

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 130).....	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. เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณกากคาร์บอนของแรมส์บอตคอม (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 ผลของเวลาที่มีต่อตัวเลขไอโอดีนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการเติมอากาศ (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 ความสำคัญและที่มาของปัญหาทางวิจัย

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 ตลอดจนการนำพลังงานหมุนเวียนต่างๆ 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 ตลอดจนการสร้างมลพิษในรูปต่าง ๆ เช่น ไฮโดรคาร์บอนหรือฝุ่นกรดจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น ดังนั้นการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ทดแทนพลังงานฟอสซิลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในระดับหนึ่ง

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

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

การนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง มีข้อจำกัดที่สำคัญคือ ค่าความหนืดของน้ำมันพืชจะสูงกว่าของน้ำมันดีเซลประมาณ 20 เท่าที่อุณหภูมิปกติ เนื่องจากมีขนาดของโครงสร้างโมเลกุลที่ใหญ่กว่า ซึ่งทำให้เกิดปัญหาต่อการไหลเวียนของเชื้อเพลิงในระบบและการอุดตันของระบบจ่ายเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำ รวมถึงปัญหาการแตกกระจายเป็นฝอยละอองของน้ำมันในห้องเผาไหม้ ส่งผลให้การเผาไหม้เกิดได้ไม่สมบูรณ์ เกิดสารตกค้างซึ่งมีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์ และก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม การแก้ปัญหาความหนืดสูงของน้ำมันพืชทำได้สองวิธี 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)
 - น้ำมันเมสส์ดในปาล์ม
 - น้ำมันปาล์มกลั่นถึงบริสุทธิ์

- น้ำมันปาล์มโอเลอิน
- น้ำมันคิเซล

1.3.2 วัดองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันถั่วลิสง บริสุทธิ์ 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

- ผสมน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่าง 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. ได้เรียนรู้วิธีวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลตามมาตรฐาน ASTM และการประยุกต์วิธีวิเคราะห์นี้สำหรับน้ำมันปาล์ม
2. ได้ฐานข้อมูลโดยละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ ตลอดจนสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มประเภทต่าง ๆ ทั้งน้ำมันที่ยังไม่ถูกปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยกระบวนการต่าง ๆ

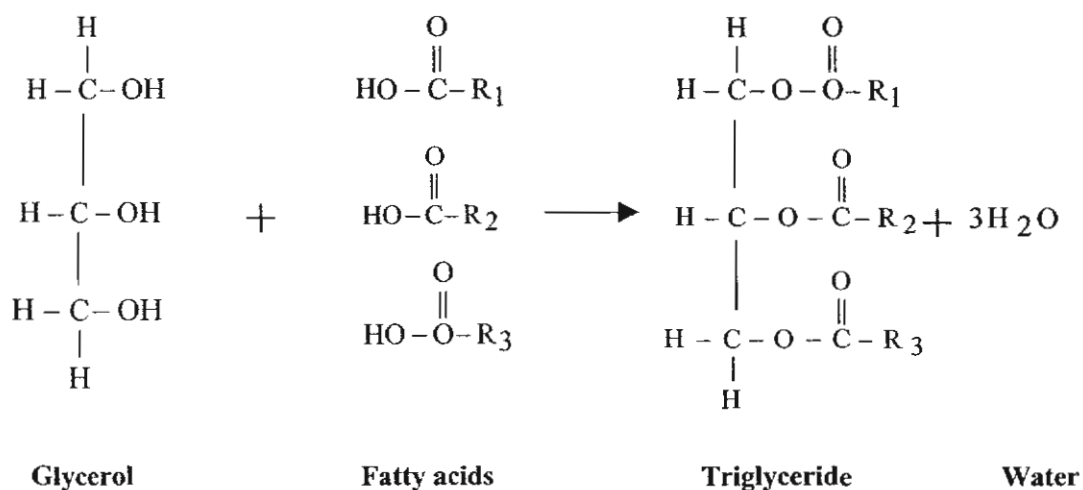
3. ข้อมูลสมบัติทางเชื้อเพลิงและทางกายภาพจะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกและกำหนดสภาวะที่เหมาะสมต่อการใช้งานของน้ำมันปาล์มในเครื่องยนต์ดีเซล
4. เป็นส่วนหนึ่งของการสร้างองค์ความรู้ในการนำน้ำมันปาล์มมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกเพื่อช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงาน
5. หากการนำน้ำมันปาล์มมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ผลดีจะช่วยให้เกิดการส่งเสริมให้มีการปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลดีต่อภาคเกษตรกรรมโดยรวมในแง่ของเสถียรภาพของราคาปาล์มน้ำมัน

บทที่ 2

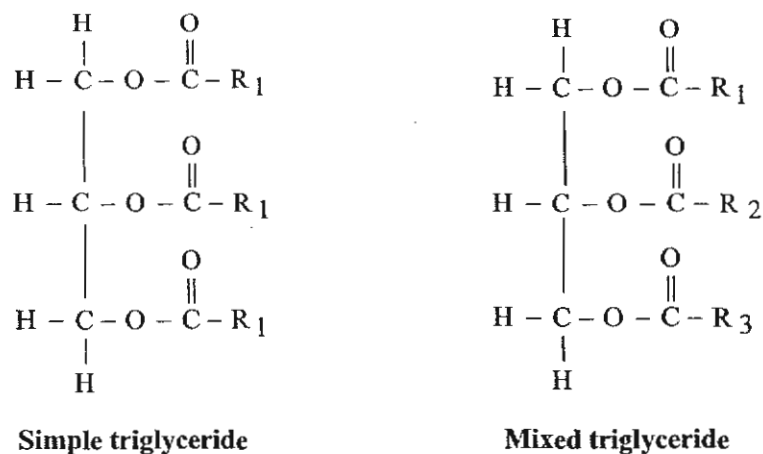
ความรู้เกี่ยวกับน้ำมันพืชและการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิง

2.1 น้ำมันพืชและการวิเคราะห์องค์ประกอบ

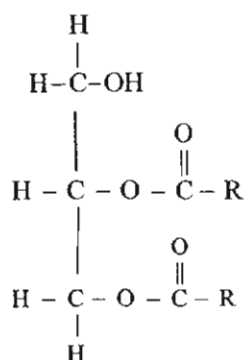
องค์ประกอบของน้ำมันพืชมากกว่าร้อยละ 90 จะเป็นสารอินทรีย์จำพวกไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของเคมีของกลีเซอรอล (Glycerol) หนึ่งโมเลกุลกับกรดไขมัน (Fatty acid) จำนวนสามโมเลกุลดังสมการ



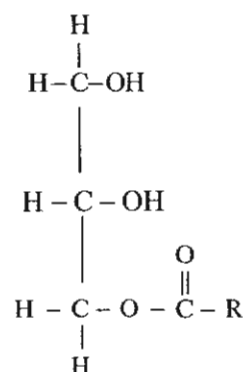
โดยที่ $\text{R}_1, \text{R}_2, \text{R}_3$ แสดงสัญลักษณ์แทนหมู่แอลคิล ($\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$) ซึ่งอยู่ติดกับอะตอมคาร์บอนของหมู่ carboxyl (COOH) ซึ่งมาจากกรดไขมัน ถ้ากรดไขมันทั้งสามโมเลกุลเป็นโมเลกุลที่เหมือนกัน จะเรียกไตรกลีเซอไรด์อย่างง่าย (Simple triglyceride) แต่ถ้าเป็นโมเลกุลต่างชนิดกันจะเรียกไตรกลีเซอไรด์แบบผสม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



หากมีโมเลกุลของกรดไขมันเพียงสองโมเลกุลอยู่ติดกับโมเลกุลของกลีเซอรอลจะเรียกไตรกลีเซอไรด์ (Diglyceride) แต่ถ้ามีเพียงหนึ่งโมเลกุลจะเรียกโมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) แสดงดังโครงสร้างข้างล่าง

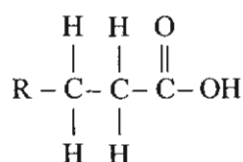


Diglyceride

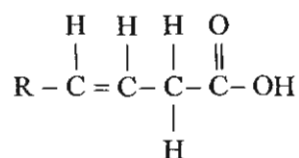


Monoglyceride

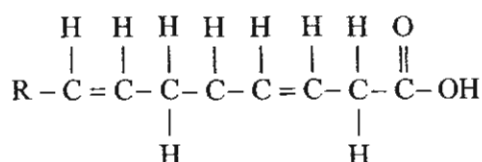
กรดไขมันซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำมันพืชแบ่งออกได้เป็นกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) โดยความแตกต่างอยู่ที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่ในโมเลกุล ขณะที่กรดไขมันอิ่มตัวจะมีโครงสร้างเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด กรดไขมันไม่อิ่มตัวอาจมีพันธะคู่มากกว่าหนึ่งคู่ (Polyunsaturated fatty acid) ทำให้เกิดสภาวะไม่เสถียร 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

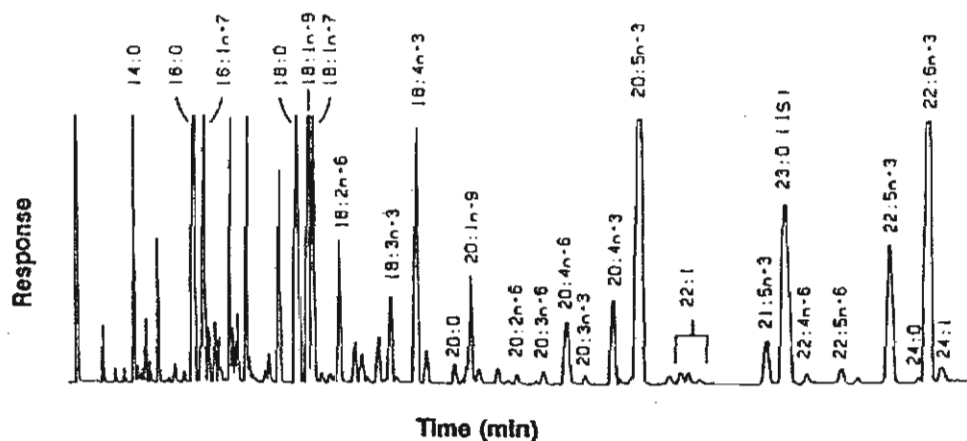
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ [7]

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 มักนิยมวิเคราะห์ในรูปแบบของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (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

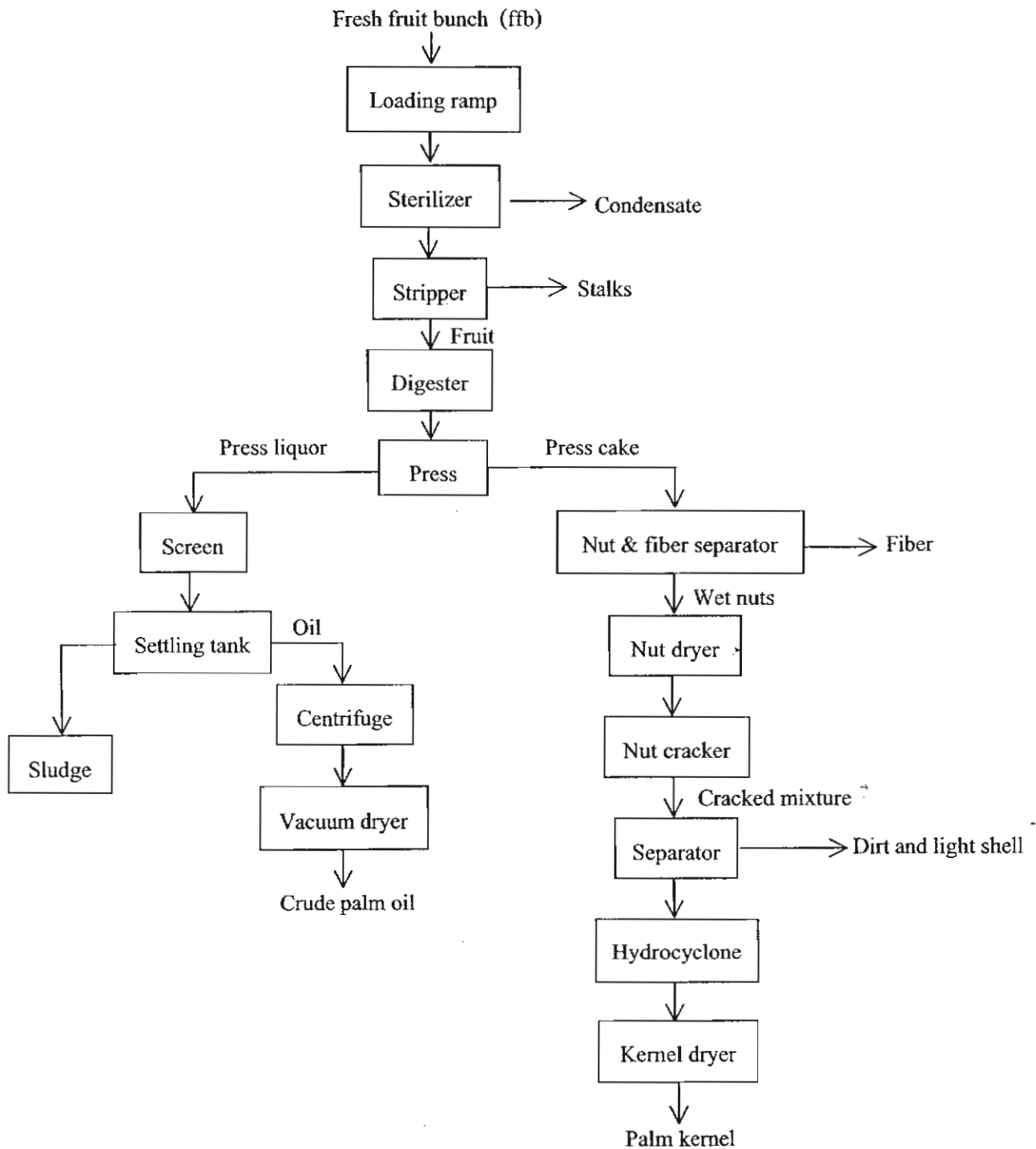
- การสกัดน้ำมัน (Extraction) จะทำอย่างต่อเนื่องโดยใช้เครื่องหีบชนิด screw press โดยจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาสองประเภท ได้แก่ 1) ของผสมระหว่างน้ำมันจากเส้นใยปาล์ม น้ำและอนุภาค และ 2) กากของแข็งประกอบด้วยเมล็ดในปาล์มและเส้นใยอยู่ด้วยกัน

- 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) ซึ่งประกอบด้วย การปรับความชื้นเมล็ดใน (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 ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการกำจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ ก่อนนำไปบริโภคหรือใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ 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

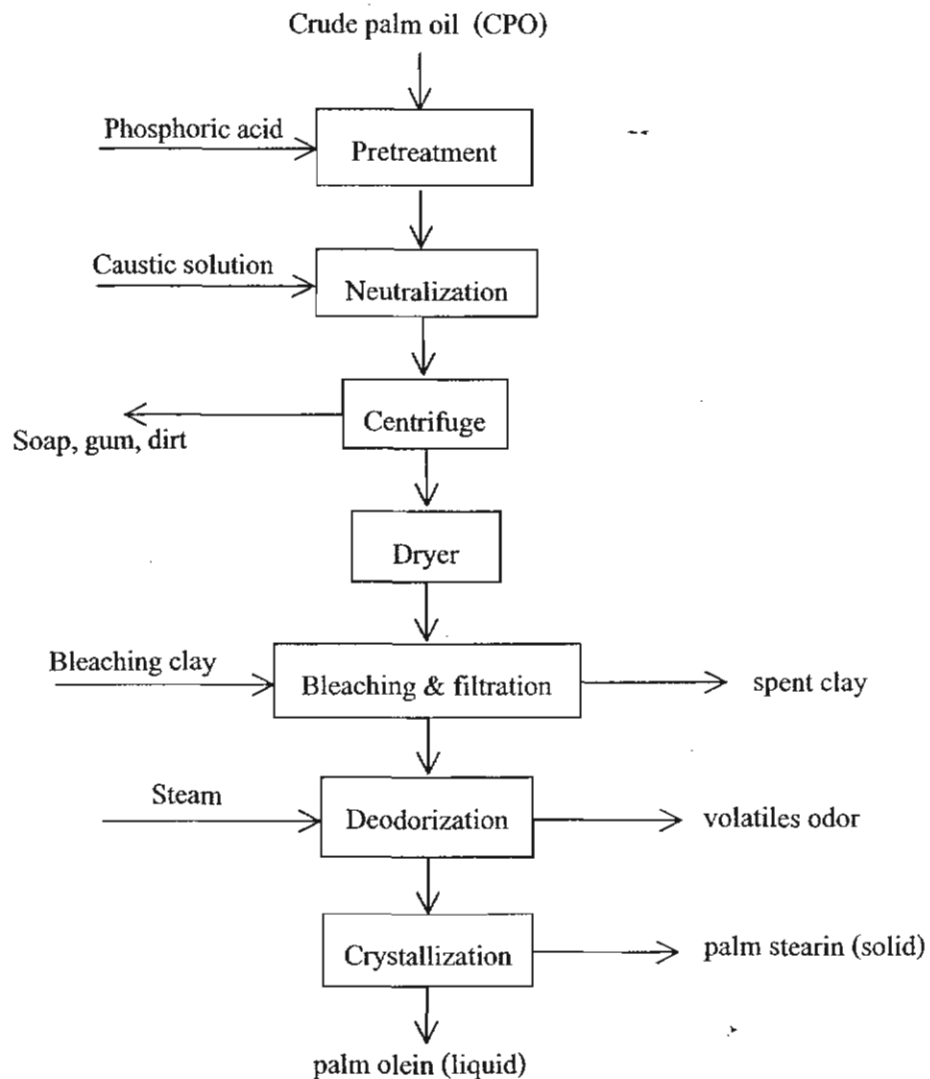
- การกำจัดกลิ่น (Deodorization)

