู่ในรูปของ microemulsion ซึ่งเป็นสภาวะการกระจายหยดน้ำมันดีเซลให้แขวนลอยอยู่ในเฟสของน้ำมันพืช โดยการใช้สารลดความตึงผิว แอลกอฮอล์และสารเพิ่มค่าซีเทน
- กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) เพื่อลดขนาดโมเลกุลของน้ำมันพืชโดยกระบวนการทางความร้อนในบรรยากาศที่ขาดอากาศหรือออกซิเจน

งานวิจัยที่ดำเนินการในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเน้นที่การแปลงสภาพน้ำมันพืชให้เป็นไบโอดีเซล [5] เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติทางเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด อย่างไรก็ตามการผลิตไบโอดีเซลยังมีต้นทุนที่สูงเมื่อเทียบกับการนำน้ำมันพืชดิบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง โครงการงานวิจัยชุดนี้จึงมุ่งศึกษาการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้แทนน้ำมันดีเซล โดยลดความหนืดด้วยการให้ความร้อนโดยตรง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งอาจนำไปสู่การเลือกสภาวะการทำงานและชนิดของเครื่องยนต์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง สำหรับรายงานฉบับนี้เป็นโครงการงานวิจัยที่ต้องการเก็บข้อมูลพื้นฐานในด้านต่าง ๆ ของน้ำมันปาล์ม ได้แก่ สมบัติทางกายภาพและทางเคมีรวมถึงสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล นอกจากนั้นยังศึกษาแนวทางในการปรับสภาพน้ำมันปาล์มเพื่อเพิ่มความเหมาะสมในการนำน้ำมันปาล์มในรูปต่าง ๆ ไปใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์มตัวอย่างประเภทต่าง ๆ
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มตัวอย่างทั้งน้ำมันใหม่และที่ผ่านการเก็บกักเทียบกับของน้ำมันดีเซล
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการแปลงสภาพน้ำมันปาล์มด้วยกระบวนการต่าง ๆ ที่ไม่ซับซ้อนเพื่อลดปัญหาในการนำไปใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล
- 1.2.4 พัฒนาวิธีวิเคราะห์และตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง

1.3 ขอบข่ายของงานวิจัย

- 1.3.1 วัสดุสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซลตามมาตรฐาน ASTM ตัวอย่างของน้ำมันที่ทดสอบได้แก่
 - น้ำมันปาล์มดิบ
 - น้ำมันปาล์มดิบกรองที่อุณหภูมิห้อง (28°C)
 - น้ำมันเมสตีลในปาล์ม
 - น้ำมันปาล์มกลั่นถึงบริสุทธิ์

- น้ำมันปาล์มโอเลอิน
 - น้ำมันคิเซล
- 1.3.2 วัดองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันถั่วลิสงบริสุทธิ์ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม โดยแบ่งเป็น
- การวัดองค์ประกอบน้ำมันพืชในรูปของ Fatty acid methyl esters (FAME)
 - การหาเปอร์เซ็นต์พันธะคู่และพันธะเดี่ยวขององค์ประกอบน้ำมันพืชในรูปของเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวรวมถึงค่าไอโอดีน (iodine value) ซึ่งบอกถึงระดับความไม่อิ่มตัวของน้ำมันพืชที่เกิดจากพันธะคู่
 - การวัดปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปของค่าความเป็นกรด (acid value)
- 1.3.3 วัดสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความหนืด ความหนาแน่นและความตึงผิวของน้ำมันตัวอย่างในช่วงอุณหภูมิ 20-100°C
- 1.3.4 ศึกษาการปรับสภาพน้ำมันปาล์มให้มีสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล แบ่งเป็น
- ผสมน้ำมันปาล์มกับน้ำมันคิเซลในสัดส่วนต่าง ๆ และวัดค่าความหนืดที่อุณหภูมิค่าต่าง ๆ
 - กรองน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง เพื่อแยกไขมันที่แขวนลอยออกจากส่วนที่เป็นของเหลว เพื่อลดค่าความหนืดลงและวัดสมบัติทางเชื้อเพลิงที่สำคัญ
 - ลดองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มที่เป็นพันธะคู่ เพื่อลดแนวโน้มการเกิดสารสะสมหลังการเผาไหม้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน โดยการเป่าอากาศผ่านภายใต้การควบคุมเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม
- 1.3.5 วิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงและกายภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการเก็บกักมาแล้วที่ระยะเวลาหนึ่ง
- 1.3.6 ศึกษาวิธีวิเคราะห์การปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบในเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้เทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไป

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้วิธีวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันคิเซลตามมาตรฐาน ASTM และการประยุกต์วิธีวิเคราะห์นี้สำหรับน้ำมันปาล์ม
2. ได้ฐานข้อมูลโดยละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ ตลอดจนสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มประเภทต่าง ๆ ทั้งน้ำมันที่ยังไม่ถูกปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยกระบวนการต่าง ๆ

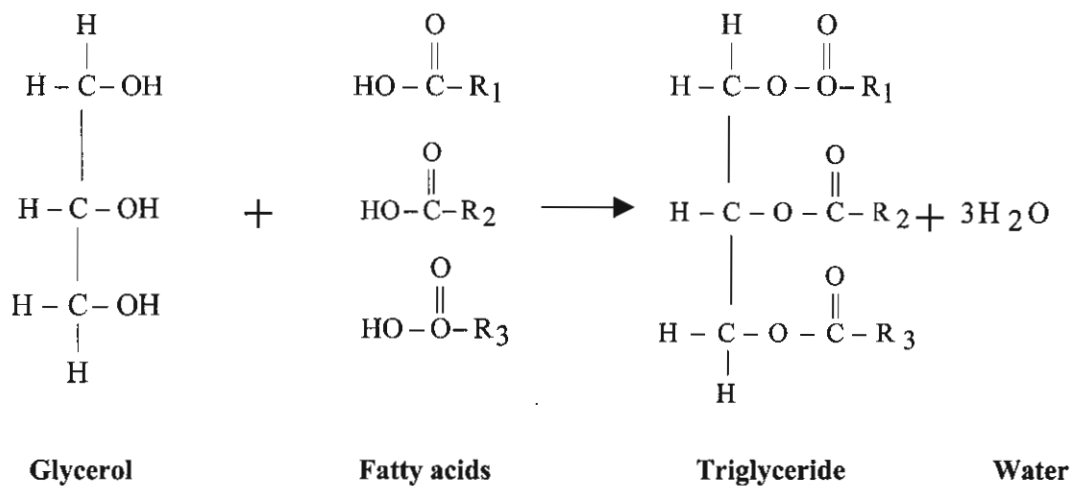
3. ข้อมูลสมบัติทางเชื้อเพลิงและทางกายภาพจะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกและกำหนดสภาวะที่เหมาะสมต่อการใช้งานของน้ำมันปาล์มในเครื่องยนต์ดีเซล
4. เป็นส่วนหนึ่งของการสร้างองค์ความรู้ในการนำน้ำมันปาล์มมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกเพื่อช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงาน
5. หากการนำน้ำมันปาล์มมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ผลดีจะช่วยให้เกิดการส่งเสริมให้มีการปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลดีต่อภาคเกษตรกรรมโดยรวมในแง่ของเสถียรภาพของราคาปาล์มน้ำมัน

บทที่ 2

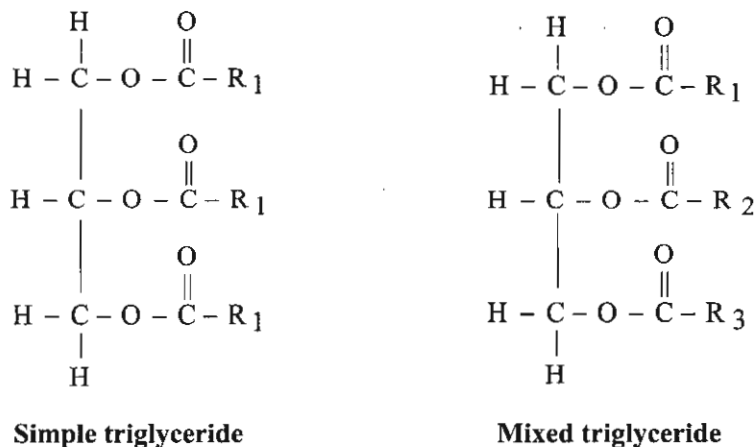
ความรู้เกี่ยวกับน้ำมันพืชและการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิง

2.1 น้ำมันพืชและการวิเคราะห์องค์ประกอบ

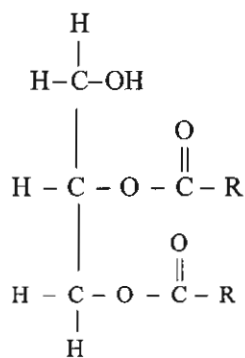
องค์ประกอบของน้ำมันพืชมากกว่าร้อยละ 90 จะเป็นสารอินทรีย์จำพวกไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวทางเคมีของกลีเซอรอล (Glycerol) หนึ่งโมเลกุลกับกรดไขมัน (Fatty acid) จำนวนสามโมเลกุลดังสมการ



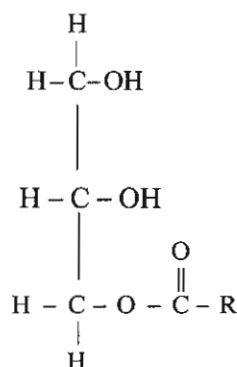
โดยที่ $\text{R}_1, \text{R}_2, \text{R}_3$ แสดงสัญลักษณ์แทนหมู่แอลคิล ($\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$) ซึ่งอยู่ติดกับอะตอมคาร์บอนของหมู่ carboxyl (COOH) ซึ่งมาจากกรดไขมัน ถ้ากรดไขมันทั้งสามโมเลกุลเป็นโมเลกุลที่เหมือนกัน จะเรียกไตรกลีเซอไรด์อย่างง่าย (Simple triglyceride) แต่ถ้าเป็นโมเลกุลต่างชนิดกันจะเรียกไตรกลีเซอไรด์แบบผสม (Mixed triglyceride) แสดงด้วยโครงสร้างดังนี้