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 มีส่วนผสมของเชื้อเพลิงและอากาศในสัดส่วนที่พอเหมาะ การติดไฟของส่วนผสมเชื้อเพลิงและอากาศ และการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิง สมบัติทางเชื้อเพลิงที่ดีของน้ำมันดีเซลคือ ต้องจุดระเบิดได้เองอย่างรวดเร็วและสามารถเผาไหม้ได้หมดจนภายใต้สภาวะการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ 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

เป็นน้ำมันที่มีช่วงอุณหภูมิการกลั่นปานกลางสำหรับการขับเคลื่อนของยานพาหนะโดยเฉพาะภายใต้สภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของภาระและความเร็วรอบบ่อย 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 โดยน้ำมันดีเซลหมุนเร็วจะมีข้อกำหนดด้านคุณภาพ

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 ต่ำ 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 และข้อมูลช่วงการกลั่นกลาง (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 เกิดควันดำและกำลังตก สำหรับเครื่องยนต์รอบต่ำสามารถใช้น้ำมันที่มีความหนืดได้สูงกว่าเครื่องยนต์ที่มีรอบหมุนสูง (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. ค่าอื่นๆ เช่น เถ้า (Ash) (ASTM D482) น้ำและตะกอน (Water and sediment) (ASTM D2709) และการกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip corrosion) (ASTM D130)

รูปที่ 2.4 แสดงอุปกรณ์บางส่วนที่ใช้วิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลตามมาตรฐาน ASTM

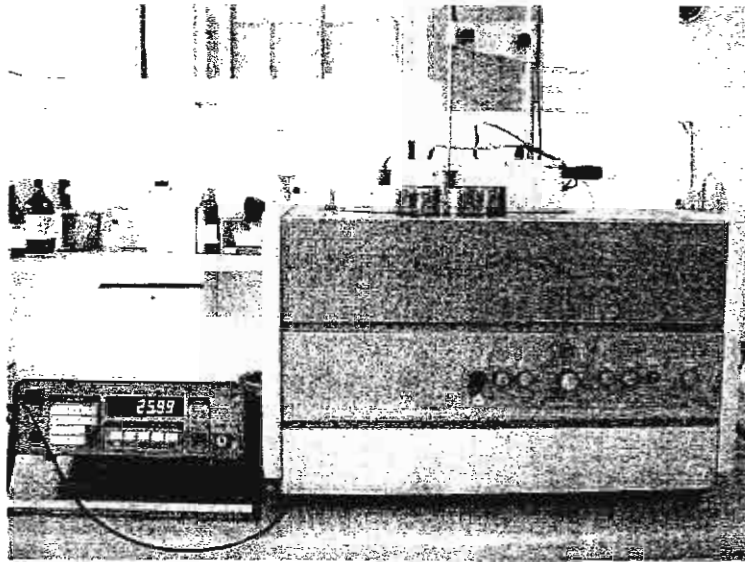
ตารางที่ 2.4 การกำหนดคุณภาพของน้ำมันดีเซลสำหรับใช้กับเครื่องยนต์หมุนเร็ว (ประกาศ
กระทรวงพาณิชย์ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2541)

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

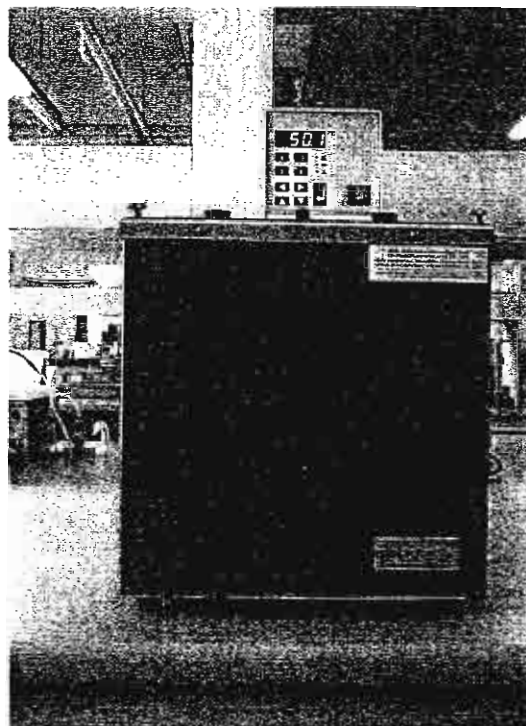
หมายเหตุ : * เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในประกาศกรมทะเบียนการค้า

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

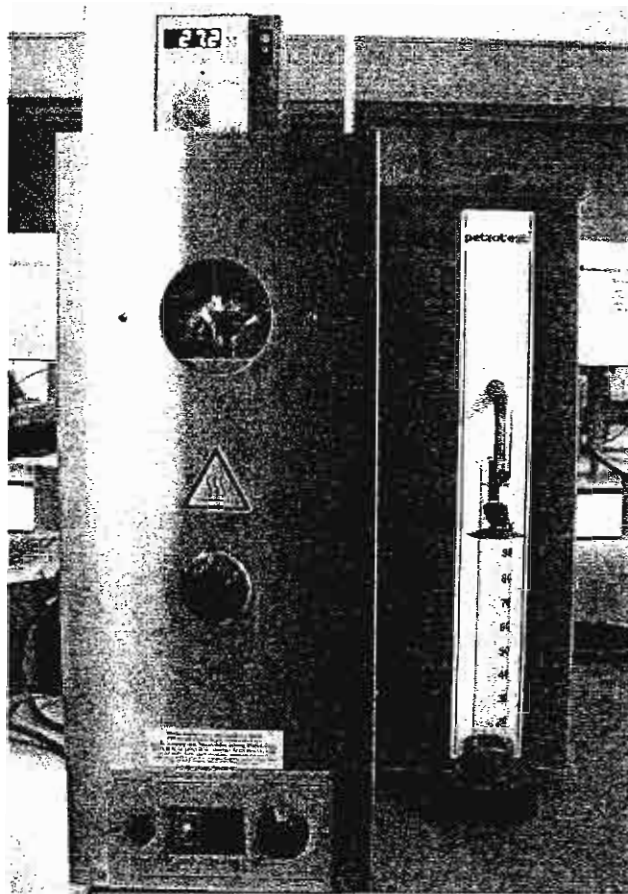
ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ
1. ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 °ซ (Specific Gravity at 15.6/15.6 °C)	ต้องไม่สูงกว่า 0.920	ASTM D1298
2. ดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index) หรือ จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ต้องไม่ต่ำกว่า 45	ASTM D976 ASTM D613
3. ความหนืดคิเนมาติก (Kinematic Viscosity, cSt) ณ อุณหภูมิ 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. อัตราปริมาณธาตุกำมะถันค่อน้ำหนักของน้ำมัน (Sulphur Content, %wt.)	ต้องไม่สูงกว่าร้อยละ 1.5	ASTM D129หรือ วิธีอื่นที่เทียบเท่า
6. อัตราน้ำและตะกอนค่อปริมาณของน้ำมัน (Water and Sediment, %vol.)	ต้องไม่สูงกว่าร้อยละ 0.3	ASTM D2709
7. อัตราเถ้าค่อน้ำหนักของน้ำมัน (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



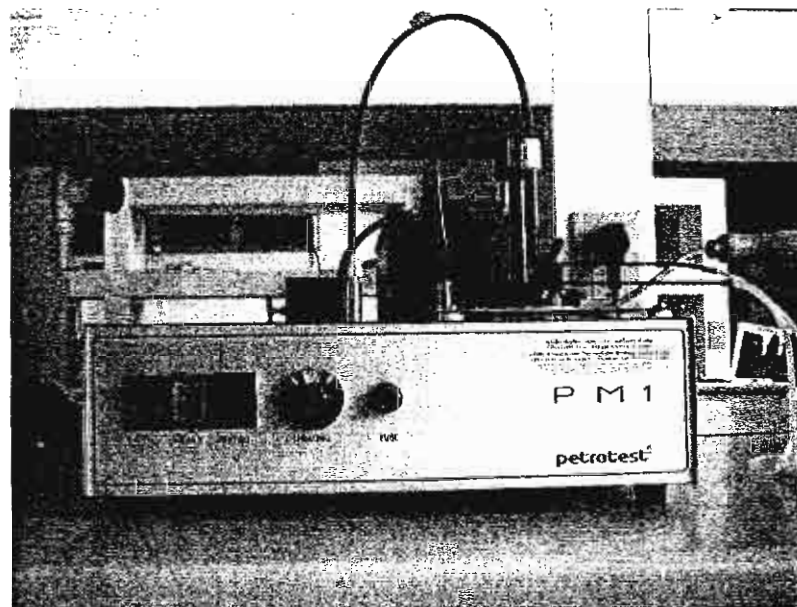
รูปที่ 2.4 ก. เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน (Bomb Calorimeter, ASTM D 240)



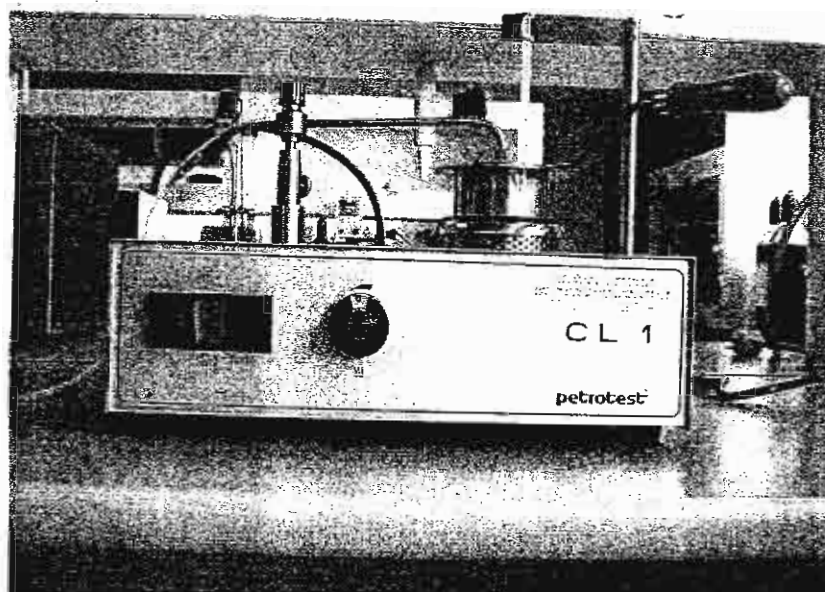
รูปที่ 2.4 ข. เครื่องวิเคราะห์การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Corrosion Test, ASTM 130)



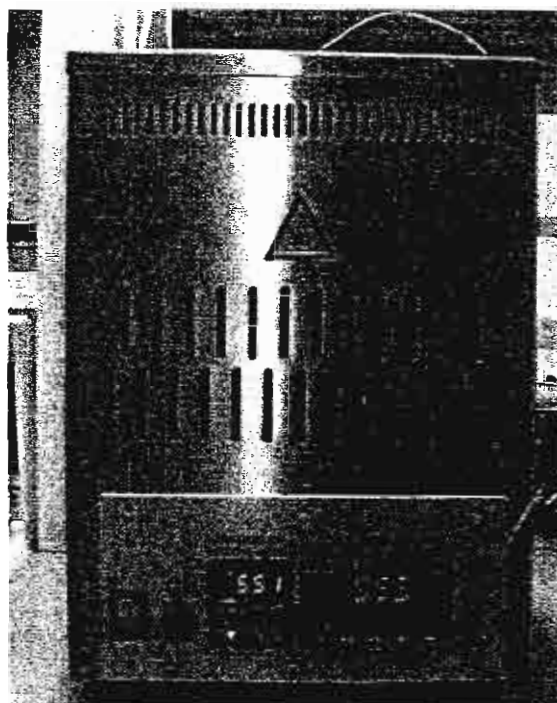
รูปที่ 2.4 ค. เครื่องวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิการกลั่น (Distillation Unit, ASTM 86)



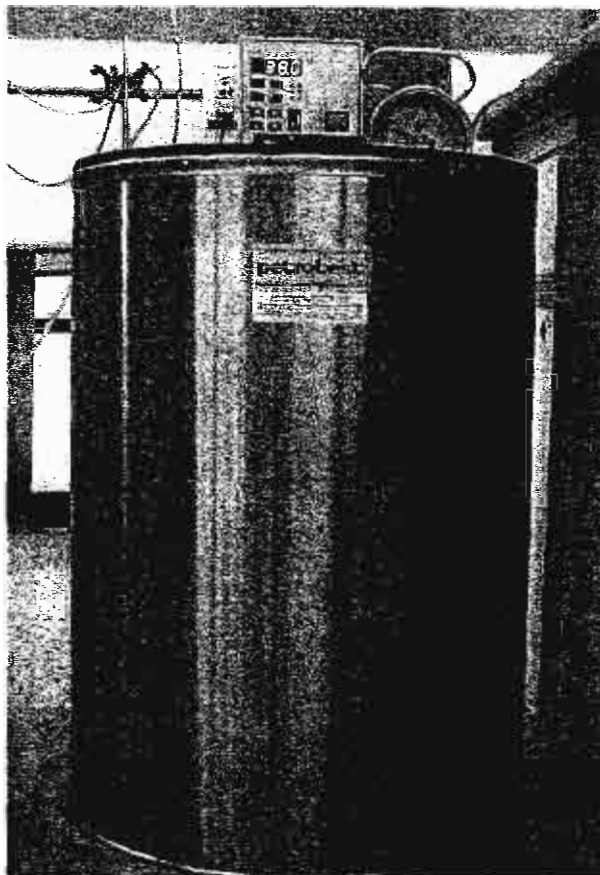
รูปที่ 2.4 ง. เครื่องวิเคราะห์จุดวาบไฟแบบปิดของ Pensky- Marsten
(Pensky- Marsten Closed Cup Test, ASTM D 93)



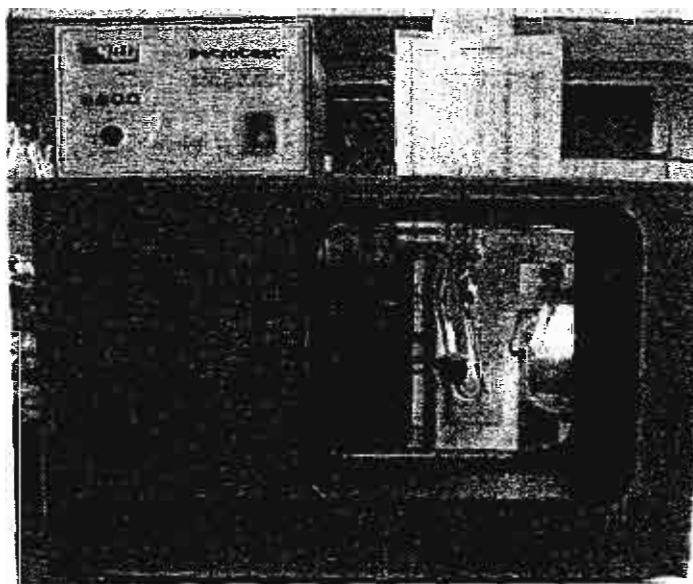
รูปที่ 2.4 จ. เครื่องวิเคราะห์จุดวาบไฟแบบเปิดของ Cleveland
(Cleveland Open Cup Test, ASTM D 92)



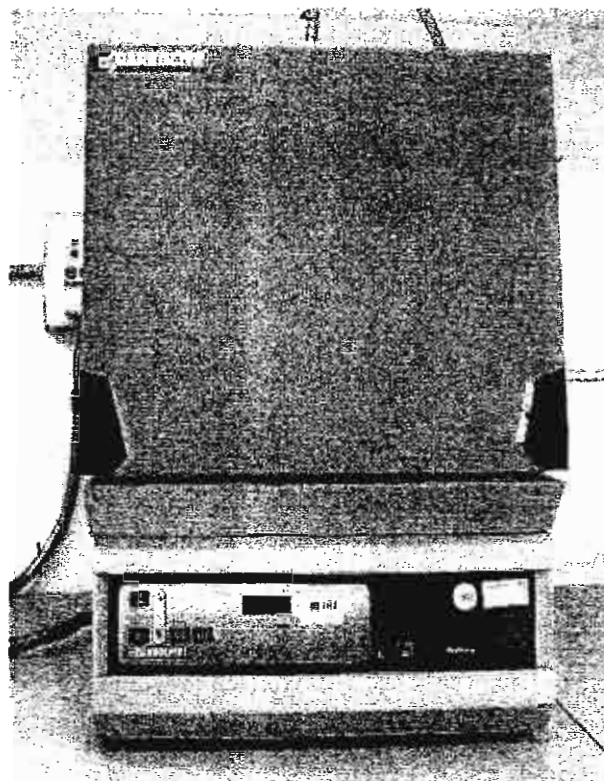
รูปที่ 2.4 ฉ. เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณกากคาร์บอนของแรมส์บอตตอม
(Ramsbottom Carbon Residue Test, ASTM D 524)



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 อย่างไรก็ตามจากปัญหาวิกฤตด้านพลังงานในปี 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) มีสมรรถนะและประสิทธิภาพในการทำงานที่ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลและยังพบว่าการใช้ น้ำมันพืชจะเกิดควันดำน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

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, NO_x และ HC มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ภายหลังการทำงานครบ 50 ชั่วโมงพบว่าไม่เกิดการอุดตันของหัวฉีดเชื้อเพลิงแต่อย่างใด

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

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

จากผลการวิจัยที่ผ่านมาจึงพอสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้สูงในการนำน้ำมันพืชดิบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ โดยเงื่อนไขการใช้งานที่เชื่อว่าจะเกิดปัญหาน้อย

ที่สุดจากการสะสมของสารตกค้างตามหัวใจและผนังกระบอกสูบและลูกสูบ การปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นและการสึกหรอของเครื่องยนต์ ได้แก่

- การลดความหนืดของน้ำมันพืชให้มีความน้อยลง โดยการเพิ่มอุณหภูมิและหรือ เจือจางด้วยการผสมกับน้ำมันดีเซล
- เลือกใช้เครื่องยนต์ดีเซลประเภทรอบต่ำหรือเครื่องยนต์ชนิด indirect injection
- ใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการปรับสภาพให้บริสุทธิ์ขึ้น เช่น การกำจัดกลี้น สี สารเหนียว หรือกรดไขมันอิสระ เป็นต้น
- ใช้งานในช่วงเวลาสั้น ๆ และตรวจสอบเครื่องยนต์อย่างสม่ำเสมอเป็นระยะ ๆ

บทที่ 3

ผลการศึกษา

3.1 ชนิดของน้ำมันปาล์มที่ศึกษา

น้ำมันปาล์มตัวอย่างที่นำมาทดสอบเป็นน้ำมันปาล์มที่จัดหาจากบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม 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 เป็นน้ำมันที่ไม่ได้ผ่านการกำจัดกลิ่นและฟอสฟอรัส แต่ได้ทำการแยกไขปาล์ม stearin บางส่วนออกแล้ว
5. น้ำมันปาล์มดิบกรอง เป็นน้ำมันปาล์มดิบที่แยกไขปาล์มซึ่งแขวนลอยออกโดยการกรองที่อุณหภูมิปกติ ($\sim 28^{\circ}\text{C}$)

3.2 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์ม

ลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์มชนิดต่าง ๆ และน้ำมันดีเซล แสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

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

เมล็ดในจะมีค่าน้อยที่สุด แสดงว่ามีสมบัติการไหลที่ดีกว่าน้ำมันปาล์มชนิดอื่น ๆ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลแล้วน้ำมันปาล์มดิบจะมีค่าความหนืดสูงกว่าของน้ำมันดีเซลประมาณ 12 เท่าที่อุณหภูมิ 40°C สำหรับค่าความตึงผิวซึ่งเป็นสมบัติที่มีผลต่อลักษณะการเป็นผอยละของของน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่าความตึงผิวของน้ำมันปาล์มทุกชนิดมีค่าสูงกว่าของน้ำมันดีเซลแต่ไม่มากนัก ประมาณ 15% โดยมีค่าสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เช่น คำนีหักเหและความชื้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

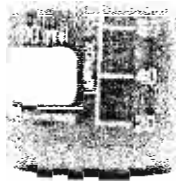
นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ขนาดและปริมาณของอนุภาคขนาดเล็กที่อาจแขวนลอยอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบ โดยนำน้ำมันปาล์มดิบตัวอย่างมาให้ความร้อนจนไขที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมันละลายหมดที่อุณหภูมิประมาณ 55°C จากนั้นนำมารองผ่านกระดาษกรองละเอียดโดยใช้ปั๊มสูญญากาศ นำกระดาษกรองไปอบแห้ง บันทึกน้ำหนัก และไปส่องหาอนุภาคและวัดขนาดด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยนับและวัดอนุภาคอย่างน้อย 100 อนุภาคต่อพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ผลการวิเคราะห์พบว่า

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

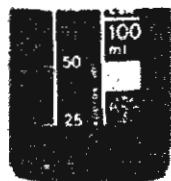
ดังนั้นในการนำน้ำมันปาล์มดิบไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ในเบื้องต้นควรกรองน้ำมันปาล์มดิบในลักษณะกรองร้อนก่อนโดยใช้แผ่นกรองที่มีขนาดของรูกรองอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 ไมครอน ทั้งนี้เพื่อลดภาระและยืดอายุการใช้งานของไส้กรองเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์

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 น้ำมันปาล์มดิบกรองมีค่าความเป็นกรดสูงสุดและน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีค่าต่ำสุด เป็นที่สังเกตว่าตัวเลขไอโอดีน (iodine value) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงระดับความไม่อิ่มตัวจากปริมาณพันธะคู่ มีค่าที่ใกล้เคียงและสอดคล้องกับร้อยละของไขมันไม่อิ่มตัว ดังนั้นร้อยละของปริมาณไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันพืชอาจใช้แทนด้วยตัวเลขไอโอดีน ซึ่งการหาค่ามีความยุ่งยากน้อยกว่าการวิเคราะห์โดยแปลงให้เป็นเมธิลเอสเตอร์ มีหลักฐานงานวิจัยว่าปัญหาการเกิดสารตกค้างในห้องเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลจากการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง อาจเกี่ยวข้องกับปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เนื่องจากพันธะคู่เป็นตำแหน่งที่มีความว่องไว สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ระหว่างการเผาไหม้เกิดเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์เป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตันของหัวฉีดหรือเกาะติดตามผนังกระบอกสูบและผิวลูกสูบ 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) ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันปาล์มตัวอย่างและน้ำมันคัสเชล

ชนิดของน้ำมันปาล์ม	ลักษณะทางกายภาพ	
น้ำมันกลั่นถึงบริสุทธิ์	เป็นของเหลวสีเหลืองอำพัน มีลักษณะขุ่นเล็กน้อยจากเม็ดไขมันที่แขวนลอยอยู่	
น้ำมันปาล์มดิบกรองที่อุณหภูมิห้อง (28°C)	เป็นของเหลวใส และมีสีแดงน้ำตาล	
น้ำมันคัสเชล	เป็นของเหลวใส และมีสีเหลืองอ่อน	

ตารางที่ 3.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล

สมบัติทางกายภาพ	น้ำมันปาล์มดิบ	น้ำมันเมล็ดใน	น้ำมันโอเลอิน	น้ำมันปาล์ม กลั่นกิ่งบริสุทธิ์	น้ำมันปาล์ม ดิบกรอง	น้ำมันดีเซล
¹ ความหนาแน่น, 25°C (g/cm ³)	0.904	0.914	0.905	0.904	0.907	0.825
² ความหนืด, 40°C (mm ² /s or cSt)	36.0	26.19	34.71	36.42	35.28	3.01
³ ความตึงผิว, 40°C (mN/m)	29.73	29.00	30.65	30.51	29.63	26.47
⁴ ดัชนีหักเห, 40°C	1.475	1.450	1.458	1.458	1.458	1.454
⁵ ความชื้น, wt%	0.054	0.062	0.12	0.044	0.10	0.11

หมายเหตุ

1. มาตรฐาน ASTM D1298
2. มาตรฐาน ASTM D445
3. วัดโดยเครื่องวัดความตึงผิว Tensiometer รุ่น K12 ยี่ห้อ KRUSS
4. วัดโดยเครื่องวัดดัชนีหักเห ยี่ห้อ Atago (ดัชนีหักเหของน้ำบริสุทธิ์ที่ 40°C เท่ากับ 1.331)
5. มาตรฐาน ASTM D556 สำหรับน้ำมันพืช และมาตรฐาน ASTM D2709 สำหรับน้ำมันดีเซล

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบและสมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์มที่ศึกษา

องค์ประกอบของไขมัน ⁽¹⁾ (กรัม/100กรัม)	จำนวนอะตอม คาร์บอน : จำนวนพันธะคู่	น้ำมันปาล์มดิบ	น้ำมันปาล์ม ดิบกรอง	น้ำมันเมดิค โนปาล์ม	น้ำมันมะพร้าว
Caprylic acid	C8 : 0	0.3	0.3	4.2	6.4
Capric acid	C10 : 0	-	-	3.7	5.4
Lauric acid	C12 : 0	-	1.1	49.4	47.9
Myristic acid	C14 : 0	1.1	-	15.5	19.7
Palmitic acid	C16 : 0	45.8	41.8	8.0	9.7
Palmitoleic acid	C16 : 1 n-7	0.2	0.2	-	-
Stearic acid	C18 : 0	3.9	3.9	2.1	2.7
Oleic acid	C18 : 1 n-9	39.0	42.1	14.7	6.6
Linoleic acid	C18-2 n-6	9.1	10.1	2.4	1.6
α-Linolenic acid	C18 : 3 n-3	0.3	0.3	-	-
Arachidic acid	C20 : 0	0.3	0.3	-	-
%Saturated fat		51.4	47.3	82.9	91.8
%Unsaturated fat		48.6	52.7	17.1	8.2
Acid value (มิลลิกรัม/กรัม)		8.91	13.76	5.86	20.54
Iodine value (Wijs) (กรัม/100กรัม)		50.61	56.19	15.84	9.98

หมายเหตุ ⁽¹⁾ องค์ประกอบไขมันวิเคราะห์ในรูปของ fatty acid methyl esters โดยวิธี gas chromatograph

3.3 สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล

สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มทั้ง 5 ชนิดเปรียบเทียบกับของน้ำมันดีเซล ซึ่งวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM ได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.4 สมบัติทางเชื้อเพลิงกลุ่มแรกได้แก่ ความสามารถในการระเหยและคุณภาพการติดไฟ ซึ่งมีอยู่หลายรายการ ข้อมูลแรกได้แก่ ข้อมูลการกลั่น (distillation test) ซึ่งบ่งบอกถึงองค์ประกอบอย่างหยาบ ๆ ในน้ำมันเชื้อเพลิงโดยพิจารณาจากช่วงอุณหภูมิจุดเดือด รูปที่ 3.1 แสดงข้อมูลการกลั่นในรูปของกราฟ ซึ่งพอสรุปผลได้ดังนี้

- เส้นกราฟการกลั่นของน้ำมันดีเซลแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและปริมาณการกลั่นที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยอุณหภูมิจะเริ่มเข้าใกล้ค่าคงที่ในช่วง ปริมาณการกลั่น 80-90% โดยมีจุดเดือดสูงสุดประมาณ 280°C ลักษณะของกราฟการกลั่นแสดงว่าองค์ประกอบของน้ำมันดีเซลมีจุดเดือดที่แตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวก straight chain paraffin หลายชนิดอยู่รวมกัน
- ช่วงจุดเดือดของน้ำมันปาล์มทุกชนิดมีค่าสูงกว่าของน้ำมันดีเซล แสดงว่าน้ำมันพืชมีโครงสร้างของโมเลกุลที่ใหญ่กว่า โดยน้ำมันปาล์มดิบมีช่วงจุดเดือดสูงที่สุด
- ลักษณะเส้นกราฟการกลั่นของน้ำมันปาล์มแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่ กลุ่มแรกเป็นของน้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันกลั่นถึงบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มดิบกรอง และกลุ่มที่สองเป็นของน้ำมันโอเลอินและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม โดยที่กลุ่มแรกเส้นกราฟจะเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณการกลั่นประมาณ 30% จากนั้นอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่ จนถึงปริมาณการกลั่น 70% หลังจากนั้นเส้นกราฟจะตกลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่น้ำมันในกลุ่มที่สองที่ปริมาณการกลั่นสูงกว่า 30% เส้นกราฟยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนถึงปริมาณประมาณ 80% อุณหภูมิจึงตกลงเล็กน้อย จะสังเกตว่ากราฟการกลั่นของน้ำมันโอเลอินและน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีลักษณะและแนวโน้มใกล้เคียงกับกราฟการกลั่นของน้ำมันดีเซล
- จากการเก็บข้อมูลการกลั่นสำหรับน้ำมันปาล์ม พบว่ามีปัญหาในการวิเคราะห์เป็นอย่างมาก เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนจนน้ำมันเดือด โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง ๆ จะเกิดควันที่มีกลิ่นฉุนซึ่งเป็นไปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอาจเกิดปฏิกิริยาเคมีเช่น ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวตรงตำแหน่งพันธะคู่ทำให้เกิดสารประกอบที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการสลายตัวทำให้เกิดควันและกลิ่นดังกล่าว ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลการกลั่นของน้ำมันปาล์ม โดยวิธี ASTM อาจให้ข้อมูลที่มีความไม่แน่นอนเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงขณะทำการกลั่น

สมบัติทางเชื้อเพลิงอื่น ๆ ในกลุ่มของ volatility และ ignition quality พอจะสรุปได้ดังนี้

- ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยที่ 15.5°C มีค่าอยู่ในช่วง $0.908\text{--}0.920\text{ g/cm}^3$ ซึ่งสูงกว่าความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล (0.832 g/cm^3) เมื่อเทียบเป็นสัดส่วนเฉลี่ยประมาณ 10%