หากมีโมเลกุลของกรดไขมันเพียงสองโมเลกุลอยู่ติดกับโมเลกุลของกลีเซอรอลจะเรียกไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) แต่ถ้ามีเพียงหนึ่งโมเลกุลจะเรียกโมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) แสดงโครงสร้างข้างล่าง

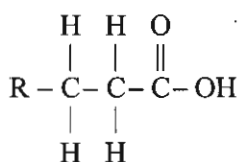


Diglyceride

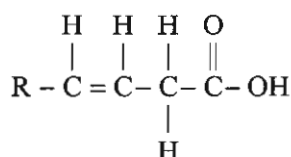


Monoglyceride

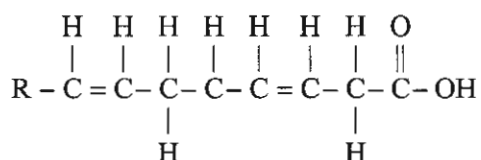
กรดไขมันซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืชแบ่งออกได้เป็นกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) โดยความแตกต่างอยู่ที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่ในโมเลกุล ขณะที่กรดไขมันอิ่มตัวจะมีโครงสร้างเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด กรดไขมันไม่อิ่มตัวอาจมีพันธะคู่มากกว่าหนึ่งคู่ (Polyunsaturated fatty acid) ทำให้เกิดสถานะไม่เสถียร โดยสามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วกับออกซิเจนหรือไฮโดรเจน โครงสร้างอย่างง่ายของกรดไขมันทั้งสองประเภทแสดงได้ดังนี้



Saturated fatty acid



Unsaturated fatty acid



Polyunsaturated fatty acid (or polyenoic)

ตารางที่ 2.1 แสดงการจำแนกกรดไขมันที่สำคัญ ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันจากพืชและสัตว์

ตารางที่ 2.1 สูตรของกรดไขมันบางชนิด [6]

Fatty acid	Carbon atoms	Double bonds	Melting point °C
Butyric	4	0	-8
Caproic	6	0	13.4
Caprylic	8	0	16.7
Capric	10	0	31.6
Lauric	12	0	44.2
Myristic	14	0	54.4
Palmitic	16	0	62.9
Stearic	18	0	69.6
Oleic	18	1	16.3
Linoleic	18	2	-6.5
Linolenic	18	3	-12.8
Arachidic	20	0	75.4
Gadoleic	20	1	23.0
Arachidonic	20	4	-40.0
Behenic	22	0	79.9
Erucic	22	1	33.5
Lignoceric	24	0	84.2

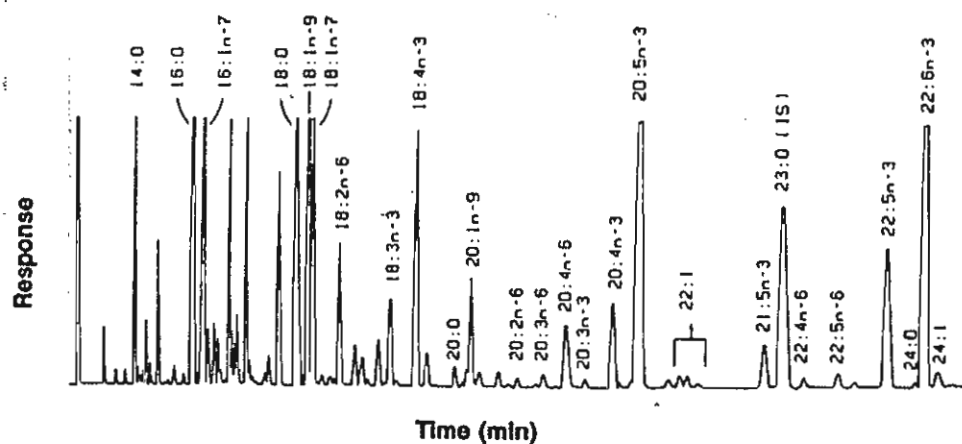
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ [7]

Source	Carbon atom : double bonds												
	<14:0	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	22:0	22:1	24:0
Almond oil	-	-	6.5	0.6	1.7	69.4	17.4	-	-	-	-	-	-
Avocado oil	-	-	11.0	3.4	0.7	71.5	12.0	1.5	-	-	-	-	-
Barely bran oil	-	0.5	10.8	0.2	1.0	17.8	55.3	4.4	-	-	-	-	-
Borage oil	-	-	11.3	-	3.7	16.3	38.1	23.0	0.2	3.9	-	2.4	-
Buffalo gourd seed oil	-	-	11.8	-	3.5	21.9	60.6	-	-	-	-	-	-
Butter fat	23.8	8.2	21.3	1.8	9.8	20.4	1.8	1.2	-	-	-	-	-
Canola oil	-	-	4.8	0.5	1.6	53.8	22.1	11.1	1.1	1.5	0.3	0.1	0.1
Cherry pit oil	-	-	7.8	0.4	2.4	43.9	44.8	0.5	0.7	-	-	-	-
Cocoa butter	-	0.1	25.4	0.2	33.2	32.6	2.8	0.1	-	-	-	-	-
Coconut oil	58.7	16.8	8.2	-	2.8	5.8	1.8	-	-	-	-	-	-
Corn oil	-	-	10.9	-	1.8	24.2	58.0	0.7	-	-	-	-	-
Cottonseed oil	-	0.8	22.7	0.8	2.3	17.0	51.5	0.2	-	-	-	-	-
Evening primrose oil	-	-	8.5	-	2.5	8.5	72.5	11.0	-	-	-	-	-
Fish oil	-	9.6	20.5	12.6	3.3	11.0	0.7	1.6	0.3	-	-	0.8	-
Grapeseed oil	-	0.1	6.7	0.3	2.7	15.8	69.6	0.1	-	-	-	-	-
Lard	0.5	1.3	23.8	2.7	13.5	41.2	10.2	1.0	-	1.0	-	-	-
Lupine oil	-	-	8.3	-	2.5	55.0	17.7	9.3	-	-	-	-	-
Macademia nut oil	-	0.6	8.5	21.7	3.7	56.0	1.7	-	-	1.4	-	-	-
Mango kernel oil	-	-	7.6	-	36.0	49.4	5.0	0.5	1.4	-	-	-	-
Mustard seed oil	-	0.1	1.9	0.3	0.1	17.7	9.1	0.5	0.6	3.91	1.8	55.1	0.2
Olive oil	-	-	11.0	0.8	2.2	72.5	7.9	0.6	-	-	-	-	-
Palm oil	0.1	1.0	43.5	0.3	4.3	36.6	9.1	0.2	-	0.1	-	-	-
Palm kernel oil	54.2	16.4	8.1	-	2.8	11.4	1.6	-	-	-	-	-	-
Peanut oil	-	0.1	9.5	0.1	2.2	44.8	32.0	-	-	1.3	-	-	1.8
Rapeseed oil	-	-	1.7	-	0.9	12.3	12.7	7.6	1.2	5.8	0.9	59.4	0.5
Rice bran oil	-	0.7	16.9	0.2	1.6	39.1	33.4	1.6	-	-	-	-	-
Safflower oil	-	0.1	6.2	0.4	2.2	11.7	74.1	0.4	-	-	-	-	-
Sesame oil	-	-	8.9	0.2	4.8	39.3	41.3	0.3	-	0.2	-	-	-
Soybean oil	-	0.1	10.3	0.2	3.8	22.3	51.0	6.8	-	-	-	-	-
Sunflower oil	-	-	5.4	3.5	80.6	8.4	0.2	0.3	-	-	-	-	-
Tallow	0.9	3.7	24.9	4.2	18.9	36.0	3.1	0.6	-	0.3	-	-	-
Teaseed oil	0.1	0.1	17.5	0.5	3.1	49.9	22.2	0.7	-	1.0	-	-	-
Tomato seed oil	-	0.2	15.0	0.5	4.4	21.9	50.8	2.3	-	-	-	-	-
Walnut oil	-	-	7.0	0.1	2.0	22.2	0.4	52.9	10.4	-	-	-	-

การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันพืชซึ่งประกอบด้วยสารไตรกลีเซอไรด์หลายชนิดผสมกัน มักนิยมวิเคราะห์ในรูปของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid methyl esters, FAME) โดยแสดงเป็นองค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acids) วิเคราะห์จะเริ่มจากการแยกกรดไขมันออกจากองค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์แล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของอนุพันธ์เอสเทอร์อย่างง่าย เช่น เมทิลเอสเทอร์ จากนั้นจะใช้เทคนิควิเคราะห์ที่เรียก Thin layer and gas chromatography หรือที่เรียกว่า Gas-liquid chromatography (GLC) เพื่อทำการแยกและวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันประเภทต่าง ๆ การเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ให้อยู่ในรูปของเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งมีขนาดของโมเลกุลเล็กลงทำให้ความสามารถในการระเหย (Volatility) เพิ่มขึ้น ช่วยให้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค chromatograph ทำได้สะดวกและมีประสิทธิภาพดีขึ้น วิเคราะห์ FAME เพื่อแสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชมีอยู่หลายมาตรฐาน ซึ่งโดยส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันในรายละเอียดมากนัก มาตรฐานเหล่านี้ได้แก่