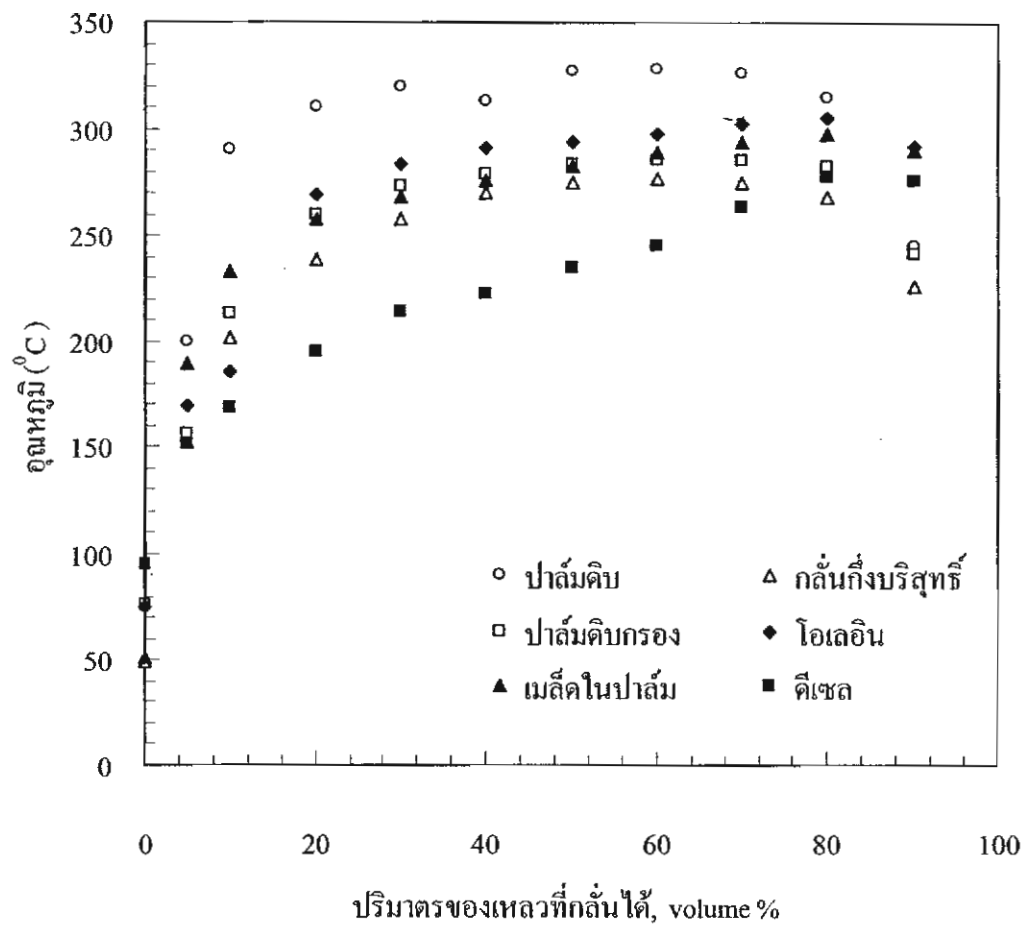
- จุดวาบไฟ (Flash point) ของน้ำมันปาล์มมีค่าสูงกว่าของน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก ประมาณ 4 เท่า ซึ่งเป็นข้อดีอย่างหนึ่งในเรื่องของความปลอดภัยในขณะขนถ่ายและการเก็บกัก
- ค่าความดันไอ (Vapor pressure) ที่อุณหภูมิ 37°C โดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าของน้ำมันดีเซลประมาณ 70%
- ค่าความตึงผิว (Surface tension) เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความยากง่ายในการเป็นละอองฝอยของน้ำมัน ถ้ามีค่าสูงจะต้องใช้พลังงานในการสร้างพื้นที่ผิวมาก ค่าความตึงผิวของน้ำมันปาล์มทั้ง 5 ชนิด มีค่าอยู่ในช่วง 29.28-31.09 dynes/cm (mN/m) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.01 dynes/cm ซึ่งสูงกว่าความตึงผิวของน้ำมันดีเซลคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 10%
- ดัชนีซีเทน (Cetane index) ซึ่งเป็นค่าที่วัดความยากง่ายในการจุดระเบิดจากการอัดของลูกสูบ จากข้อมูลจะเห็นว่า ดัชนีซีเทนของน้ำมันปาล์มทุกชนิดมีค่าต่ำกว่าของน้ำมันปาล์มดิบ โดยให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 42 และมีค่าเฉลี่ยของน้ำมันปาล์มทั้ง 5 ชนิดเท่ากับ 35.8 ซึ่งต่ำกว่าของน้ำมันดีเซลโดยเทียบเป็นสัดส่วนเท่ากับ 20% การที่ดัชนีซีเทนของน้ำมันปาล์มมีค่าต่ำกว่าของน้ำมันดีเซล อาจทำให้เกิด ignition delay ส่งผลให้การเผาไหม้เกิดได้ไม่สมบูรณ์ และกำลังเครื่องยนต์ตกลง เนื่องจากดัชนีซีเทน (Cetane index) ของน้ำมันปาล์มจะประมาณจากอุณหภูมิกึ่งกลาง (mid-boiling point) จากข้อมูลการกลั่น (ASTM D86) ซึ่งกราฟการกลั่นที่ได้จะแตกต่างจากกราฟของน้ำมันดีเซล (ดูรูปที่ 3.1) การประมาณค่าดัชนีซีเทน (Cetane index) ของน้ำมันพืชจึงอาจได้ค่าที่ไม่สอดคล้องกับค่าจำนวนซีเทน (Cetane number) ซึ่งหาได้จากการนำน้ำมันเชื้อเพลิงไปทดสอบโดยตรงกับเครื่องยนต์ดีเซล
- ค่าความร้อนของการเผาไหม้รวม (Gross heating value) ของน้ำมันปาล์มจะอยู่ในช่วง 31,000-35,300 kJ/kg ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าความร้อนของน้ำมันดีเซลเป็นสัดส่วนประมาณ 20% ดังนั้นการนำน้ำมันปาล์มไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลจะทำให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันสูงขึ้น

สมบัติทางเชื้อเพลิงในกลุ่มที่สองที่เกี่ยวกับสมบัติการไหล (Flow properties) ได้แก่ค่าความหนืด ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความต้านทานต่อการไหลของน้ำมันในระบบจ่ายเชื้อเพลิง เป็นสมบัติของน้ำมันพืชที่เป็นปัญหามากที่สุด เนื่องจากมีค่าสูงกว่าของน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก จากตัวเลขในตารางที่ 3.4 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 40°C ค่าความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity) ของน้ำมันปาล์มดิบจะสูงกว่าความหนืดของน้ำมันดีเซลประมาณ 12 เท่า และที่อุณหภูมิ 100°C จะสูงกว่าประมาณเกือบ 7 เท่า ในขณะที่ความหนืดของน้ำมันเมล็ดในปาล์มจะต่ำกว่าของน้ำมันปาล์มประเภทอื่นๆ โดยมีค่าสูงกว่าความหนืดของน้ำมันดีเซลประมาณ 8.7 เท่า ที่ 40°C และประมาณ 5 เท่า ที่ 100°C ดังนั้นการนำน้ำมันปาล์มไปใช้เป็นเชื้อเพลิงจะต้องพยายามลดความหนืดลงมาให้ใกล้เคียงกับของน้ำมันดีเซล โดยวิธีให้ความร้อนหรือเจือจางด้วยน้ำมันดีเซล ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.4

สมบัติเชื้อเพลิงในกลุ่มสุดท้ายที่ใช้วัดแนวโน้มของความสะอาด (Cleanliness) จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ได้แก่ ค่าร้อยละกำมะถัน ร้อยละเถ้า ร้อยละกากถ่าน และการกัดกร่อนต่อแผ่นทองแดง เป็นที่สังเกตว่าปริมาณกำมะถันและเถ้าของน้ำมันปาล์มทุกชนิดที่ทดสอบจะต่ำกว่าของน้ำมันดีเซล ปริมาณกากถ่านของน้ำมันปาล์มจะสูงกว่าของน้ำมันดีเซลแต่ยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ส่วนสมบัติการกัดกร่อนยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล

รายการสมบัติทางเชื้อเพลิง	มาตรฐาน	น้ำมันปาล์มดิบ	น้ำมันกลั่นถึงบริสุทธิ์	น้ำมันปาล์มดิบกรอง	น้ำมันโอเลอีน	น้ำมันเมสตีโนปาล์ม	น้ำมันดีเซล
Volatility & Ignition Quality :							
(i) Distillation test :	ASTM D86						
Initial boiling point (IBP), °C		73	49	76	75	51	95
5% recovered, °C		200	152	156	169	189	151
10% recovered, °C		290	202	213	225	233	168
20% recovered, °C		310	239	260	269	258	195
30% recovered, °C		320	258	273	283	268	214
40% recovered, °C		323	270	279	291	276	223
50% recovered, °C		327	275	283	294	282	235
60% recovered, °C		328	277	285	298	289	245
70% recovered, °C		326	275	285	302	294	263
80% recovered, °C		315	268	282	305	298	278
90% recovered, °C		245	226	242	292	290	276
Final boiling point (FBP), °C		328	277	-	305	298	278
Residue, wt%		5.3	1.3	3.4	2.0	1.6	2.4
(ii) Density (15.5°C), g/cm ³	ASTM D1298	0.908	0.910	0.914	0.911	0.920	0.832
(iii) Flash point, °C	ASTM D93	260	300	250	310	268	70
(iv) Reid vapor pressure (37°C), kPa	ASTM D323	3.79	1.70	5.68	3.79	2.65	6.13
(v) Surface tension (30°C), dynes/cm	-	29.44	31.07	29.28	31.09	29.28	27.22
(vi) Cetane index	ASTM D976	42	34	35	35	33	45
(vii) Gross heating value, kJ/kg	ASTM D240	35,300	32,500	34,900	31,000	33,000	41,000
Flow Properties							
(i) Kinematic viscosity	ASTM D445						
at 40°C, cSt(mm ² /s)		36.0	36.42	35.28	34.71	26.19	3.01
at 100°C, cSt(mm ² /s)		8.14	8.25	7.86	7.98	5.96	1.20
Cleanliness :							
(i) Sulfur content, wt%	ASTM D1552	0.013	0.041	0.024	0.020	0.048	0.23
(ii) Ash content, wt%	ASTM D482	0.003	0.006	0.004	0.010	0.004	0.032
(iii) Copper strip corrosion (100°C, 2h)	ASTM D130	No. 1d	No. 1b	No. 1a	No. 1b	No. 1b	No. 1b
(iv) Carbon residue (Ramsbottom), wt%	ASTM D524	0.134	0.124	0.132	0.110	0.051	0.012



รูปที่ 3.1 ข้อมูลการกลั่นของน้ำมันปาล์มตัวอย่าง และน้ำมันคีเซลตามมาตรฐาน ASTM D86

3.4 การปรับปรุงสภาพของน้ำมันปาล์มเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

จากข้อมูลการวัดสมบัติทางเชื้อเพลิงในหัวข้อ 3.3 และจากรายงานวิจัยที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า สมบัติทางเชื้อเพลิงที่เป็นอุปสรรคมากที่สุดในการนำน้ำมันพืชดิบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ ค่าความหนืด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงสภาพของน้ำมันปาล์มให้มีค่าความหนืดที่ลดลง วิธีการลดความหนืดของน้ำมันพืชมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกศึกษาโดยกระบวนการทางกายภาพที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนรวม 3 วิธี ได้แก่

- ก. การเพิ่มอุณหภูมิ
- ข. การผสมน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล
- ค. การแยกองค์ประกอบของน้ำมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงโดยวิธีการลดอุณหภูมิเพื่อให้ได้น้ำมันที่ใสขึ้น

นอกจากนี้ยังศึกษาการลดแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เชชันจากโครงสร้างพันธะคู่ในน้ำมันพืช ซึ่งเชื่อว่าเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสารสะสมในห้องเผาไหม้ การลดปริมาณพันธะคู่ทำได้โดยการเป่าอากาศผ่านน้ำมันพืชภายใต้สภาวะอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้ออกซิเจนในอากาศเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ตำแหน่งพันธะคู่เกิดโครงสร้างของกรดไขมันประเภทอิ่มตัว

น้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงสภาพด้วยกระบวนการต่างๆ ข้างต้นจะนำมาวัดสมบัติทางเชื้อเพลิงที่สำคัญ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการนำน้ำมันปาล์มไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่อไป

3.4.1 ผลของอุณหภูมิต่อสมบัติทางเชื้อเพลิง

ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืด ความตึงผิว และความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มตัวอย่างทั้ง 5 ชนิดและน้ำมันดีเซล สรุปไว้ในตารางที่ 3.5-3.7 และแสดงความสัมพันธ์ในรูปของกราฟดังรูปที่ 3.2 - 3.4 ตามลำดับ

จากรูปที่ 3.2 เมื่อลงค่าความหนืดและอุณหภูมิต่อกันบนกระดาษ $\log - \log$ จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงแสดงได้ด้วยสมการยกกำลัง

$$\mu = aT^b \quad (3.1)$$

เมื่อ μ คือค่าความหนืดในหน่วย centipoise หรือ mPa.s และ T คืออุณหภูมิในหน่วย $^{\circ}\text{C}$ จะเห็นว่าสามารถแบ่งข้อมูลความหนืดได้เป็นสามชุด ได้แก่ ชุดแรกประกอบด้วยน้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มดิบกลั่นถึงบริสุทธิ์ ปาล์มดิบกรอง (28°C) และปาล์มโอเลอิน ซึ่งมีค่าความหนืดไม่แตกต่างกันมากนักโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงกว่า 55°C และให้ค่าความหนืดสูงสุดเมื่อเทียบกับน้ำมันในชุดอื่น ชุดที่สองได้แก่ น้ำมันเมล็ดในปาล์ม ซึ่งมีค่าความหนืดต่ำลงมาและชุดสุดท้ายได้แก่ น้ำมันดีเซล ซึ่งมีความหนืดต่ำที่สุด มีแนวโน้มว่าความแตกต่างของความหนืดระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซลมีค่าน้อยลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิ 25°C และ 100°C น้ำมันปาล์มดิบมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลคิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 20 เท่า และ 7 เท่าตามลำดับ ค่าคงที่ a และ b ในสมการ (3.1) แสดงไว้ในตารางที่ 3.8 สำหรับน้ำมันแต่ละชนิด

ผลของอุณหภูมิในช่วง 30 - 80°C ที่มีต่อค่าความตึงผิวของน้ำมันตัวอย่าง สรุปไว้ในตารางที่ 3.6 และแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.3 จากรูปจะเห็นว่าค่าความตึงผิวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะช่วยให้น้ำมันพืชเกิดละอองฝอยได้ดีขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างความตึงผิวและอุณหภูมิแสดงลักษณะสมการเชิงเส้น

$$\sigma = c + dT \quad (3.2)$$

เมื่อ σ คือค่าความตึงผิวในหน่วย dynes/cm หรือ mN/m และ T คืออุณหภูมิในหน่วย °C ความสัมพันธ์ระหว่างความตึงผิวและอุณหภูมิสามารถแบ่งได้เป็นสามกลุ่มตามลำดับเช่นเดียวกับค่าความหนืดในรูปที่ 3.2 แต่ค่าความตึงผิวของน้ำมันปาล์มในกลุ่มแรกค่อนข้างกระจายมากกว่า ตารางที่ 3.9 สรุปค่าคงที่ c และ d ในสมการ (3.2)

ผลของอุณหภูมิตั้งแต่ 20 - 100°C ที่มีต่อค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มและน้ำมันคัสเชลแสดงในตารางที่ 3.7 และรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าความหนาแน่นจะลดลงตามการเพิ่มของอุณหภูมิในลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้น เช่นเดียวกับผลของความตึงผิว

$$\rho = m + nT \quad (3.3)$$

เมื่อ ρ คือค่าความหนาแน่นในหน่วย g/cm³ และ T คืออุณหภูมิในหน่วย °C ค่าความหนาแน่นของน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีค่าสูงสุด ต่ำลงมาเป็นความหนาแน่นของน้ำมันปาล์ม 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มกลั่นกิ่งบริสุทธิ์ น้ำมันปาล์มคิบกรองที่ 28°C และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ซึ่งมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกันและน้ำมันคัสเชลซึ่งมีความหนาแน่นต่ำที่สุด ตารางที่ 3.10 แสดงค่าคงที่ m และ n ในสมการ (3.3)

ข้อมูลสมบัติทางเชื้อเพลิงในหัวข้อนี้สามารถนำไปกำหนดสภาวะการใช้งานของน้ำมันปาล์มประเภทต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลได้