- International Organization for Standardisation (ISO)
- British Standards Institution (BSI)
- The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)
- The Association of Official Agricultural Chemists (AOAC)
- The American Oil Chemists' Society (AOCS)

รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างผลที่ได้จากการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (FAME) ของน้ำมันตัวอย่างชนิดหนึ่ง โดยใช้ gas chromatograph method



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (FAME) จากน้ำมันปลา (fish oil) ชนิดหนึ่ง โดยใช้เทคนิค gas chromatograph (GC) [6]

นอกเหนือจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยตรงในรูปของ fatty acid methyl esters ยังมีวิธีวิเคราะห์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบและเคมีของน้ำมันพืช ตัวอย่างเช่น

1. ค่าความเป็นกรด (Acid value) ใช้วัดปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ที่ปนอยู่ในน้ำมันพืช โดยค่าความเป็นกรดคือ จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ทำปฏิกิริยาสะเทินพอดีกับกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชหนักหนึ่งกรัม
2. ค่าสะaponิฟิเคชัน (Saponification value) เป็นจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาสะaponิฟิเคชันกับน้ำมันพืชหนักหนึ่งกรัม ปฏิกิริยาสะaponิฟิเคชันคือปฏิกิริยาการเตรียมสบู่จากน้ำมันและสารละลายด่างโดยได้กลีเซอรอล (Glycerol) เป็นผลิตภัณฑ์ร่วม ค่าสะaponิฟิเคชันสามารถนำไปหาปริมาณของสารที่ไม่ใช่น้ำมัน (Nonoil) ในน้ำมันจากพืชและสัตว์ได้
3. ตัวเลขไอโอดีน (Iodine value) เป็นจำนวนกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดกลืนภายใต้สภาวะควบคุมโดยน้ำมันพืชหนัก 100 กรัม ค่าไอโอดีนเป็นตัววัดระดับขั้นความไม่อิ่มตัวจากพันธะคู่ (Degree of unsaturation) ในองค์ประกอบของน้ำมันพืช พันธะคู่ของอะตอมคาร์บอนจะดูดซับไอโอดีนได้ตามสมการ



ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างค่าสะaponิฟิเคชัน ค่าไอโอดีน ค่าดัชนีหักเหของแสงและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันพืช [7]

Vegetable oils	Saponification value	Iodine value	Refractive index	Specific gravity
Coconut	250-264	7.5-10.5	1.448-1.450	0.917-0.919
Corn	187-193	103-128	1.470-1.474	0.915-0.920
Cottonseed	189-198	99-113	1.468-1.472	0.916-0.918
Olive	185-200	77-94	1.469-1.470	0.912-0.913
Palm	196-206	51-58	1.453-1.456	0.857-0.860
Palm kernel	242-255	10-23	1.449-1.452	0.856-0.874
Peanut	188-195	82-106	1.470-1.472	0.910-0.915
Rapeseed	170-180	97-108	1.470-1.474	0.906-0.914
Soybean	189-195	120-141	1.470-1.476	0.917-0.921
Sunflower	188-194	125-136	1.466-1.684	0.894-0.899

2.2 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม [8]

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มจากทะลายปาล์มสด ประกอบด้วยขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (Extraction) และกระบวนการปรับสภาพน้ำมันปาล์มให้บริสุทธิ์ปราศจากกลิ่นและสิ่งเจือปนต่าง ๆ (Refining)

2.2.1 การสกัดน้ำมันปาล์ม ประกอบด้วยขั้นตอนที่ต่อเนื่องดังนี้

- การนึ่งด้วยไอน้ำ (Sterilization) เริ่มจากการนำทะลายปาล์มสด (Fresh fruit bunch) ผ่านเข้าระบบนึ่งทะลายปาล์มด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 143°C เป็นเวลาประมาณหนึ่งชั่วโมง โดยมีจุดประสงค์เพื่อหยุดยั้งการเกิดกรดไขมันอิสระจากการทำงานของสารเอนไซม์ เพื่อให้ง่ายต่อการแยกผลปาล์มสดออกจากทะลาย เพื่อเตรียมใยปาล์มให้เหมาะต่อการสกัดน้ำมันและเพื่อปรับเมล็ดในปาล์มไม่ให้แตกหักง่าย

- การแยกผลปาล์มสดจากทะลาย (Stripping) โดยใช้เครื่องแยกแบบทรงกระบอกหมุน (Drum stripper) ด้วยความเร็วรอบประมาณ 20-25 รอบต่อนาที ทะลายปาล์มจะถูกยกให้เคลื่อนตัวสูงขึ้นและตกลงกระแทกกับพื้นทำให้ผลปาล์มถูกแยกออกจากทะลายและถูกคัดแยกออกจากเครื่อง

- การย่อย (Digestion) เป็นขั้นตอนการเตรียมผลปาล์มสดก่อนการหีบน้ำมัน โดยการให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ $95-100^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้เส้นใยปาล์มที่ห่อหุ้มเมล็ดในคลายตัวจากเมล็ดในได้ง่ายขึ้น และเพื่อให้เซลล์น้ำมันเกิดการแตกตัว ทำให้การสกัดน้ำมันกระทำได้ง่ายขึ้น

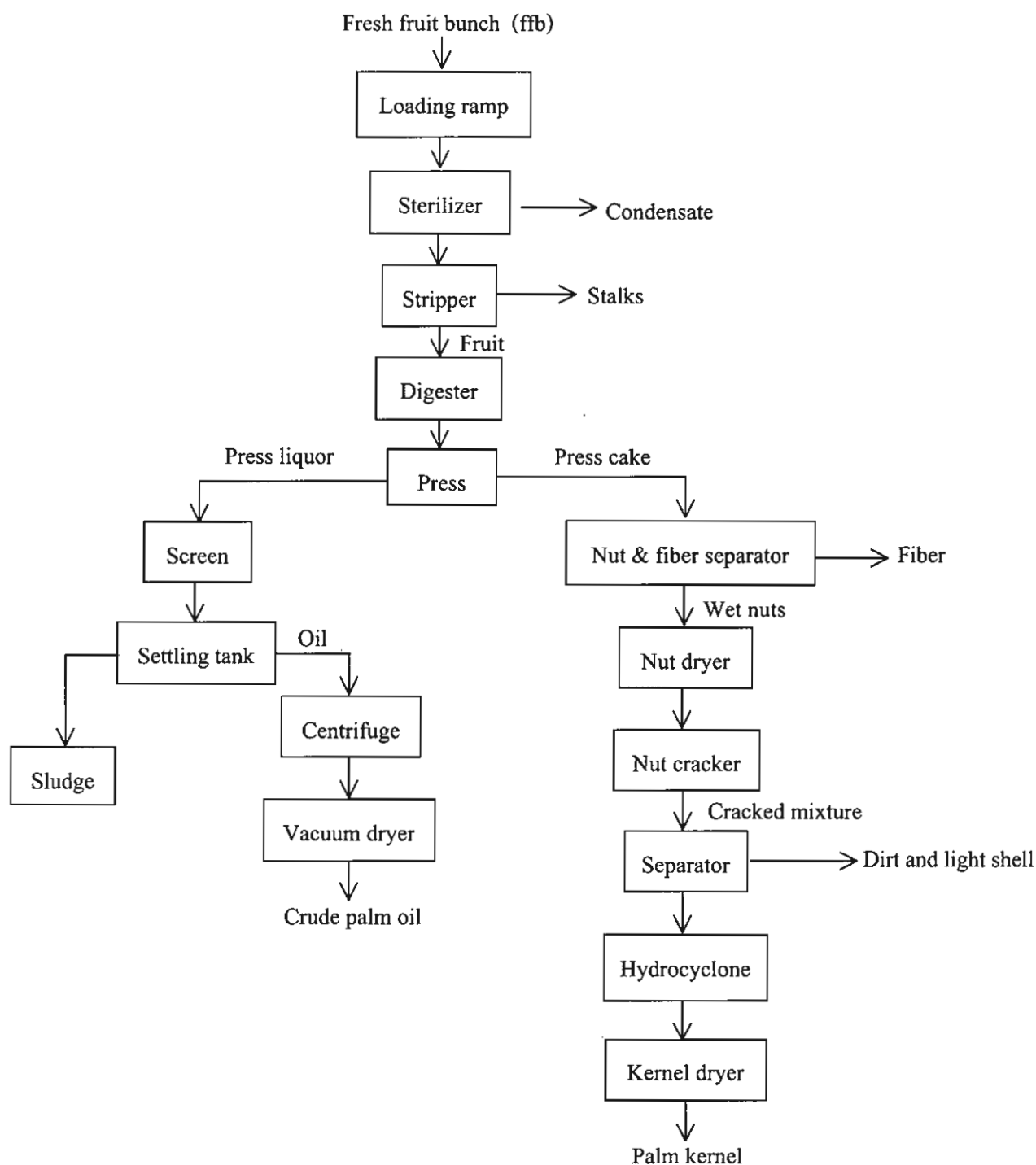
- การสกัดน้ำมัน (Extraction) จะทำอย่างต่อเนื่องโดยใช้เครื่องหีบชนิด screw press โดยจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาสองประเภท ได้แก่ 1) ของผสมระหว่างน้ำมันจากเส้นใยปาล์ม น้ำและอนุภาค และ 2) กากของแข็งประกอบด้วยเมล็ดในปาล์มและเส้นใยอยู่ด้วยกัน

- การแยกน้ำมัน (Clarification) น้ำมันปาล์มดิบจากขั้นตอนการสกัดซึ่งประกอบด้วยน้ำมัน 60% น้ำ 24% และอนุภาคของแข็ง 10% จะถูกเจือจางด้วยน้ำ (dilution) และผ่านต่อไปยังตะแกรงเพื่อแยกเส้นใยที่ปะปนมา จากนั้นของผสมจะถูกผ่านไปยังถังตกตะกอน (Settling tank) เพื่อแยกน้ำมันออกจากกากตะกอนที่เหลือน้ำ (Sludge) น้ำมันที่แยกตัวออกทางด้านบนจะถูกส่งไปยังเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) และเครื่องไล่ความชื้น (Vacuum dryer) และนำไปพักยังถังเก็บน้ำมัน เพื่อรอกระบวนการผลิตในขั้นต่อไป

- การแยกเมล็ดในจากเส้นใย (Nut and fiber separation) เมื่อน้ำมันปาล์มถูกแยกจากผลปาล์มแล้วจะได้กากของเมล็ดในและเส้นใยรวมกันซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องแยกเส้นใยออกจากเมล็ดใน โดยการใช้อากาศความเร็วสูงเป่าผ่าน เส้นใยจะถูกแยกและปลิวไปพร้อมกับอากาศ ในขณะที่เมล็ดในปาล์มจะตกลงมาทางด้านล่าง

- การปรับสภาพของเมล็ดและเนื้อใน (Nut and kernel treatment) ซึ่งประกอบด้วยการปรับความชื้นเมล็ดใน (Nut conditioning) การกระเทาะเปลือก (Nut cracking) การแยกเปลือกและเนื้อใน (Kernel and shell separation) และการอบแห้งเนื้อใน (Kernel drying)

แผนภูมิการสกัดน้ำมันปาล์มดิบของโรงงานหีบน้ำมันปาล์มแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มในอุตสาหกรรม [8]

2.2.2 การทำบริสุทธิ์และการแยกไข (Refining and fractionation)

น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการสกัดผลปาล์มดิบจะมีสิ่งเจือปนอยู่มากซึ่งประกอบด้วยสารหลายชนิดเช่น เส้นใย ความชื้น อนุภาคแขวนลอย กรดไขมันอิสระ ฟอสโฟไลปิด (Phospholipids) สารให้สี โมโนและไดกลีเซอไรด์ สารให้กลิ่น (Odoriferous materials) ธาตุโลหะและสารที่ถูกออกซิไดซ์ต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ก่อนนำไปบริโภคหรือใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยมีขั้นตอนตามลำดับดังนี้

- การกำจัดสารเหนียวและกรดไขมันอิสระ (Gum conditioning and neutralization)

น้ำมันปาล์มดิบจะถูกให้ความร้อนถึงอุณหภูมิในช่วง 80-90 °C และมีการเติมกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) ความเข้มข้น 80-85% ในปริมาณ 0.05-0.2% ของน้ำหนักน้ำมันพืช ขั้นตอนนี้จะช่วยตกตะกอนเพื่อแยกฟอสโฟไลปิดซึ่งเป็นสารเหนียว (Gum material) ออกจากน้ำมันพืชจากนั้นจะเป็นการแยกกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) โดยการเติมสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 4 นอร์มัล ประมาณ 20% โดยน้ำหนัก จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสบู่ซึ่งสามารถแยกออกได้โดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifugal separator) และล้างน้ำมันต่อด้วยน้ำร้อน เพื่อแยกสบู่ที่อาจติดค้างอยู่ออกให้หมด

- การฟอกสี (Bleaching)

น้ำมันปาล์มที่ผ่านจากขั้นตอนแรกจะทำการฟอกสีโดยใช้ตัวดูดซับประเภท diatomaceous earth ที่อุณหภูมิ 95-110 °C เป็นเวลา 30-45 นาที และกรองแยกน้ำมันออกจากสารดูดซับโดยใช้เครื่องกรองแบบ filter press

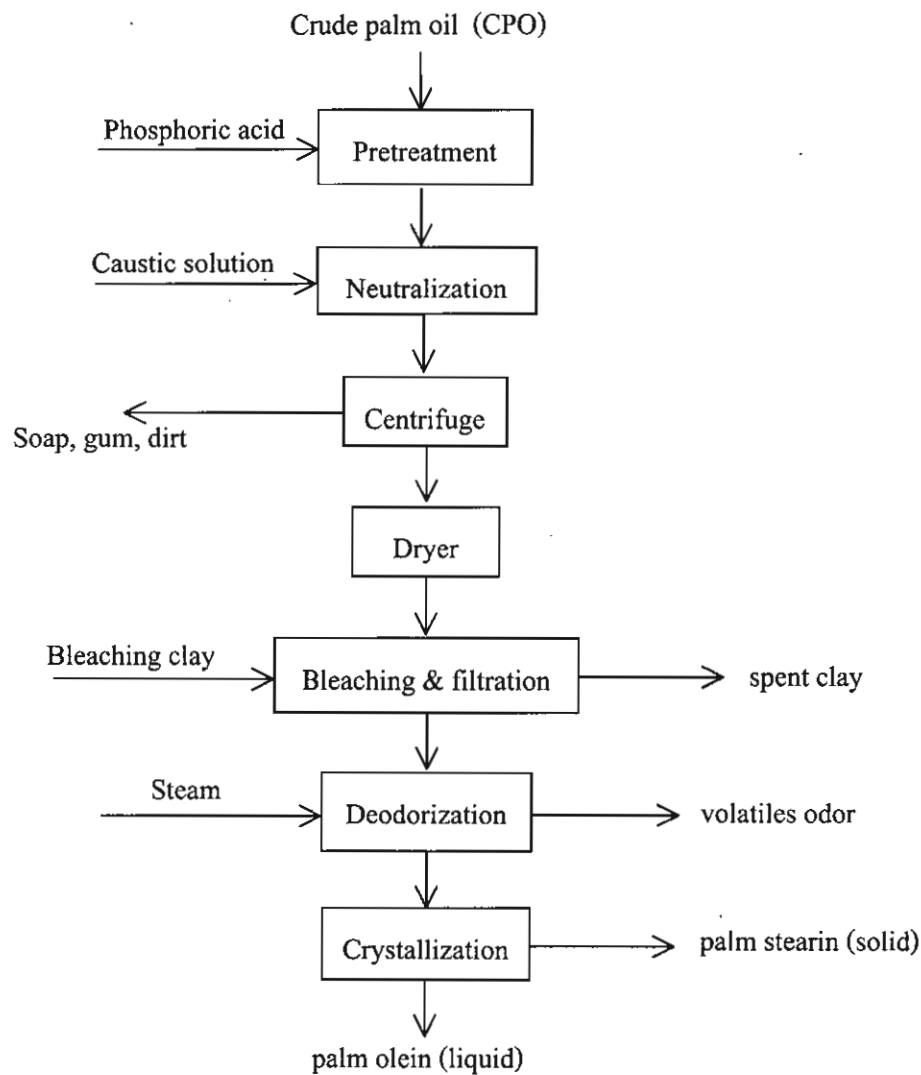
- การกำจัดกลิ่น (Deodorization)

น้ำมันที่ผ่านการฟอกสีแล้วจะถูกนำไปกลั่นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 240-270 °C ภายใต้สูญญากาศ (2-5 มม.ปรอท) เพื่อไล่กรดไขมันอิสระที่ยังหลงเหลือรวมถึงสารระเหยง่ายที่ทำให้เกิดกลิ่นและสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น อัลดีไฮด์และคีโตน เป็นต้น

- การแยกไขปาล์ม (Fractionation)

สารไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชจะประกอบด้วยองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีความยาวโมเลกุลและชนิดของไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวที่แตกต่างกัน การแยกไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งมีจุดหลอมตัวที่แตกต่างกันนี้สามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิ ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะเป็นการแยกน้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์ออกเป็นน้ำมันปาล์มใสโอเลอิน (Olein) และไขมันปาล์มบริสุทธิ์ (Stearin) โดยการลดอุณหภูมิจนถึง 18-20 °C เป็นเวลา 4-8 ชั่วโมงในเครื่องตกผลึกสาร (Crystallizer) น้ำมันปาล์มโอเลอินจะถูกนำไปใช้เป็นน้ำมันปรุงอาหาร ส่วนไขมันปาล์มบริสุทธิ์จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อผลิต margarine, shortening และ frying fat เป็นต้น

รูปที่ 2.3 สรุปแผนภูมิการทำบริสุทธิ์น้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการทำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ [8]

2.3 น้ำมันดีเซลและสมบัติทางเชื้อเพลิง [9, 10, 11]

น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันพวก straight-run ที่ผลิตได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบหรือจากน้ำมันกึ่งสำเร็จรูปหลายอย่างนำมาผสมเข้าด้วยกัน จัดเป็นน้ำมันที่มีองค์ประกอบมากที่สุดและมีช่วงจุดเดือดกว้างอยู่ระหว่าง 150-400 °C

เครื่องยนต์ดีเซลซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเป็นเครื่องยนต์แรงอัดสูงและจุดระเบิดเอง ซึ่งการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเกิดจากแรงอัดสูงของอากาศในกระบอกสูบโดยไม่ต้องใช้หัวเทียน วงจรของเครื่องยนต์ประกอบด้วยขั้นตอนการส่งอากาศเข้าไปในห้องเผาไหม้ การอัดอากาศภายในกระบอกสูบ การฉีดเชื้อเพลิงเป็นฝอยซึ่งเกิดการเผาไหม้ทันที การขยายตัวของก๊าซจากการเผาไหม้ และการระบายก๊าซเผาไหม้ เครื่องยนต์ดีเซลมีหลายขนาด มีความเร็วรอบตั้งแต่ 100 รอบต่อนาที ไปจนถึง 4,000 รอบต่อนาที โดยแบ่งได้เป็น