ตารางที่ 3.5 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล

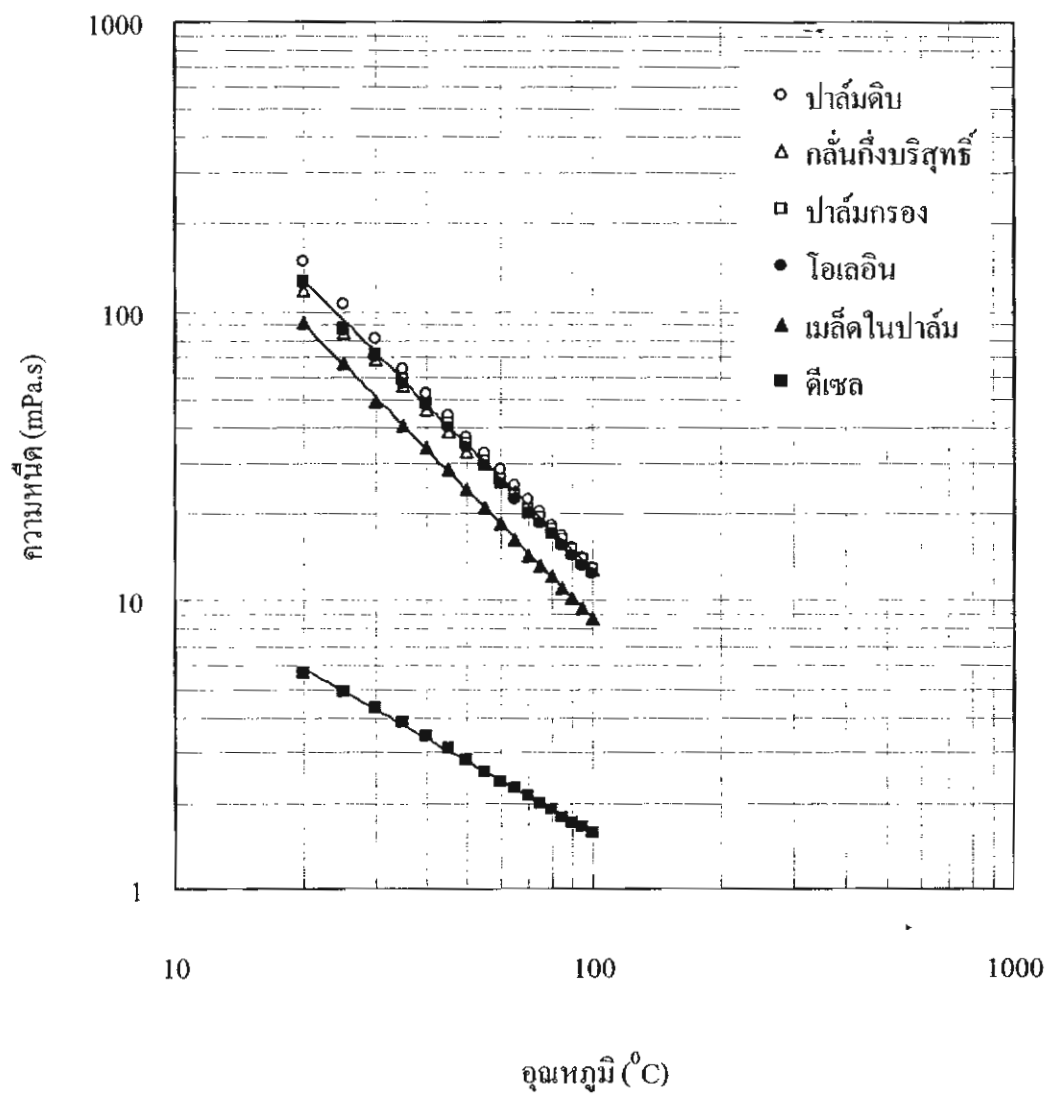
อุณหภูมิ (°C)	ค่าความหนืด (Centipoise หรือ mPa.s)					
	น้ำมัน ปาล์มดิบ	น้ำมันปาล์มกลั่น ถึงบริสุทธิ์	น้ำมันปาล์มดิบ กรองที่ 28 °C	น้ำมันปาล์ม โอเลอิน	น้ำมันเมธิล โนปาล์ม	น้ำมันดีเซล
20	148.46	119.4	126.65	125.02	91.79	5.63
25	106.02	85.00	88.00	86.00	66.24	4.92
30	80.52	68.80	71.40	69.60	49.30	4.32
35	63.81	56.00	58.40	57.20	40.60	3.86
40	52.16	46.40	48.60	47.60	33.90	3.44
45	43.67	38.70	41.00	40.10	28.50	3.1
50	37.14	32.80	35.10	34.10	24.40	2.82
55	32.38	29.90	30.40	29.40	21.10	2.57
60	28.42	26.00	26.50	25.50	18.50	2.36
65	25.06	23.70	23.30	22.30	16.20	2.25
70	22.40	20.30	20.70	19.90	14.40	2.11
75	20.20	19.08	19.38	18.61	13.29	1.99
80	18.33	17.44	17.68	16.96	12.10	1.89
85	16.73	16.03	16.22	15.54	11.07	1.79
90	15.34	14.81	14.96	14.31	10.18	1.71
95	14.14	13.74	13.85	13.24	9.41	1.63
100	13.09	12.80	12.88	12.30	8.73	1.56

ตารางที่ 3.6 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความตึงผิวของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล

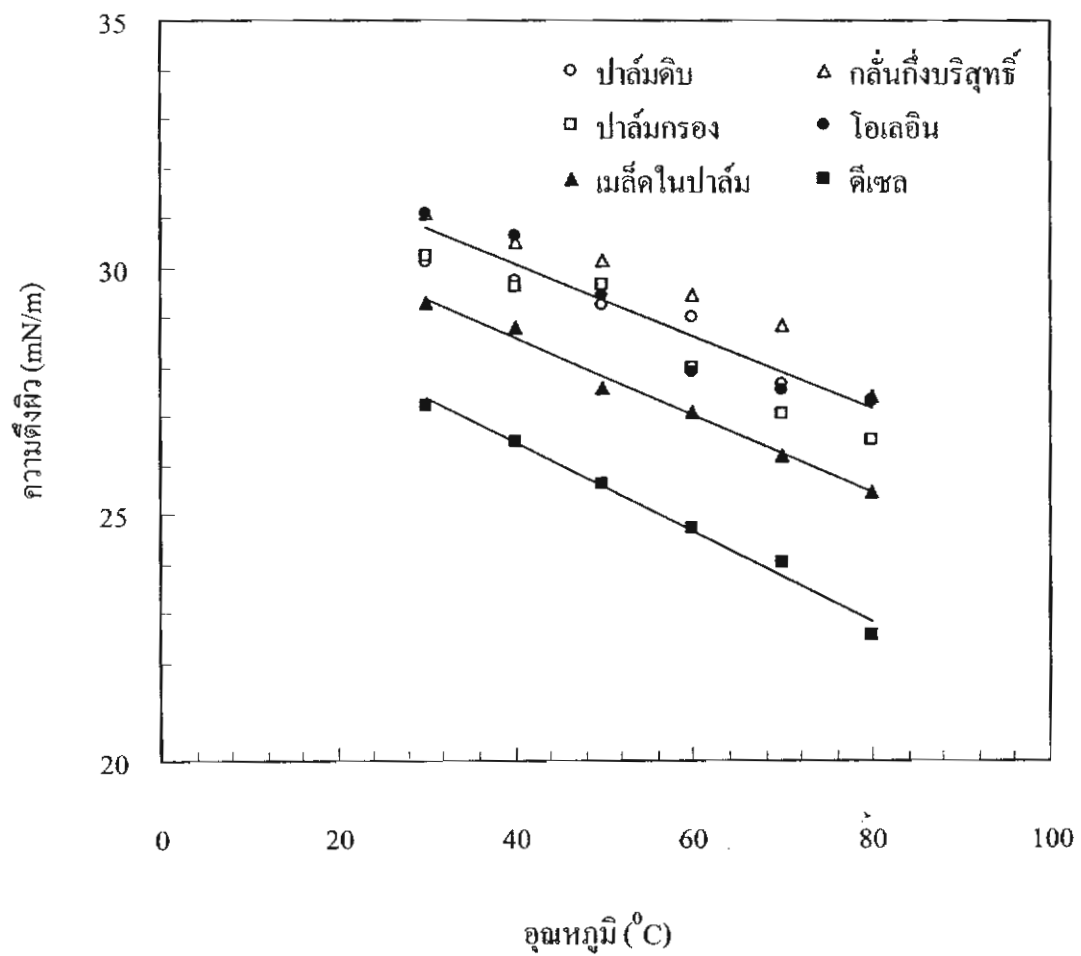
อุณหภูมิ (°C)	ค่าความตึงผิว (dynes / cm หรือ mN/m)					
	น้ำมันปาล์มดิบ	น้ำมันปาล์มกลั่น ถึงบริสุทธิ์	น้ำมันปาล์มดิบ กรองที่ 28 °C	น้ำมันปาล์ม โอเลอิน	น้ำมันเมธิล โนปาล์ม	น้ำมันดีเซล
30	30.11	31.07	30.22	31.09	29.28	27.22
40	29.73	30.51	29.63	30.65	28.81	26.47
50	29.24	30.13	29.65	29.45	27.59	25.64
60	28.99	29.45	28.00	27.92	27.09	24.73
70	27.65	28.84	27.06	27.53	26.21	24.04
80	27.31	27.41	26.52	27.32	25.45	22.55

ตารางที่ 3.7 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล

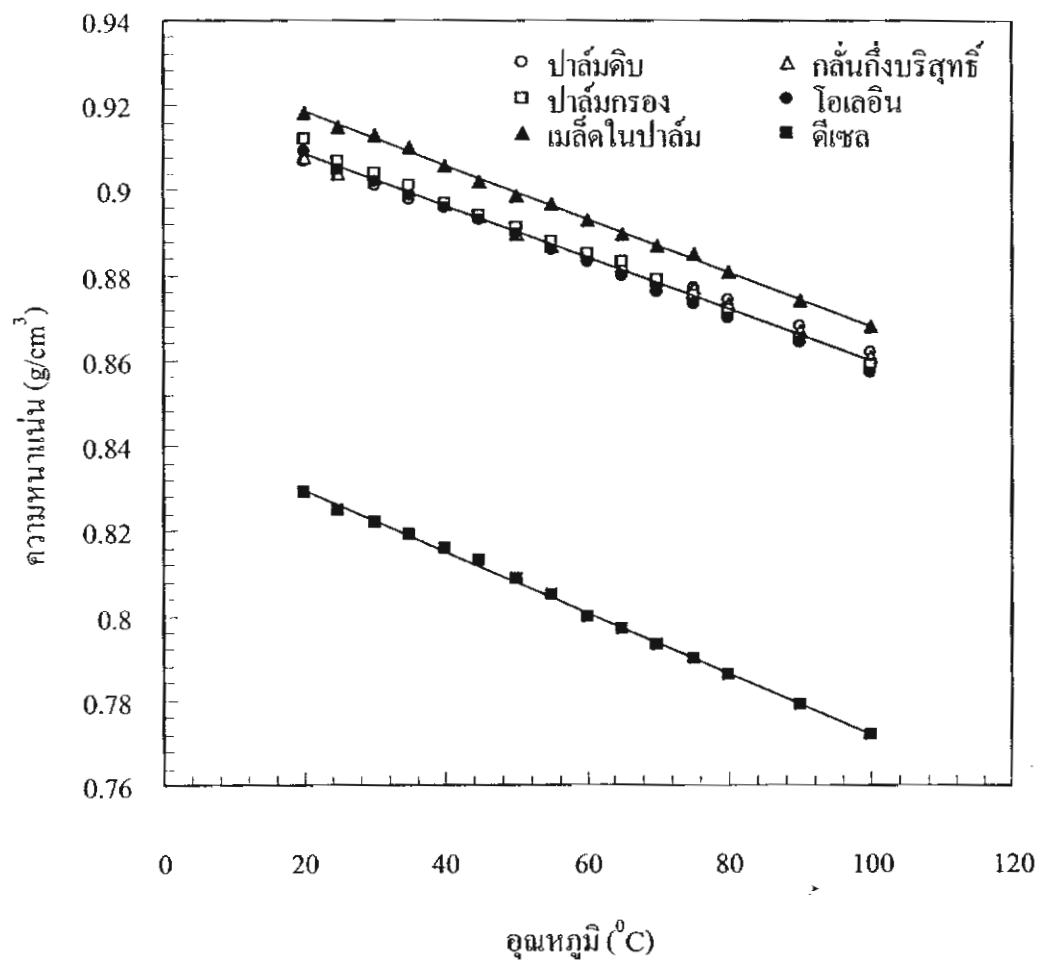
อุณหภูมิ (°C)	ค่าความหนาแน่น (g / cm ³)					
	น้ำมันปาล์มดิบ	น้ำมันปาล์มกลั่น กึ่งบริสุทธิ์	น้ำมันปาล์มดิบ กรองที่ 28 °C	น้ำมันปาล์ม โอเลอิน	น้ำมันเมดิค โนปาล์ม	น้ำมันดีเซล
20	0.907	0.908	0.912	0.909	0.918	0.829
25	0.904	0.904	0.907	0.905	0.915	0.825
30	0.901	0.903	0.904	0.902	0.913	0.822
35	0.898	0.900	0.901	0.899	0.910	0.819
40	0.896	0.897	0.897	0.896	0.906	0.816
45	0.893	0.894	0.894	0.893	0.902	0.813
50	0.891	0.890	0.891	0.890	0.899	0.809
55	0.888	0.887	0.888	0.886	0.897	0.805
60	0.885	0.885	0.885	0.883	0.893	0.800
65	0.883	0.882	0.883	0.880	0.890	0.797
70	0.878	0.879	0.879	0.876	0.887	0.793
75	0.877	0.877	0.875	0.873	0.885	0.790
80	0.874	0.873	0.872	0.870	0.881	0.786
90	0.868	0.867	0.865	0.864	0.874	0.779
100	0.862	0.861	0.859	0.857	0.868	0.772



รูปที่ 3.2 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล



รูปที่ 3.3 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความตึงผิวของน้ำมันปาล์มและน้ำมันคืเชล



รูปที่ 3.4 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล

ตารางที่ 3.8 ค่าคงที่ a และ b ในสมการ (3.1) : $\mu = aT^b$ ของน้ำมันชนิดต่าง ๆ

ชนิดของน้ำมัน	ค่าคงที่ a	ค่าคงที่ b	Regression coefficient (R ²)
ปาล์มดิบ	9658	-1.44	0.995
ปาล์มดิบกรอง	9658	-1.44	0.995
กลั่นถึงบริสุทธิ์	9658	-1.44	0.995
โอเลอิน	9658	-1.44	0.995
เมสส์คีนปาล์ม	7297	-1.462	0.997
ดีเซล	69.7	-0.823	0.998

ตารางที่ 3.9 ค่าคงที่ c และ d ในสมการ (3.2) : $\sigma = c + dT$ ของน้ำมันชนิดต่าง ๆ

ชนิดของน้ำมัน	ค่าคงที่ c	ค่าคงที่ d	Regression coefficient (R ²)
ปาล์มดิบ	33.00	-0.073	0.851
ปาล์มดิบกรอง	33.00	-0.073	0.851
กลั่นถึงบริสุทธิ์	33.00	-0.073	0.851
โอเลอิน	33.00	-0.073	0.851
เมสส์คีนปาล์ม	31.72	-0.078	0.990
ดีเซล	30.07	-0.090	0.986

ตารางที่ 3.10 ค่าคงที่ m และ n ในสมการ (3.3) : $\rho = m + nT$ ของน้ำมันชนิดต่าง ๆ

ชนิดของน้ำมัน	ค่าคงที่ m	ค่าคงที่ n	Regression coefficient (R ²)
ปาล์มดิบ	0.921	-0.0006	0.992
ปาล์มดิบกรอง	0.921	-0.0006	0.992
กลั่นถึงบริสุทธิ์	0.921	-0.0006	0.992
โอเลอิน	0.921	-0.0006	0.992
เมสส์คีนปาล์ม	0.931	-0.0006	0.998
ดีเซล	0.844	-0.0007	0.998