- 1) ชนิดรอบต่ำคือ น้อยกว่า 300 รอบต่อนาที ใช้สำหรับงานหนักต่อเนื่องโดยมีรอบคงที่ เช่น เครื่องยนต์เรือขนาดใหญ่ การผลิตกำลังไฟฟ้า เป็นต้น
- 2) ชนิดรอบปานกลางอยู่ระหว่าง 300-1,000 รอบต่อนาที ใช้สำหรับงานค่อนข้างหนักและรอบคงที่ เช่น สถานีผลิตไฟฟ้า สถานีสูบน้ำ เป็นต้น
- 3) ชนิดรอบสูงคือ ตั้งแต่ 1,000 รอบต่อนาทีขึ้นไป ใช้กับงานที่มีความเปลี่ยนแปลงภาระและความเร็วรอบไปมาเช่น รถขนส่ง รถบรรทุก และรถไฟ

ในกระบวนการเผาไหม้ น้ำมันดีเซลจะถูกฉีดเป็นละอองฝอยเข้าไปผสมกับอากาศที่มีอุณหภูมิและความดันสูงภายในกระบอกสูบ เกิดการเผาไหม้ทันทีพร้อมกับให้พลังงานในการขับเคลื่อนลูกสูบ สมบัติของเชื้อเพลิงเป็นตัวควบคุมสมรรถนะการเผาไหม้และนำพลังงานออกมาใช้ ซึ่งมีความต้องการพื้นฐาน ได้แก่ มีส่วนผสมของเชื้อเพลิงและอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสม การติดไฟของส่วนผสมเชื้อเพลิงและอากาศ และการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิง สมบัติทางเชื้อเพลิงที่ดีของน้ำมันดีเซลคือ ต้องจุดระเบิดได้เองอย่างรวดเร็วและสามารถเผาไหม้ได้หมดจดภายใต้สภาวะการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ ซึ่งได้มีการกำหนดรายการมาตรฐานทางเชื้อเพลิงและชนิดของน้ำมันดีเซลตาม ASTM D975-Standard Specification for Diesel Fuel Oils โดยแบ่งระดับหรือเกรดของน้ำมันดีเซลไว้ 5 ประเภท ดังนี้

1) Low Sulfur No. 1-D

เป็นน้ำมันดีเซลชนิดกลั่นเบา (Light distillate) ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับยานพาหนะที่ต้องการปริมาณกำมะถันต่ำและมีค่าการระเหย (Volatility) ค่อนข้างสูง

2) Low Sulfur No. 2-D

เป็นน้ำมันดีเซลช่วงกลั่นปานกลาง (Middle distillate) สำหรับยานพาหนะที่ต้องการปริมาณกำมะถันต่ำหรือใช้กับเครื่องยนต์ที่มีการเปลี่ยนแปลงภาระ (Load) และความเร็วรอบ (Speed)

3) Grade No. 1-D

เป็นน้ำมันกลั่นเบาสำหรับยานพาหนะที่ต้องการค่าการระเหยสูง

4) Grade No. 2-D

เป็นน้ำมันที่มีช่วงอุณหภูมิการกลั่นปานกลางสำหรับการขับเคลื่อนของยานพาหนะ โดยเฉพาะภายใต้สภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของภาระและความเร็วรอบบ่อย ๆ

5) Grade No. 4-D

เป็นน้ำมันที่มีช่วงการกลั่นที่อุณหภูมิสูง (Heavy distillate) ใช้ในงานอื่น ๆ ที่มีภาระและความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่

สำหรับในประเทศไทยจะแบ่งเกรดน้ำมันดีเซลออกเป็นสองประเภทเท่านั้นคือ ประเภทหมุนเร็ว (Automotive diesel oil หรือ gas oil) และประเภทหมุนช้า (Industrial diesel oil) น้ำมันทั้งสองประเภทมีความต้องการด้านคุณภาพที่ต่างกัน โดยน้ำมันดีเซลหมุนเร็วจะมีข้อกำหนดด้านคุณ

ภาพที่เข้มงวดมากกว่า ตารางที่ 2.4 และ 2.5 แสดงข้อกำหนดที่ใช้สำหรับน้ำมันดีเซลทั้งสองประเภท โดยมีรายละเอียดของสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญดังต่อไปนี้

ก. สมบัติด้านการติดไฟ (Ignition quality)

การจุดระเบิดหรือติดไฟได้เองจะเร็วหรือช้าขึ้นกับองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำมัน เช่น ประเภท normal paraffin จะติดไฟได้เร็วที่สุดในขณะที่พวกอะโรแมติกจะติดไฟได้ช้า โดยเฉพาะอะโรแมติกที่มีจำนวนวงแหวนมาก สมบัติในกลุ่มนี้ได้แก่

- จำนวนซีเทน (Cetane number) เป็นตัวเลขที่แสดงผลจากการทดสอบน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อประเมินค่า Ignition delay โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิง 2 ชนิด คือ n-cetane ซึ่งมีการจุดระเบิดดีมาก นั่นคือมีค่า Ignition delay สั้น กำหนดให้มีค่า Cetane number เท่ากับ 100 และ α -methylnaphthalene ซึ่งมี Ignition delay ยาวให้มีค่า Cetane number เท่ากับศูนย์ (ASTM D613)

- ดัชนีซีเทน (Cetane index) เนื่องจากการหาค่า Cetane number จำเป็นต้องทดสอบกับเครื่องยนต์และเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก จึงมีการนำผลจากวิธีทดสอบอื่น ๆ มาช่วยคำนวณ Cetane number วิธีที่นิยมใช้มากที่สุดวิธีหนึ่งคือ การประมาณค่าจากค่าความถ่วงจำเพาะ API และ ข้อมูลช่วงการกลั่นกลาง (mid-boiling point distillation) ของน้ำมัน ค่าที่ประมาณได้เรียกว่า Calculated Cetane Index (ตาม ASTM D976)

ข. ค่าเกี่ยวกับการระเหย (Volatility)

- ข้อมูลการกลั่น (Distillation) น้ำมันควรมีช่วงการกลั่นที่พอเหมาะ มักใช้ mid-boiling point หรืออุณหภูมิที่กลั่นของเหลวได้ 50% โดยปริมาตรเป็นตัวบ่งชี้สมบัติรวม ๆ สำหรับน้ำมันดีเซล หมุนเร็วมักจะใช้จุด 50% ประมาณ 300°C และกำหนดจุด 90% ไม่ให้เกิน 370°C ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้น้ำมันมีจุดเดือดที่สูงเกินไปซึ่งจะทำให้เกิดควันและเครื่องสกปรก (ASTM D86)

- จุดวาบไฟ (Flash point) เพื่อความปลอดภัยในการเก็บรักษาและส่งถ่ายจะมีการกำหนดอุณหภูมิต่ำสุดสำหรับการติดไฟเองของน้ำมัน (ASTM D93)

ค. ค่าการไหล (Fluidity)

- ความหนืด (Viscosity) มีผลต่อการทำงานของปั๊มเชื้อเพลิงและหัวฉีด เพราะถ้าความหนืดต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป จะฉีดเป็นฝอยได้ไม่ดี ส่งผลเสียต่อการเผาไหม้ เกิดควันดำและกำลังตกสำหรับเครื่องยนต์รอบต่ำสามารถใช้น้ำมันที่มีความหนืดได้สูงกว่าเครื่องยนต์ที่มีรอบหมุนสูง (ASTM D445)

- จุดไหลเท (Pour point) จะมีการกำหนดค่าสูงสุดไว้เพื่อให้ น้ำมันไหลเทได้ เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ในประเทศที่มีอากาศหนาวมาก (ASTM D97)

- จุดหมอก (Cloud point) เป็นอุณหภูมิที่สารพาราฟินจะตกผลึกเป็นขี้ผึ้ง (Wax) ซึ่งอาจสร้างปัญหาการอุดตันของไส้กรองน้ำมัน

ง. ค่าเกี่ยวกับความสะอาด (Cleanliness)

- สี (Color) โดยปกติน้ำมันดีเซลจะมีสีชาอ่อนเพื่อป้องกันการปลอมปน จึงกำหนดให้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วมีสี ASTM ไม่เกิน 2.0-4.0 ส่วนน้ำมันดีเซลหมุนช้ากำหนดให้มีสีเข้มกว่าคืออยู่ในช่วง 4.5-7.5 จะได้จำแนกน้ำมันทั้งสองประเภทได้ไม่นำมาปนกัน (ASTM D1500)

- กากถ่าน (Carbon residue) ปริมาณกากถ่านในน้ำมันอาจเป็นสาเหตุให้เครื่องยนต์และหัวฉีดสกปรกวิเคราะห์ตาม ASTM D189 (Conradson carbon residue) หรือ ASTM D524 (Ramsbottom carbon residue)

- ธาตุกำมะถัน (Sulfur Content) ทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อเครื่องยนต์และไอเสียและก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศหลังเผาไหม้จึงต้องมีข้อกำหนดไว้ (ASTM D2622 หรือวิธีอื่นที่เทียบเท่า)

จ. ค่าอื่น ๆ เช่น เถ้า (Ash) (ASTM D482) น้ำและตะกอน (Water and sediment) (ASTM D2709) และการกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip corrosion) (ASTM D130)

รูปที่ 2.4 แสดงอุปกรณ์บางส่วนที่ใช้วิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลตามมาตรฐาน ASTM

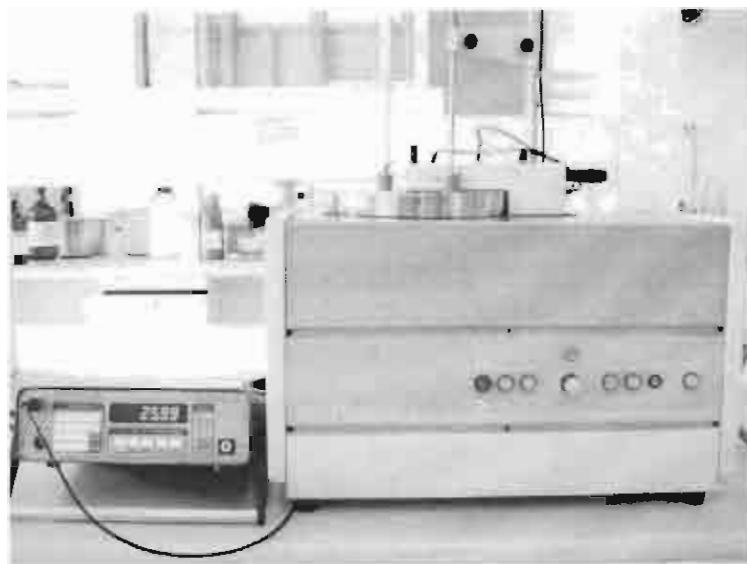
ตารางที่ 2.4 การกำหนดคุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับใช้กับเครื่องยนต์หมุนเร็ว (ประกาศ
กระทรวงพาณิชย์ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2541)

ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ
1. ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 °ซ (Specific Gravity at 15.6/15.6 °C)	ไม่ต่ำกว่า 0.81 และ ไม่สูงกว่า 0.87	ASTM D1298
2. จำนวนซีเทน (Cetane Number) หรือดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index)	ไม่ต่ำกว่า 47 ไม่ต่ำกว่า 47	ASTM D613 ASTM D976
3. ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°ซ, เซนติสโตกส์ (Viscosity at 40°C, cSt.)	ไม่ต่ำกว่า 1.8 และ ไม่สูงกว่า 4.1	ASTM D445
4. จุดไหลเท °ซ (Pour Point, °C)	ไม่สูงกว่า 10	ASTM D97
5. ธาตุกำมะถัน ร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulphur Content, % wt.)	ไม่สูงกว่า 0.05	ASTM D2622 หรือ วิธีอื่นที่เทียบเท่า
6. การกัดกร่อนแผ่นทองแดงหมายเลข (Copper Strip Corrosion, number)	ไม่สูงกว่า 1	ASTM D130
7. คาร์บอน ร้อยละโดยน้ำหนัก (Carbon Residue, %wt.)	ไม่สูงกว่า 0.05	ASTM D189
8. น้ำและตะกอน ร้อยละโดยปริมาตร (Water and Sediment, %vol.)	ไม่สูงกว่า 0.05	ASTM D2709
9. เถ้า ร้อยละโดยน้ำหนัก (Ash, %wt.)	ไม่สูงกว่า 0.01	ASTM D482
10. จุดวาบไฟ °ซ (Flash Point, °C)	ไม่ต่ำกว่า 52	ASTM D93
11. การกลั่น (Distillation) อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ °ซ (90% recovered, °C)	ไม่สูงกว่า 357	ASTM D86
12. สี (Colour)	ไม่สูงกว่า 4.0	ASTM D1500
13. มีสารเติมแต่ง * (Detergent Additive)		
14. คุณสมบัติการหล่อลื่น * ทดสอบโดยวิธีเอชเอฟอาร์ อาร์ ไมโครเมตร (Lubricity by HFRR, μm)	ไม่สูงกว่า 460	CECF-06-A-96

หมายเหตุ : * เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในประกาศกรมทะเบียนการค้า

ตารางที่ 2.5 การกำหนดคุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับใช้กับเครื่องยนต์หมุนช้า
(ประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2541)

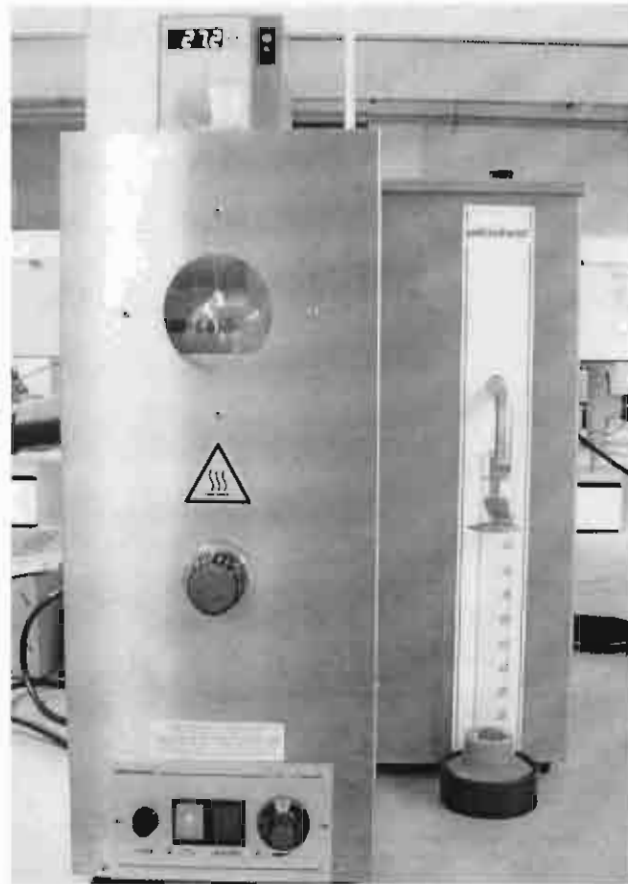
ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ
1. ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 °ซ (Specific Gravity at 15.6/15.6 °C)	ต้องไม่สูงกว่า 0.920	ASTM D1298
2. ดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index) หรือ จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ต้องไม่ต่ำกว่า 45	ASTM D976 ASTM D613
3. ความหนืดคิเนมาติก (Kinematic Viscosity, cSt) ณ อุณหภูมิ 40°ซ (at 40°C) หรือ ณ อุณหภูมิ 50°ซ (at 50°C)	ต้องไม่สูงกว่า 8.0 เซนติสโตกส์ ต้องไม่สูงกว่า 6.0 เซนติสโตกส์	ASTM D445
4. จุดไหลเท (Pour Point, °C)	ต้องไม่สูงกว่า 16°ซ	ASTM D97
5. อัตราปริมาณธาตุกำมะถันต่อน้ำหนักของน้ำมัน (Sulphur Content, %wt.)	ต้องไม่สูงกว่าร้อยละ 1.5	ASTM D129หรือ วิธีอื่นที่เทียบเท่า
6. อัตราน้ำและตะกอนต่อปริมาณของน้ำมัน (Water and Sediment, %vol.)	ต้องไม่สูงกว่าร้อยละ 0.3	ASTM D2709
7. อัตราเถ้าต่อน้ำหนักของน้ำมัน (Ash, %wt.)	ต้องไม่สูงกว่าร้อยละ 0.02	ASTM D482
8. จุดวาบไฟทดสอบโดยวิธีของเพนสกี-มาร์เต็นส์ โคลสเทสเตอร์ (Flash Point, Pensky-Martens Closed Tester, °C)	ต้องไม่ต่ำกว่า 52°ซ	ASTM D93
9. สีมาตรฐานเอเอสทีเอ็ม	ต้องไม่ต่ำกว่า 4.5 และ ต้องไม่สูงกว่า 7.5	ASTM D1500



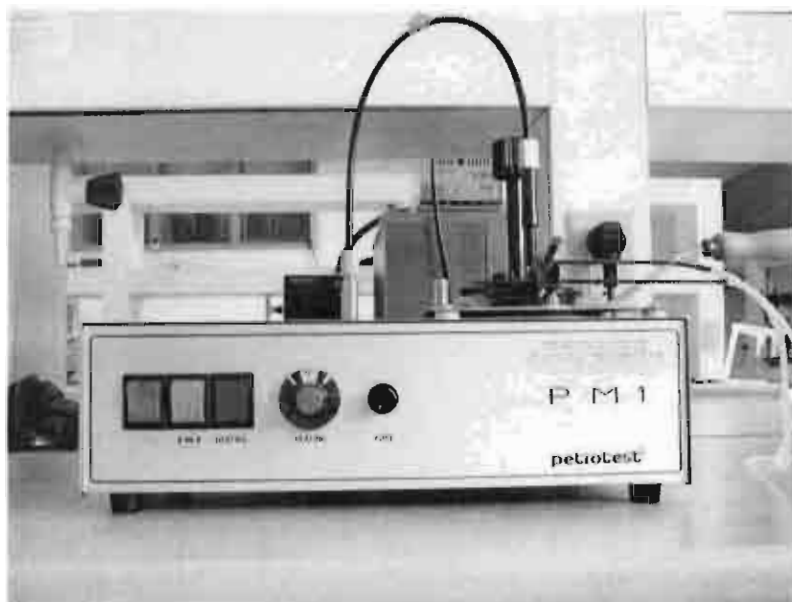
รูปที่ 2.4 ก. เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน (Bomb Calorimeter, ASTM D 240)



รูปที่ 2.4 ข. เครื่องวิเคราะห์การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Corrosion Test, ASTM 130)



รูปที่ 2.4 ค. เครื่องวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิการกลั่น (Distillation Unit, ASTM 86)



รูปที่ 2.4 ง. เครื่องวิเคราะห์จุดวาบไฟแบบปิดของ Pensky- Marsten
(Pensky- Marsten Closed Cup Test, ASTM D 93)



รูปที่ 2.4 จ. เครื่องวิเคราะห์จุดวาบไฟแบบเปิดของ Cleveland
(Cleveland Open Cup Test, ASTM D 92)



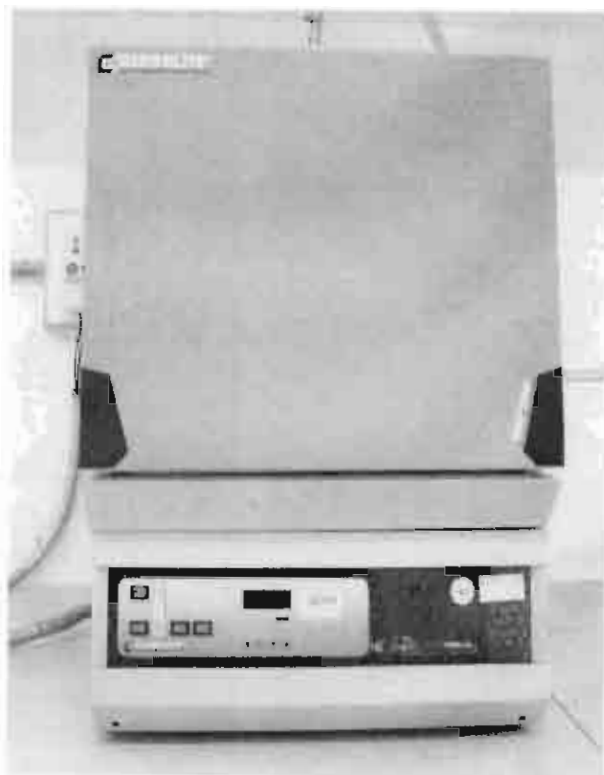
รูปที่ 2.4 ฉ. เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณกากคาร์บอนของแร่มส์บอตตอม
(Ramsbottom Carbon Residue Test, ASTM D 524)



รูปที่ 2.4 ข. เครื่องวิเคราะห์ความดันไอ (Reid Vapor Pressure Apparatus, ASTM D 323)



รูปที่ 2.4 ข. เครื่องวิเคราะห์ความหนืด (Capillary Kinematic Viscometer, Cannon-Fenske Opaque, ASTM D 445)



รูปที่ 2.4 ณ. เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (Muffle furnace, ASTM D 482)

2.4 การนำน้ำมันพืชดิบไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล

Rudolf Diesel ซึ่งเป็นผู้ประดิษฐ์เครื่องยนต์ดีเซล เป็นบุคคลแรกที่สาธิตการนำน้ำมันถั่วลิสง (Peanut oil) มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ในปี ค.ศ.1900 [12] แต่ความนิยมในการนำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์เริ่มลดน้อยลงเป็นลำดับภายหลังจากการค้นพบน้ำมันดิบและการผลิตน้ำมันสำเร็จรูปต่าง ๆ จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ ซึ่งให้เชื้อเพลิงที่มีราคาถูกและมีสมบัติที่ค่อนข้างคงที่แน่นอน อย่างไรก็ตามก็เกิดจากปัญหาวิกฤตด้านพลังงานในปี ค.ศ. 1970 ประกอบกับการลดลงของพลังงานฟอสซิลและข้อห่วงใยเกี่ยวกับภาวะแวดล้อมจากการใช้พลังงานฟอสซิล การศึกษาเพื่อนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นพลังงานทดแทนจึงกลับมาได้รับความสนใจอีกครั้งหนึ่ง การนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์มีแนวทางการศึกษาอยู่หลายวิธีการ ได้แก่ การใช้ในรูปแบบน้ำมันพืชดิบ (Neat oil) การแปลงสภาพเป็นสารเอสเตอร์ การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันพืชต่างชนิดหรือกับน้ำมันดีเซล และการลดขนาดโมเลกุลของน้ำมันพืชโดยกระบวนการไพโรไลซิส เป็นต้น ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบน้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซลพอสรุปได้ดังนี้

Robert และ Varde [13] ในปี ค.ศ.1980 ได้ศึกษาการนำน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันถั่วลิสงมาทดสอบในเครื่องยนต์สันดาปภายใน และพบว่าน้ำมันพืชทั้ง 2 ชนิดสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้แต่ให้กำลังของเครื่องยนต์ที่ลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำมันพืชมีค่าความหนืดที่สูงกว่าของน้ำมันดีเซล ทำให้ละอองน้ำมันที่ฉีดเข้าห้องเผาไหม้มีขนาดใหญ่เกินไป ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ Robert และ Varde ยังสรุปด้วยว่าในการนำน้ำมันพืชมาใช้งานควรมีการศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงก่อน

ถัดมาในปี ค.ศ.1984 Ryan III และ Callahan [14] ได้ศึกษาการนำน้ำมันพืช 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง ทั้งชนิดน้ำมันดิบและน้ำมันที่ผ่านกระบวนการทำบริสุทธิ์ในระดับต่าง ๆ มาทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลชนิด direct injection (DI) และ indirect injection (IDI) พบว่าน้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าความหนืดของน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิเดียวกันและค่าความหนาแน่นและความตึงผิวของน้ำมันพืชมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซลทำให้ขนาดของละอองน้ำมันที่ฉีดออกจากหัวฉีดมีขนาดใหญ่กว่าและมีมุมของน้ำมันที่ออกจากหัวฉีด (cone angle) ที่แคบกว่า เครื่องยนต์ IDI มีปัญหาน้อยกว่าเครื่องยนต์ DI ในแง่ของการเกิดคราบคาร์บอนเกาะรอบหัวฉีดและการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น มีการเสนอข้อกำหนดของน้ำมันพืชเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลทั้งสองประเภทด้วย

ในปี ค.ศ.1994 Bhattacharyya และ Reddy [15] ได้วิเคราะห์และรวบรวมปัญหาที่เกิดจากการนำน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลไว้ดังนี้

- ความหนืดของน้ำมันพืชมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับของน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นปัญหาหลักในการนำน้ำมันพืชไปใช้งาน เพราะจะมีผลต่อการกระจายตัวเป็นละอองฝอยของน้ำมัน ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ไม่สมบูรณ์ เกิดปัญหาการสะสมของคาร์บอนตามหัวฉีดและผนังลูกสูบ

- โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืชมีความแตกต่างขององค์ประกอบค่อนข้างมาก ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการทางเคมีของปฏิกิริยาการสันดาปของเชื้อเพลิง
- มีการปนเปื้อนของน้ำมันพืชในน้ำมันหล่อลื่นจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

ดังนั้นการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงมีความจำเป็นต้องลดความหนืดให้น้อยลงเพื่อลดปัญหาดังกล่าว การนำน้ำมันพืชมาใช้งานในระยะยาว อาจเสี่ยงต่อปัญหาการเกิดสารสะสมและการสึกหรอของเครื่องยนต์ ทำให้เครื่องยนต์มีอายุการใช้งานที่สั้นลงได้ ต่อมา Ozaktas และคณะ (1997) [16] ได้ศึกษาน้ำมันพืช 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันมะกอก โดยนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20 ต่อ 80 โดยปริมาตรและทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบ indirect injection ที่ความเร็วรอบ 1,200-2,100 รอบต่อนาที และที่ภาระงานสูงสุด (full load) ผลการทดสอบยืนยันว่าการทำงานของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันพืชผสมในช่วงสั้น ๆ (ประมาณ 10 ชั่วโมง) มีสมรรถนะและประสิทธิภาพในการทำงานที่ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลและยังพบว่าการใช้น้ำมันพืชจะเกิดควันดำน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

Karaosmanoglu และคณะ (2000)[17] ศึกษาผลกระทบของการใช้น้ำมันเมล็ดทานตะวันต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลชนิด direct injection พบว่าเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลค่า torque, power และ smoke emission มีค่าลดลงในขณะที่ค่า specific fuel consumption, effective efficiency และค่า emission ของ CO, CO₂, NO, NOx และ HC มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ภายหลังการทำงานครบ 50 ชั่วโมงพบว่าไม่เกิดการอุดตันของหัวฉีดเชื้อเพลิงแต่อย่างใด

Machacon และคณะ (2001) [18] ได้นำศึกษาเปรียบเทียบขนาดของฝอยละอองของน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันดีเซลและทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลชนิด direct injection โดยใช้น้ำมันทั้งสองประเภท จากการศึกษาพบว่าขนาดของละอองน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันผสมมีขนาดใหญ่มากกว่าของน้ำมันดีเซลทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันทั้ง 2 ชนิดมีค่าความหนืดและความตึงผิวที่มากกว่าน้ำมันดีเซล เมื่อทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่าน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันผสมมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันดีเซล ปริมาณก๊าซในโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์มีปริมาณน้อยลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของน้ำมันมะพร้าวในน้ำมันผสม โดยพบว่าน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ช่วยลดปริมาณก๊าซในโตรเจนออกไซด์ได้ถึงร้อยละ 40 อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของเครื่องยนต์โดยรวมของน้ำมันผสมยังต่ำกว่าของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล

เร็ว ๆ นี้ de Almeida และคณะ (2002) [19] ได้นำน้ำมันปาล์มกลั่นมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อให้ความร้อนกับน้ำมันปาล์มจนถึงอุณหภูมิ 100°C พบว่าค่าความหนืดลดลงอย่างมากทำให้การเผาไหม้เกิดได้สมบูรณ์และลดปัญหาการสะสมของสารตกค้างภายในเครื่องยนต์

จากผลการวิจัยที่ผ่านมาจึงพอสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้สูงในการนำน้ำมันพืชดิบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ โดยเงื่อนไขการใช้งานที่เชื่อว่าน่าจะเกิดปัญหาน้อย

ที่สุดจากการสะสมของสารตกค้างตามหัวใจและผนังกระบอกสูบและลูกสูบ การปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นและการสึกหรอของเครื่องยนต์ ได้แก่

- การลดความหนืดของน้ำมันพืชให้มีความน้อยลง โดยการเพิ่มอุณหภูมิและหรือ เจือจางด้วยการผสมกับน้ำมันดีเซล
- เลือกใช้เครื่องยนต์ดีเซลประเภทรอบต่ำหรือเครื่องยนต์ชนิด indirect injection
- ใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการปรับสภาพให้บริสุทธิ์ขึ้น เช่น การกำจัดกลั่น สี สารเหนียว หรือ กรดไขมันอิสระ เป็นต้น
- ใช้งานในช่วงเวลาสั้น ๆ และตรวจสอบเครื่องยนต์อย่างสม่ำเสมอเป็นระยะ ๆ

บทที่ 3

ผลการศึกษา

3.1 ชนิดของน้ำมันปาล์มที่ศึกษา

น้ำมันปาล์มตัวอย่างที่นำมาทดสอบเป็นน้ำมันปาล์มที่จัดหามาจากบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จังหวัดชลบุรี โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil, CPO) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดผลปาล์มสด ส่วนที่เป็นเปลือกเส้นใยที่ห่อหุ้มเมล็ด (Mesocarp) ของผลปาล์ม
2. น้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (Crude Palm Kernel Oil, KO) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดเนื้อในของเมล็ดปาล์มซึ่งมีองค์ประกอบของไขมันใกล้เคียงกับองค์ประกอบของน้ำมันมะพร้าว
3. น้ำมันปาล์มโอเลอิน (Refined Bleached Deodorized Palm Olein, ROL) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันปาล์มกลั่นบริสุทธิ์ (Refined Bleached Deodorized Palm Oil, RPO) นำมาแยกส่วนที่เป็นไขปาล์ม (Palm Stearin) ออก โดยการลดอุณหภูมิถึงประมาณ 10°C เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ชนิดใส
4. น้ำมันปาล์มกลั่นกึ่งบริสุทธิ์ เป็นน้ำมันที่ไม่ได้ผ่านการกำจัดกลิ่นและฟอกสี แต่ได้ทำการแยกไขปาล์ม stearin บางส่วนออกแล้ว
5. น้ำมันปาล์มดิบกรอง เป็นน้ำมันปาล์มดิบที่แยกไขปาล์มซึ่งแขวนลอยออกโดยการกรองที่อุณหภูมิปกติ ($\sim 28^{\circ}\text{C}$)

3.2 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์ม

ลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์มชนิดต่าง ๆ และน้ำมันคัสเชล แสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

จากข้อมูลทางกายภาพของน้ำมันปาล์มจะเห็นว่าที่สภาวะอุณหภูมิปกติ ประมาณ 30°C น้ำมันปาล์มดิบจะอยู่ในสภาพที่มีเม็ดไขมันลอยปะปนอยู่ในน้ำมัน (ประมาณ 20% โดยน้ำหนัก) จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานโดยตรง จากการเพิ่มความร้อนให้แก่ น้ำมันปาล์มดิบพบว่าไขมันจะละลายหมดและให้น้ำมันใสที่อุณหภูมิสูงกว่า 50°C ดังนั้นการนำน้ำมันปาล์มดิบไปใช้งานจะต้องติดตั้งชุดอุ่นน้ำมันปาล์มหรือไม่ก็ต้องกรองอุณหภูมิที่ไขมันที่แขวนลอยออกก่อนที่สภาวะอุณหภูมิห้อง จากตารางสมบัติทางกายภาพจะเห็นว่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มชนิดต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยอยู่ในช่วง $0.904 - 0.914 \text{ g/cm}^3$ และมีค่าที่สูงกว่าความหนาแน่นของน้ำมันคัสเชล (0.825 g/cm^3) ประมาณ 10% สำหรับค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มจะเห็นว่าความหนืดของน้ำมัน

เมล็ดในจะมีค่าน้อยที่สุด แสดงว่ามีสมบัติการไหลที่ดีกว่าน้ำมันปาล์มชนิดอื่น ๆ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลแล้วน้ำมันปาล์มดิบจะมีค่าความหนืดสูงกว่าของน้ำมันดีเซลประมาณ 12 เท่าที่อุณหภูมิ 40°C สำหรับค่าความตึงผิวซึ่งเป็นสมบัติที่มีผลต่อลักษณะการเป็นฟอยละอองของน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่าความตึงผิวของน้ำมันปาล์มทุกชนิดมีค่าสูงกว่าของน้ำมันดีเซลแต่ไม่มากนัก ประมาณ 15% โดยมีค่าสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เช่น คณิหัทหและความชื้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ขนาดและปริมาณของอนุภาคนขนาดเล็กที่อาจแขวนลอยอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบ โดยนำน้ำมันปาล์มดิบตัวอย่างมาให้ความร้อนจนไขที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมันละลายหมดที่อุณหภูมิประมาณ 55°C จากนั้นนำมากรองผ่านกระดาษกรองละเอียดโดยใช้ปั๊มสูญญากาศ นำกระดาษกรองไปอบแห้ง บันทึกน้ำหนัก และไปส่องหาอนุภาคและวัดขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยนับและวัดอนุภาคอย่างน้อย 100 อนุภาคต่อพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ผลการวิเคราะห์พบว่า

- ปริมาณอนุภาคที่ปนอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบมีอยู่ค่อนข้างน้อยคิดเป็นร้อยละ 0.10 โดยน้ำหนัก
- ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.05-2 ไมครอน โดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน

ดังนั้นในการนำน้ำมันปาล์มดิบไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ในเบื้องต้นควรกรองน้ำมันปาล์มดิบในลักษณะกรองร้อนก่อนโดยใช้แผ่นกรองที่มีขนาดของรูกรองอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 ไมครอน ทั้งนี้เพื่อลดภาระและยืดอายุการใช้งานของไส้กรองเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์

ตารางที่ 3.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์ม 3 ชนิดและน้ำมันมะพร้าว ในรูปเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบจะเป็นชนิดกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวประมาณอย่างละ 50% โดยกรดไขมันอิ่มตัวส่วนใหญ่จะเป็นประเภท palmitic acid (C16) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเป็น oleic acid (C18) น้ำมันปาล์มดิบกรองมีองค์ประกอบทางเคมีที่คล้ายกับน้ำมันปาล์มดิบ แต่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่ากรดไขมันอิ่มตัวเล็กน้อย สำหรับน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ (~80%) เป็นกรดไขมันประเภทอิ่มตัว มีจำนวนคาร์บอนอะตอมส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง C12 ถึง C16 โดยมีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกับน้ำมันมะพร้าว สำหรับค่าความเป็นกรด (acid value) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน พบว่าสำหรับน้ำมันปาล์มตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด น้ำมันปาล์มดิบกรองมีค่าความเป็นกรดสูงสุดและน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีค่าต่ำสุดเป็นที่สังเกตว่าตัวเลขไอโอดีน (iodine value) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงระดับความไม่อิ่มตัวจากปริมาณพันธะคู่ มีค่าที่ใกล้เคียงและสอดคล้องกับร้อยละของไขมันไม่อิ่มตัว ดังนั้นร้อยละของปริมาณไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันพืชอาจใช้แทนด้วยตัวเลขไอโอดีน ซึ่งการหาค่ามีความยุ่งยากน้อยกว่าการวิเคราะห์โดยแปลงให้เป็นเมธิลเอสเตอร์ มีหลักฐานงานวิจัยว่าปัญหาการเกิดสารตกค้างในห้องเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลจากการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง อาจเกี่ยวข้องกับปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เนื่องจากพันธะคู่เป็นตำแหน่งที่มีความว่องไว สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ระหว่างการเผาไหม้เกิดเป็นสาร โมเลกุลใหญ่ที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์เป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตันของหัวฉีดหรือเกาะติดตามผนังกระบอกสูบและผิวลูกสูบ จากเหตุผลนี้อาจทำนายแนวโน้มได้ว่าการนำน้ำมันเมล็ดในปาล์มไปใช้งานน่าจะเกิดปัญหาสารสะสมน้อยกว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบ

ตารางที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันปาล์มตัวอย่างและน้ำมันดีเซล

ชนิดของน้ำมันปาล์ม	ลักษณะทางกายภาพ	
น้ำมันปาล์มดิบ	เป็นของเหลวข้นออกสีส้ม มีลักษณะขุ่น เนื่องจากมีอนุภาคไขมันที่ไม่ละลายตัวกระจายอยู่ทั่วไป โดยไขมันที่มีขนาดเล็กจะแขวนลอยปะปนอยู่ในน้ำมัน ส่วนไขมันขนาดใหญ่จะจมอยู่ด้านล่าง แต่ไม่ได้จับตัวเป็นก้อน	
น้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ	เป็นของเหลวสีเหลืองใสที่อุณหภูมิห้อง (28°C) มีกลิ่นหืน คล้ายกับน้ำมันมะพร้าว แต่เบาบางกว่า	
น้ำมันปาล์มโอเลอิน	เป็นของเหลวสีเหลืองอ่อนและใส ไม่มีกลิ่นหืน	

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันปาล์มตัวอย่างและน้ำมันดีเซล

ชนิดของน้ำมันปาล์ม	ลักษณะทางกายภาพ	
น้ำมันก้นถังบริสุทธิ	เป็นของเหลวสีเหลืองอำพัน มีลักษณะขุ่นเล็กน้อยจากเม็ดไขมันที่แขวนลอยอยู่	
น้ำมันปาล์มดิบกรองที่อุณหภูมิห้อง (28°C)	เป็นของเหลวใส และมีสีแดงน้ำตาล	
น้ำมันดีเซล	เป็นของเหลวใส และมีสีเหลืองอ่อน	