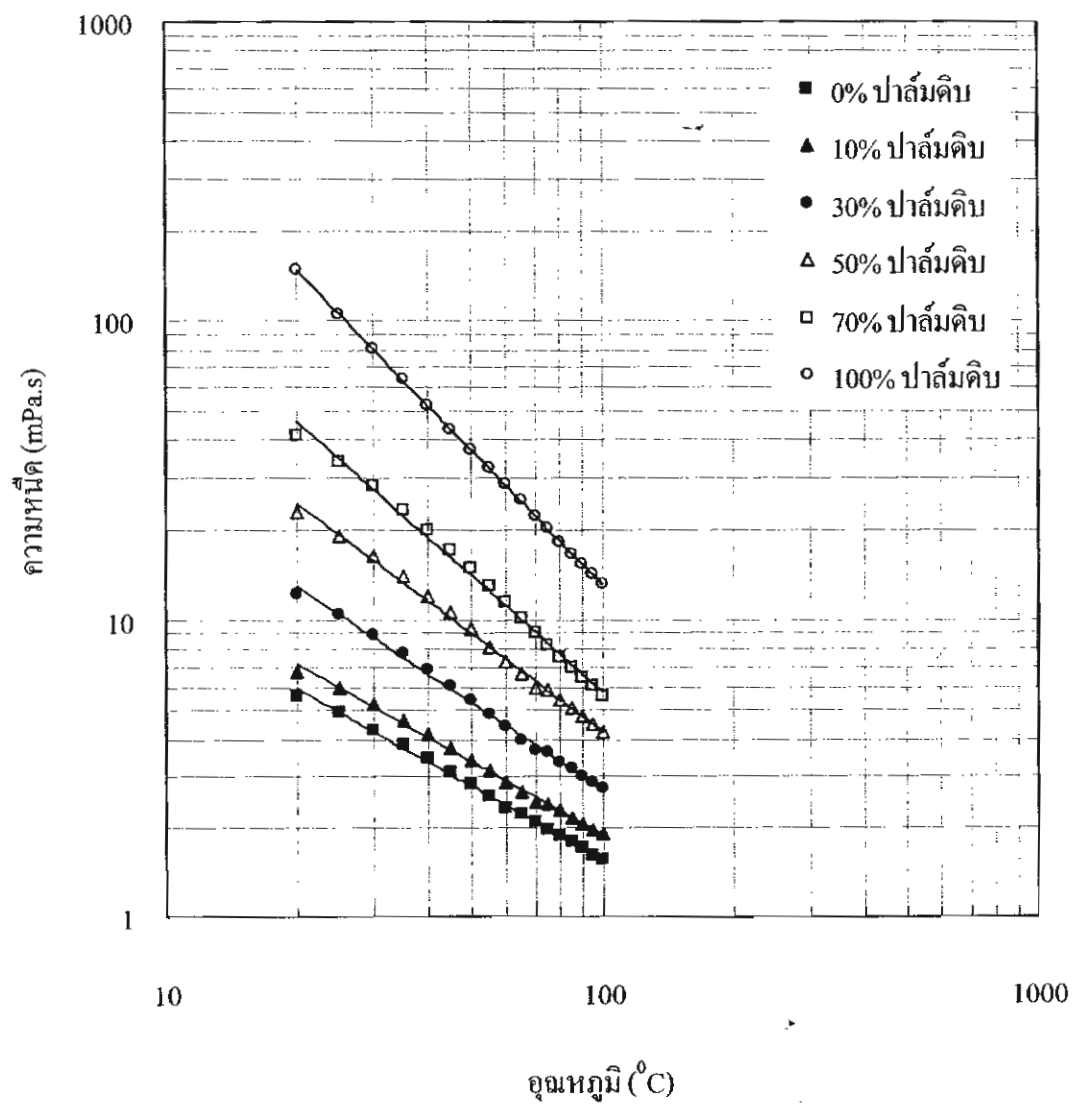
3.4.2 การเจือจางน้ำมันปาล์มดิบด้วยน้ำมันดีเซล

นอกเหนือจากการลดค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มด้วยการเพิ่มอุณหภูมิโดยตรงแล้ว ยังสามารถควบคุมความหนืดโดยวิธีผสม (blending) น้ำมันปาล์มดิบกับน้ำมันดีเซลหรือเชื้อเพลิงประเภทอื่น เช่น น้ำมันก๊าด เป็นต้น เนื่องจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันเชื้อเพลิงต่างก็เป็นสารประกอบอินทรีย์ (องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน) จึงสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ในทุกอัตราส่วน ตารางที่ 3.11 แสดงค่าความหนืดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 0, 10, 30, 50, 70 และ 100% โดยปริมาตรของน้ำมันปาล์มดิบ และในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20 ถึง 100°C รูปที่ 3.5 แสดงผลในรูปของกราฟ จะเห็นว่าความหนืดของน้ำมันผสมจะมีค่าลดลงตามการเพิ่มของอุณหภูมิ โดยที่อัตราการลดลงจะมีค่ามากขึ้นเมื่อสัดส่วนของน้ำมันปาล์มดิบมีค่าเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ของความหนืดและอุณหภูมิเป็นไปตามสมการยกกำลัง $\mu = aT^b$ โดยที่ μ คือค่าความหนืดในหน่วย centipoise หรือ mPa.s และ T คืออุณหภูมิในหน่วย °C สำหรับค่า a และ b ในสมการความหนืดเป็นค่าที่ขึ้นกับอัตราส่วนของน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันผสมดังแสดงในตารางที่ 3.12 และในรูปที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ โดยค่าคงที่ a จะเพิ่มตามสัดส่วนของน้ำมันปาล์มดิบในลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ร้อยละโดยปริมาตรต่ำกว่า 50 แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่สัดส่วนของน้ำมันปาล์มดิบมากกว่า 50% โดยปริมาตร สำหรับค่าคงที่ b ซึ่งมีค่าเป็นลบมีความสัมพันธ์กับร้อยละโดยปริมาตรของน้ำมันปาล์มดิบในลักษณะเชิงเส้น

ข้อมูลในหัวข้อนี้ซึ่งแสดงในรูปของกราฟและสมการความสัมพันธ์จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการกำหนดอุณหภูมิและหรือสัดส่วนของน้ำมันผสม เพื่อให้ได้น้ำมันพืชที่มีความหนืดในช่วงที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

ตารางที่ 3.11 ผลของอุณหภูมิต่อความหนืดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันดีเซล

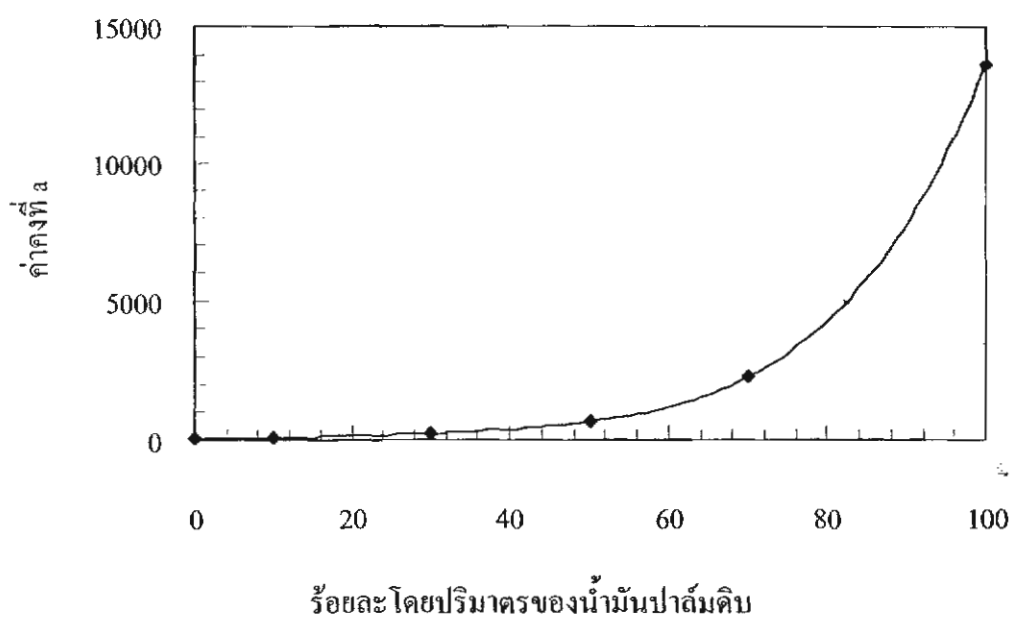
อุณหภูมิ (°C)	ความหนืด (centipoise หรือ mPa.s)					
	ร้อยละโดยปริมาตรของน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันผสม					
	0	10	30	50	70	100
20	5.63	6.8	12.14	22.89	41.38	148.46
25	4.92	5.98	10.36	19.21	33.88	106.02
30	4.32	5.25	8.95	16.25	28.12	80.52
35	3.86	4.67	7.81	13.89	23.51	63.81
40	3.44	4.17	6.88	12.03	20	52.16
45	3.10	3.77	6.09	10.52	17.17	43.67
50	2.82	3.41	5.45	9.33	14.84	37.14
55	2.57	3.13	4.89	8.18	12.97	32.38
60	2.36	2.89	4.42	7.32	11.41	28.42
65	2.25	2.67	4.01	6.61	10.13	25.06
70	2.11	2.47	3.67	5.96	9.01	22.40
75	1.99	2.42	3.6	5.83	8.21	20.20
80	1.89	2.3	3.38	5.43	7.54	18.33
85	1.79	2.18	3.19	5.08	6.96	16.73
90	1.71	2.08	3.01	4.78	6.46	15.34
95	1.63	1.99	2.86	4.5	6.02	14.14
100	1.56	1.91	2.73	4.26	5.63	13.09



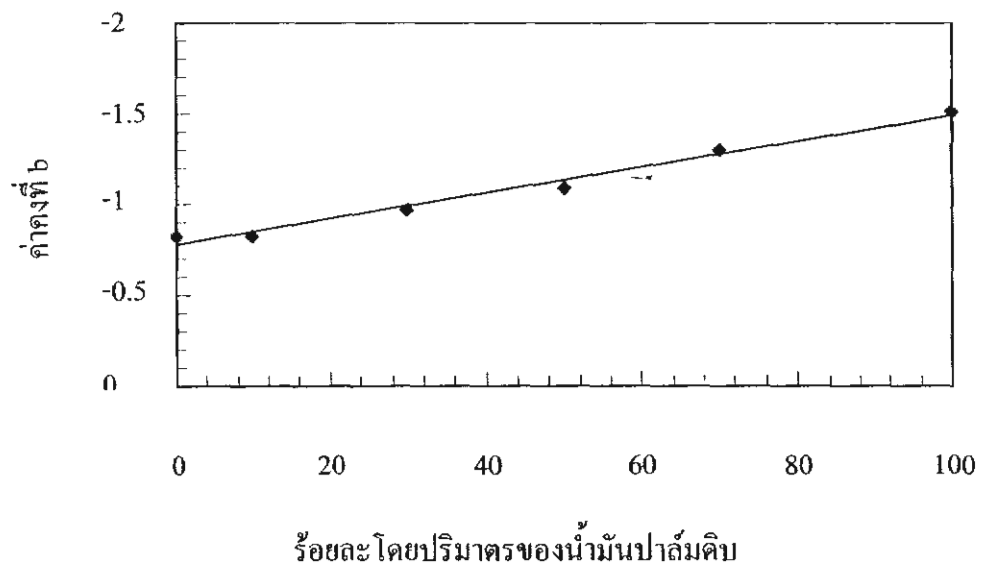
รูปที่ 3.5 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์ม

ตารางที่ 3.12 ค่าคงที่ a และ b ในสมการความหนืด (3.1) : $\mu = aT^b$ ของน้ำมันผสมระหว่าง น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันดีเซล

ร้อยละโดยปริมาตรของ น้ำมันปาล์มดิบ	ค่าคงที่ a	ค่าคงที่ b	Regression coefficient (R ²)
0%	69.7	-0.823	0.998
10%	84.4	-0.823	0.997
30%	235	-0.968	0.997
50%	642	-1.089	0.997
70%	2242	-1.295	0.995
100%	13637	-1.509	1.000



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ a ในสมการ $\mu = aT^b$ และร้อยละโดยปริมาตรของน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันผสม (ดีเซล + ปาล์มดิบ)



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ b ในสมการ $\mu = aT^b$ และร้อยละโดยปริมาตรของน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันผสม (ดีเซล + ปาล์มดิบ)

3.4.3 การแยกไขปาล์มออกจากร้ำมันปาล์มดิบโดยการลดอุณหภูมิ

การแยกองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบที่มีจุดหลอมเหลวสูงโดยการลดอุณหภูมิให้เกิดการตกผลึกเป็นของแข็งและกรองแยกอนุภาคไขที่เกิดขึ้นนั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อเตรียมน้ำมันปาล์มที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ ซึ่งมีลักษณะใสปราศจากอนุภาคไขเจือปน เป็นการปรับสภาพเพื่อลดแนวโน้มการอุดตันของไส้กรองเชื้อเพลิงเมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิทำงานค่อนข้างต่ำ เช่น ในฤดูหนาวและเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการลดค่าความหนืดของน้ำมันที่แยกไขออกแล้ว ในการทดลองนี้จะกรองแยกไขซึ่งตกผลึกที่อุณหภูมิ 3, 10, 20 และ 30°C หาน้ำหนักของไขที่แยกได้เทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นของน้ำมันปาล์มดิบและวัดสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันใสที่กรองได้ ซึ่งได้แก่ ค่าความหนาแน่น ความหนืด และค่าความร้อนทางเชื้อเพลิง

จากผลวิเคราะห์พบว่า ปริมาณไขที่กรองแยกได้คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 16, 26 และ 54 สำหรับการตกผลึกไขที่อุณหภูมิ 30, 20 และ 10°C ตามลำดับ ตารางที่ 3.13 - 3.15 แสดงค่าความหนาแน่น ความหนืด และค่าความร้อนของน้ำมันใสที่กรองได้ตามลำดับ จากข้อมูลในตารางพบว่า น้ำมันปาล์มดิบซึ่งแยกไขออกที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30°C ไม่มีความแตกต่างของค่าความหนาแน่นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าความหนืดและค่าความร้อนมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยประมาณ 5% เมื่ออุณหภูมิของการกรองแยกไขมีค่าลดลงจาก 30 เป็น 10°C ดังนั้นการแยกไขออกจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยวิธีการตกผลึกไม่มีผลมากนักต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมันใสที่กรองได้จึงไม่ใช่วิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดความหนืดของน้ำมันปาล์ม แต่การแยกไขออกจะช่วยให้ได้น้ำมันใสที่มีจุดหลอมเหลวต่ำลง ช่วยให้เกิดปัญหาเมื่อนำไปใช้งานหรือเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำๆ

ตารางที่ 3.13 ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มดิบที่กรองแยกไขออกแล้ว

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์ม (g/cm ³)	
	อุณหภูมิที่ใช้กรองแยก (°C)	
	10	30
20	0.909	0.909
25	0.905	0.906
30	0.903	0.903
35	0.900	0.900
40	0.897	0.896
45	0.894	0.893
50	0.891	0.890
55	0.887	0.887
60	0.884	0.883
65	0.881	0.880
70	0.877	0.887

ตารางที่ 3.14 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบที่กรองแยกไขออกแล้ว

อุณหภูมิ (°C)	ความหนืดของน้ำมันปาล์ม (mPa.s)		
	อุณหภูมิที่ใช้กรองแยก (°C)		
	10	20	30
25	84.6	85.0	86.9
30	68.3	68.6	70.0
35	55.6	56.0	57.0
40	46.2	46.3	47.2
45	38.7	41.3	41.0
50	32.2	33.0	34.7
55	28.2	28.2	29.8
60	24.4	24.4	26.1
65	21.3	21.2	22.9
70	18.7	18.7	20.1

ตารางที่ 3.15 ค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มดิบที่กรองแยกไขออกแล้ว

ชนิดของน้ำมัน	ค่าความร้อน (kJ/kg)
ปาล์มดิบกรองที่ 10°C	37,550
ปาล์มดิบกรองที่ 20°C	37,860
ปาล์มดิบกรองที่ 30°C	38,900

3.4.4 การลดปริมาณพันธะคู่ในน้ำมันปาล์ม

การทดลองในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับสภาพของน้ำมันปาล์มให้มีความอิ่มตัวเพิ่มขึ้น โดยวิธีการเติมอากาศเพื่อให้ออกซิเจนในอากาศเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันตรงตำแหน่งพันธะคู่ การลดปริมาณพันธะคู่ในน้ำมันพืชเชื่อว่าจะมีส่วนช่วยลดการเกิดสารสะสมโมเลกุลใหญ่ในห้องเผาไหม้ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของโมเลกุลน้ำมันพืชที่ตำแหน่งพันธะคู่ ในการทดลองจะควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันไว้ที่ 80°C และป้อนอากาศผ่านน้ำมันตัวอย่างที่อัตราการไหล 3 ลิตร ต่อนาที เป็นเวลา 175 ชั่วโมง ตัวอย่างน้ำมันที่ศึกษาได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มดิบกรองที่อุณหภูมิห้อง (28°C) น้ำมันที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่เวลาต่าง ๆ จะนำมาทดสอบหาตัวเลขไอโอดีนเพื่อติดตามระดับความอิ่มตัว ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ 175 ชั่วโมงจะนำไปวัดค่าความหนาแน่น ความหนืด ค่าความร้อนและสังเกตลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ

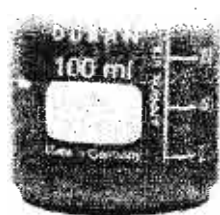
จากการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของน้ำมันที่ผ่านการเติมอากาศที่ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 3.8 และ 3.9 สำหรับน้ำมันปาล์มดิบจะเปลี่ยนจากสีส้มขุ่นเป็นสีขาวขุ่น เนื่องจากมีตะกอนแขวนลอยอยู่โดยทั่ว ส่วนน้ำมันปาล์มดิบกรองจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลส้มใสเป็นสีเหลืองอ่อนและค่อนข้างขุ่น นอกจากนี้ไขมันทั้ง 2 ชนิดยังมีกลิ่นหืนมากขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันเริ่มต้น ซึ่งเป็นผลจากน้ำมันมีสภาพความอิ่มตัวมากขึ้น

ตารางที่ 3.16 และรูปที่ 3.10 แสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงตัวเลขไอโอดีนที่เวลาออกซิไดซ์ต่าง ๆ ที่เวลาเริ่มต้นตัวเลขไอโอดีนของน้ำมันปาล์มดิบกรองมีค่าสูงกว่าของน้ำมันปาล์มดิบคิดเป็นสัดส่วนตัวเลขประมาณ 11% แสดงว่าน้ำมันปาล์มกรองมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าน้ำมันปาล์มดิบ จากรูปที่ 3.10 จะเห็นว่าตัวเลขไอโอดีนของไขมันทั้ง 2 ชนิด ลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือน้ำมันจะมีสภาพอิ่มตัวมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่เป็นที่สังเกตว่าอัตราการลดลงของตัวเลขไอโอดีนของน้ำมันปาล์มกรองจะสูงกว่าของน้ำมันปาล์มดิบค่อนข้างมาก โดยเมื่อเวลาผ่านไป 175 ชั่วโมงตัวเลขไอโอดีนของน้ำมันปาล์มกรองลดลงมากถึง 36% ในขณะที่ตัวเลขไอโอดีนของน้ำมันปาล์มดิบลดลงเพียง 10% เท่านั้น

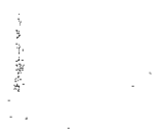
จากข้อมูลความหนาแน่นในตารางที่ 3.17 พบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการออกซิไดซ์แล้วจะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6% และ 2% ตามลำดับสำหรับน้ำมันปาล์มกรองและน้ำมันปาล์มดิบเมื่อวัดความหนาแน่นในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ $25-70^{\circ}\text{C}$ สำหรับค่าความร้อนดังแสดงในตารางที่ 3.18 พบว่าค่าความร้อนของน้ำมันที่ถูกออกซิไดซ์มีแนวโน้มลดลงแต่ไม่มากนัก โดยมีค่าลดลงเท่ากับ 1.5% และ 4.8% สำหรับน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มกรองตามลำดับ

ตารางที่ 3.19 เปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันก่อนและหลังการออกซิไดซ์ จะเห็นว่าค่าความหนืดของไขมันทั้ง 2 ชนิดภายหลังการออกซิไดซ์มีค่าเพิ่มขึ้น แต่น้ำมันปาล์มดิบกรองจะมีค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นสูงมาก ตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิ 40°C จะมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันปาล์มกรองเริ่มต้นถึง 500% เมื่อเทียบกับกรณีของน้ำมันปาล์มดิบจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเพียง 15% ดังนั้นถึงแม้ว่าน้ำมันปาล์มกรองที่ผ่านการปรับสภาพโดยการเติมอากาศเพื่อลดจำนวนพันธะคู่จะช่วยลด

แนวโน้มในการเกิดสารสะสมในห้องเผาไหม้ แต่ก็มีข้อเสียที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูงมาก หากจะนำน้ำมันปาล์มกรองที่ปรับสภาพด้วยการเติมอากาศไปใช้งานจะต้องหาทางลดค่าความหนืด โดยกระบวนการให้ความร้อนและหรือเจือจางด้วยน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่เหมาะสม

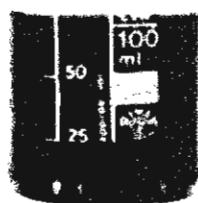


ก



ข

รูปที่ 3.8 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันปาล์มดิบก่อน (ก) และ หลัง (ข) การเติมอากาศที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง (อัตราการป้อนอากาศ 3 ลิตรต่อนาที)



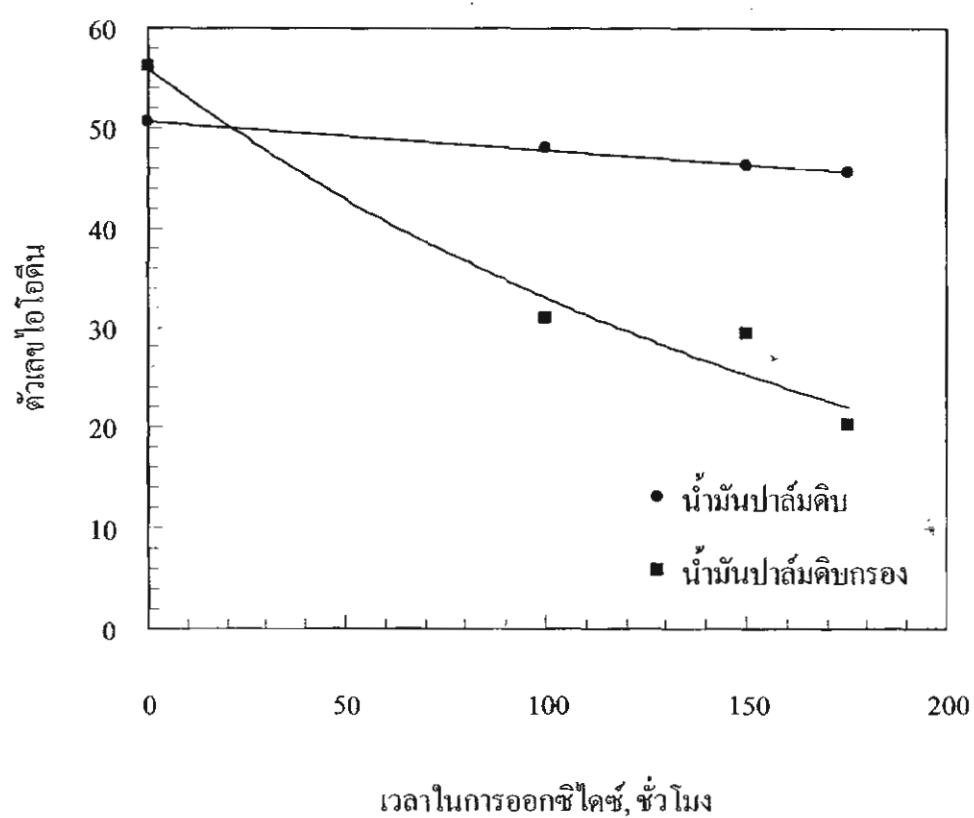
ก

ข

รูปที่ 3.9 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันปาล์มดิบกรองก่อน (ก) และ หลัง (ข) การเติมอากาศที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง (อัตราการป้อนอากาศ 3 ลิตรต่อนาที)

ตารางที่ 3.16 ตัวเลขไอโอดีนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่เวลาต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวเลขไอโอดีน (iodine value) ของน้ำมันที่ผ่านการออกซิไดซ์	
	น้ำมันปาล์มดิบ	น้ำมันปาล์มดิบกรอง (28°C)
0	50.61	56.19
100	47.92	30.87
150	46.21	29.33
175	45.57	20.18



รูปที่ 3.10 ผลของเวลาที่มีต่อตัวเลขไอโอดีนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการเติมอากาศ (อุณหภูมิ 80 °C, อัตราไหลของอากาศ 3 ลิตรต่อนาที)

ตารางที่ 3.17 ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่นของน้ำมัน (gm/cm ³)			
	น้ำมันปาล์มดิบ		น้ำมันปาล์มดิบกรอง (28°C)	
	ก่อนออกซิไดซ์	หลังออกซิไดซ์	ก่อนออกซิไดซ์	หลังออกซิไดซ์
25	0.904	0.919	0.907	0.963
30	0.901	0.915	0.904	0.958
35	0.898	0.911	0.901	0.955
40	0.898	0.905	0.897	0.951
45	0.893	0.898	0.894	0.948
50	0.891	0.895	0.891	0.945
55	0.888	0.892	0.888	0.941
60	0.885	0.888	0.885	0.939
65	0.883	0.884	0.883	0.935
70	0.878	0.881	0.879	0.931

ตารางที่ 3.18 ค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง

ชนิดของน้ำมัน	ค่าความร้อน (kJ/kg)
น้ำมันปาล์มดิบ (ก่อนออกซิไดซ์)	35,300
น้ำมันปาล์มดิบ (หลังออกซิไดซ์)	34,900
น้ำมันปาล์มดิบกรอง (ก่อนออกซิไดซ์)	32,500
น้ำมันปาล์มดิบกรอง (หลังออกซิไดซ์)	31,000

ตารางที่ 3.19 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง

อุณหภูมิ (°C)	ความหนืด (mPa.s)			
	น้ำมันปาล์มดิบ		น้ำมันปาล์มดิบกรอง (28°C)	
	ก่อนออกซิไดซ์	หลังออกซิไดซ์	ก่อนออกซิไดซ์	หลังออกซิไดซ์
40	52.2	60.0	48.6	301
45	43.7	48.1	41.0	230
50	37.1	43.2	35.1	183
55	32.4	37.4	30.4	146
60	28.4	32.6	26.5	118
65	25.1	28.9	23.3	94
70	22.4	25.7	20.7	77

3.5 สมบัติของน้ำมันปาล์มหลังการเก็บกัก

การทดลองในหัวข้อนี้มีจุดประสงค์เพื่อต้องการตรวจสอบสภาพและสมบัติของน้ำมันปาล์มที่ถูกเก็บมาเป็นเวลา 1 ปี โดยได้บรรจุน้ำมันในภาชนะปิดทึบและเก็บไว้ในตู้ไม่ให้สัมผัสกับความชื้นและแสงสว่าง ทั้งนี้เพื่อติดตามสมบัติทางเชื้อเพลิงที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความร้อน ความหนืด และความหนาแน่นว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร โดยทำการทดสอบกับน้ำมัน 5 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มดิบกรอง น้ำมันปาล์มกลั่นกิ่งบริสุทธิ์ น้ำมันเมล็ดในปาล์ม และน้ำมันปาล์มโอเลอิน

ผลการศึกษาพบว่า น้ำมันแต่ละชนิดที่ผ่านการเก็บกักมาเป็นระยะเวลา 1 ปี ยังมีลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏคงเดิม ได้แก่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีและไม่มีตะกอนของแข็งเกิดขึ้น ยกเว้นมีกลิ่นหืนบ้างเล็กน้อย

ตารางที่ 3.20 เปรียบเทียบค่าความร้อนของน้ำมันตัวอย่างที่สภาวะก่อนและภายหลังการเก็บกัก จะเห็นว่าน้ำมันหลังการเก็บกักทุกชนิดมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงประมาณ 5-18% ตารางที่ 3.21 แสดงผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำมันเก็บกักที่อุณหภูมิค่าต่าง ๆ พบว่าระยะเวลาการเก็บกักน้ำมันมีผลไม่มากนักต่อความหนาแน่นของน้ำมัน ตารางที่ 3.22 แสดงค่าความหนืดของน้ำมันเก็บกักเทียบกับน้ำมันเริ่มต้น พบว่าค่าความหนืดของน้ำมันเก็บกักลดลงสำหรับน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันโอเลอิน และมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับปาล์มดิบกรอง ปาล์มกลั่นกิ่งบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม โดยในช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 70°C น้ำมันกลั่นกิ่งบริสุทธิ์ให้ค่าความหนืดเพิ่มมากที่สุดเท่ากับ 10% และน้ำมันโอเลอินให้ค่าความหนืดที่ลดลงมากที่สุดเท่ากับ 17% โดยสรุปแล้วน้ำมันปาล์มชนิดต่าง ๆ ที่มีอายุประมาณ 1 ปี ยังมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก จึงไม่มีปัญหาในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์

ตารางที่ 3.20 ค่าความร้อน (Gross heating value) ของน้ำมันปาล์มที่เก็บกักเป็นเวลา 1 ปี

ชนิดของน้ำมัน	ค่าความร้อน (kJ/kg)	% การเปลี่ยนแปลง
1. น้ำมันปาล์มดิบ เริ่มต้น หลังเก็บกัก	35,300 37,000	+4.8
2. น้ำมันปาล์มดิบกรอง เริ่มต้น หลังเก็บกัก	34,900 38,000	+8.8
3. น้ำมันกลั่นกิ่งบริสุทธิ์ เริ่มต้น หลังเก็บกัก	32,500 37,000	+13.8
4. น้ำมันเมล็ดในปาล์ม เริ่มต้น หลังเก็บกัก	33,000 36,000	+9.1
5. น้ำมันโอเลอิน เริ่มต้น หลังเก็บกัก	31,000 36,500	+17.7

ตารางที่ 3.21 ความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มที่เก็บกักเป็นเวลา 1 ปี

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น (g/cm ³)									
	ปาล์มดิบ		ปาล์มดิบกรอง (28°C)		กลั่นกิ่งบริสุทธิ์		เมล็ดในปาล์ม		โอเลอิน	
	เริ่มต้น	หลังเก็บกัก	เริ่มต้น	หลังเก็บกัก	เริ่มต้น	หลังเก็บกัก	เริ่มต้น	หลังเก็บกัก	เริ่มต้น	หลังเก็บกัก
20	0.907	0.917	0.912	0.908	0.908	0.913	0.918	0.917	0.909	0.916
25	0.904	0.913	0.907	0.906	0.904	0.909	0.915	0.914	0.905	0.914
30	0.901	0.910	0.904	0.903	0.903	0.905	0.913	0.911	0.902	0.910
35	0.898	0.906	0.901	0.900	0.900	0.900	0.910	0.908	0.899	0.907
40	0.896	0.904	0.897	0.897	0.897	0.897	0.906	0.905	0.896	0.905
45	0.893	0.901	0.894	0.893	0.894	0.894	0.902	0.901	0.893	0.900
50	0.891	0.890	0.891	0.890	0.890	0.891	0.899	0.898	0.890	0.897
55	0.888	0.887	0.888	0.886	0.887	0.888	0.897	0.895	0.886	0.894
60	0.885	0.884	0.885	0.883	0.885	0.885	0.893	0.891	0.883	0.890
65	0.883	0.879	0.883	0.880	0.882	0.882	0.890	0.888	0.880	0.887
70	0.878	0.875	0.879	0.877	0.878	0.879	0.887	0.885	0.876	0.884

ตารางที่ 3.22 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่เก็บกักเป็นเวลา 1 ปี

อุณหภูมิ (°C)	ความหนืด (mPa.s)									
	ปาล์มดิบ		ปาล์มดิบกรอง (28°C)		กลั่นกิ่งบริสุทธิ์		เมล็ดในปาล์ม		โอเลอิน	
	เริ่มต้น	หลังเก็บกัก	เริ่มต้น	หลังเก็บกัก	เริ่มต้น	หลังเก็บกัก	เริ่มต้น	หลังเก็บกัก	เริ่มต้น	หลังเก็บกัก
40	52.16	51.12	48.60	50.44	46.40	50.77	33.90	35.45	47.60	45.91
45	43.67	43.21	41.00	42.48	38.70	42.45	28.50	29.88	40.10	37.29
50	37.14	35.17	35.10	36.16	32.80	36.00	24.40	25.21	34.10	31.83
55	32.38	30.19	30.40	31.17	29.90	30.95	21.10	21.92	29.40	26.22
60	28.42	25.97	26.50	27.01	26.00	26.71	18.50	19.00	25.50	22.31
65	25.06	22.64	23.30	23.66	23.70	23.27	16.20	16.65	22.30	18.97
70	22.40	19.87	20.70	20.78	20.30	20.46	14.40	14.67	19.90	16.94

3.6 เทคนิคการตรวจสอบสารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น

ปัญหาประการหนึ่งที่อาจพบในการนำน้ำมันพืชดิบไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ การปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นจากสารตกค้าง ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ ในหัวข้อนี้จะเป็นการเสนอวิธีการตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบในเครื่องยนต์ดีเซล โดยการประยุกต์ใช้เทคนิค FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ โดยพิจารณาจากกราฟซึ่งแสดงระดับการดูดกลืนแสง (absorbance) หรือระดับการปลดปล่อยแสง (transmittance) เทียบกับความยาวของคลื่นแสง (wavelength) โดยที่หมู่ฟังก์ชันแต่ละหมู่จะแสดงยอดกราฟที่ตำแหน่งความยาวคลื่นเฉพาะตัว

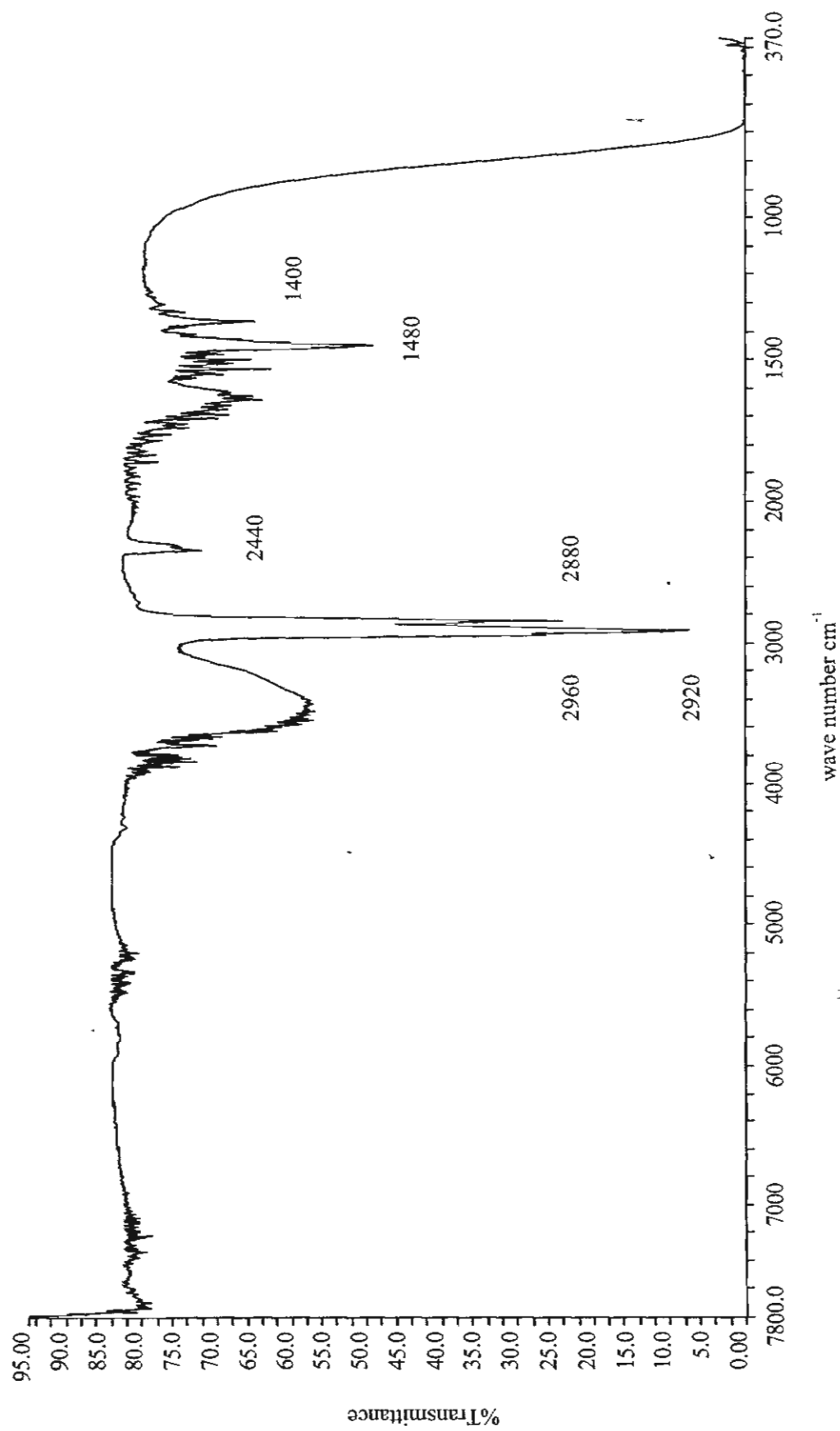
ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่นำมาวิเคราะห์การปนเปื้อนได้มาจาก โครงการวิจัย "ผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ" ซึ่งเป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลประเภท direct injection มาแล้วเป็นเวลา 135 ชั่วโมง เนื่องจากไม่ทราบแน่ชัดและเป็นการยากที่จะระบุหรือวิเคราะห์อย่างชัดเจนว่าสารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นเป็นสารที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นอย่างไร ในเบื้องต้นจึงตั้งสมมติฐานว่าสารที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นส่วนใหญ่เป็นน้ำมันปาล์มดิบที่เผาไหม้ไม่หมด เนื่องจากอาจมีขนาดของหยดของเหลวที่ใหญ่เกินไป ดังนั้นเทคนิคการวิเคราะห์ด้วย FTIR จะเริ่มจากการเตรียมน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันหล่อลื่นบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มดิบที่อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มดิบต่าง ๆ ได้แก่ 0, 5, 10, 15, 50 และ 100% โดยปริมาตร และนำน้ำมันผสมตัวอย่างไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง FTIR เพื่อให้ได้ข้อมูลอ้างอิงมาตรฐาน จากนั้นนำน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้วมาวิเคราะห์ด้วย FTIR นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงที่เตรียมไว้ เพื่อหาปริมาณการปนเปื้อนของน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันหล่อลื่น

ตารางที่ 3.23 แสดงการระบุชนิดของหมู่ฟังก์ชันจากการพิจารณายอดกราฟ (peak) ของค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งเกิดขึ้นที่ค่าเฉพาะของตัวเลขคลื่น (wave number) ซึ่งเป็นส่วนกลับของความยาวคลื่น (wave length) รูปที่ 3.11 - 3.17 แสดงผลการวิเคราะห์ที่ได้จาก FTIR ของน้ำมันผสมมาตรฐานและรูปที่ 3.18 แสดงผลสำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานในเครื่องยนต์ จะเห็นว่าจากรูปที่ 3.11 น้ำมันหล่อลื่นบริสุทธิ์จะแสดงยอดกราฟ (peak) สำคัญที่ตำแหน่ง wave no. $2,880-2,960\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเมื่อเทียบกับตารางที่ 3.23 สามารถระบุได้ว่าองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นบริสุทธิ์จะเป็นสารประกอบพวก alkane ซึ่งเป็นพันธะเดี่ยว ในขณะที่รูปที่ 3.16 แสดงผล FTIR ของน้ำมันปาล์มดิบ 100% ซึ่งแสดงยอดกราฟสำคัญที่ wave no. $2,840-2,920\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงหมู่ alkane และที่ wave no. $1,740\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นหมู่ของกรดไขมัน (พันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอนและออกซิเจน) ในโครงสร้างของน้ำมันพืชนั่นเอง ดังนั้นจากรูปที่ 3.12 ถึง 3.17 การเพิ่มอัตราส่วนของน้ำมันปาล์มดิบจะทำให้ยอดกราฟที่ตำแหน่ง wave no. $1,740\text{ cm}^{-1}$ มีความยาวเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเปรียบเทียบผล FTIR ของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.17

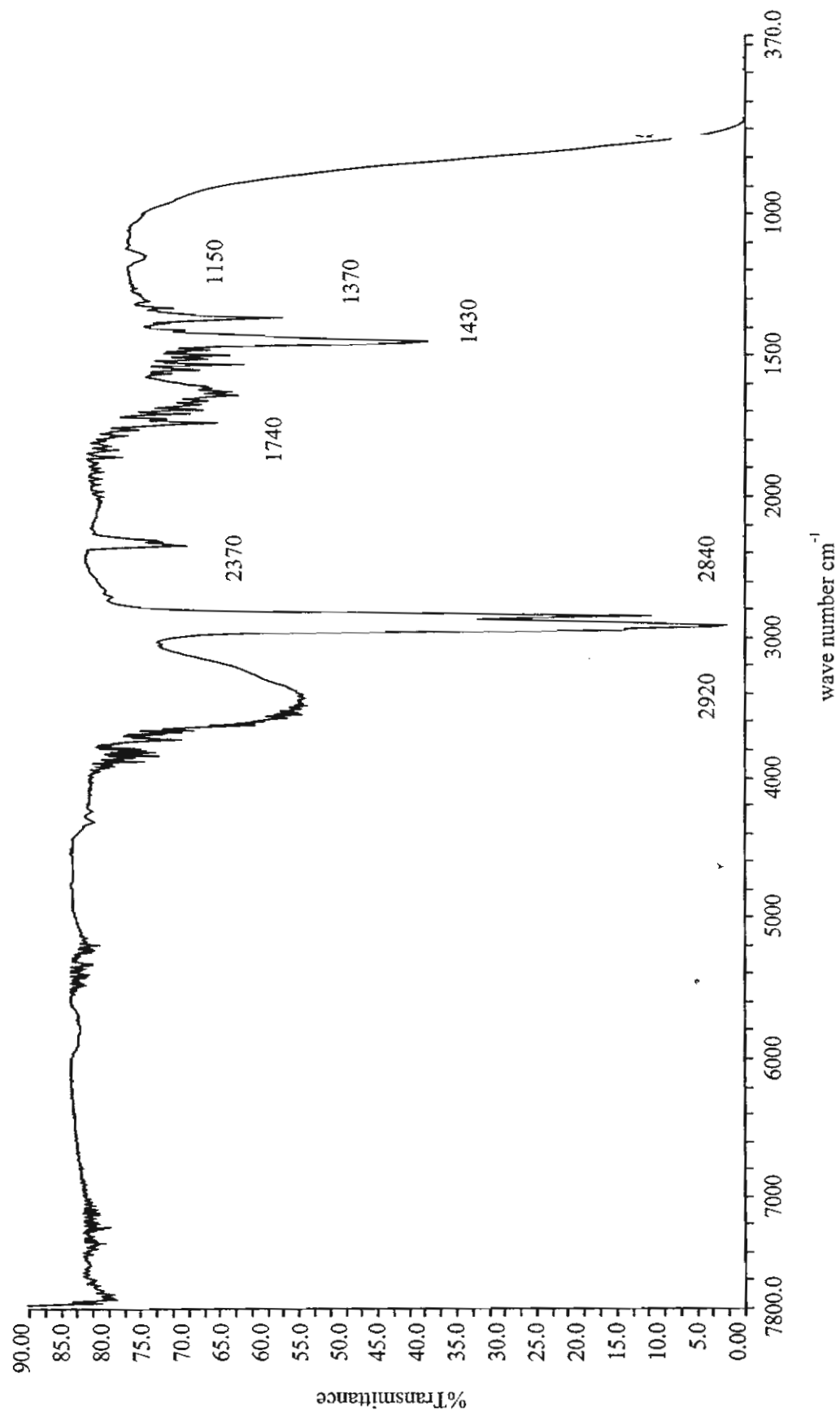
จะเห็นว่ามีลักษณะของกราฟทั้งขนาดและตำแหน่งโดยเฉพาะที่ wave no. 1,740 cm^{-1} ที่ตรงกับกราฟในรูปที่ 3.12 มากที่สุด ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานและนำมาทดสอบมีน้ำมันปาล์มดิบปนเปื้อนอยู่ คิดเป็นร้อยละ 5 โดยปริมาตร เนื่องจากการใช้เทคนิค FTIR เพียงวิธีเดียวยังไม่อาจชี้ชัดได้ว่าสารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นเป็นน้ำมันปาล์มดิบล้วน ๆ การนำเทคนิควิเคราะห์สารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นด้วย FTIR ซึ่งพัฒนาจากงานวิจัยนี้ ควรนำไปใช้ในเชิงเปรียบเทียบว่ามีการปนเปื้อนเกิดขึ้นจริงหรือไม่และมีการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณอย่างไร เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบไปทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ภายใต้สภาวะการทำงานต่าง ๆ

ตารางที่ 3.23 ตัวอย่างการระบุหมู่ฟังก์ชัน จากการพิจารณา ตำแหน่งยอดกราฟ (peak) ตามตัวเลขคลื่น (wave number) โดยเทคนิค FTIR

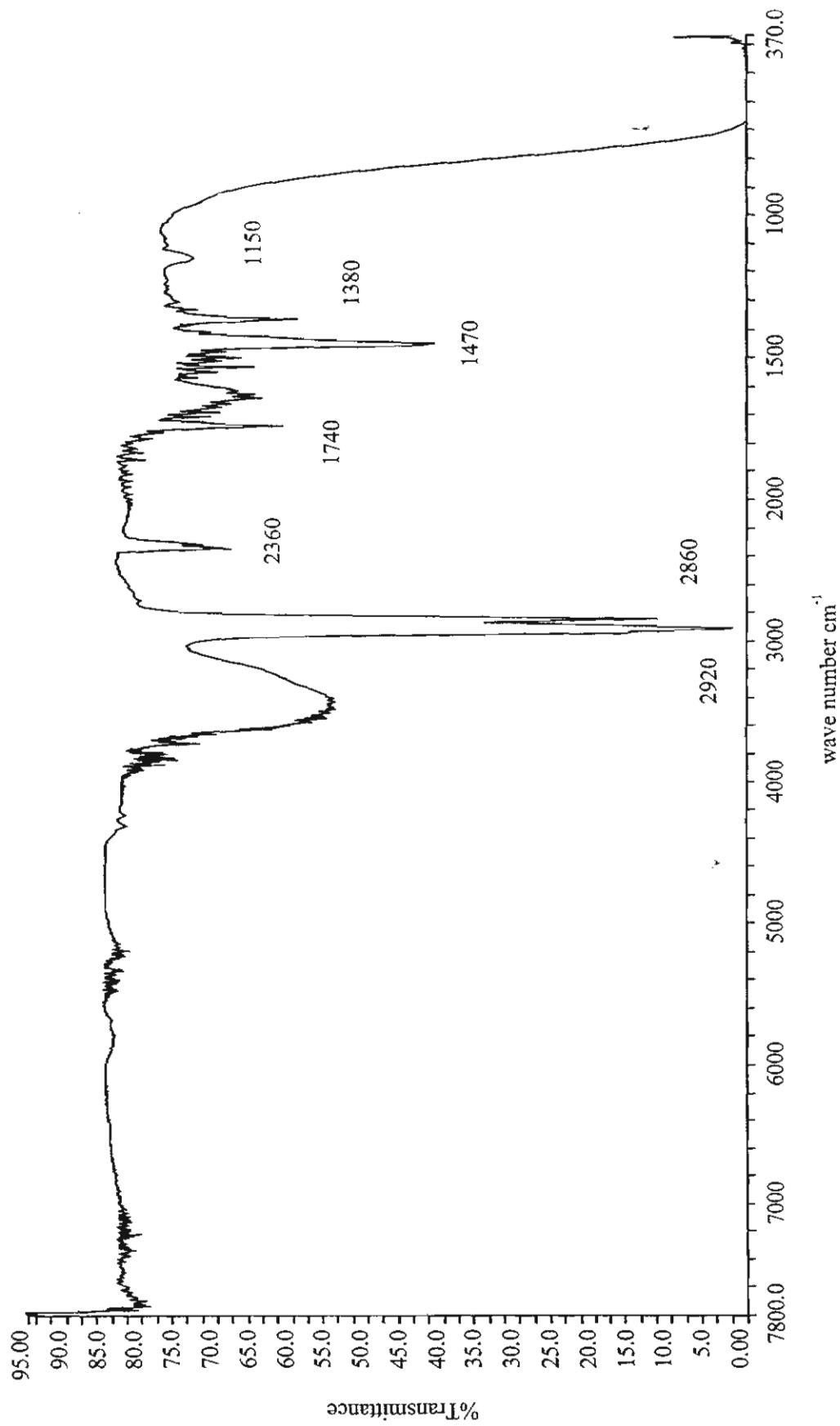
ชนิดของสาร	ลักษณะพันธะเคมี	ตัวเลขคลื่น (wave no.) (cm^{-1})
Alkane	$\begin{array}{c} \\ -\text{C}-\text{H} \\ \end{array}$	2850 – 2970 1340 – 1470
Alkane	$\begin{array}{c} \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \end{array}$	1100 - 1300
Alkene	$\begin{array}{c} \\ =\text{C}-\text{H} \end{array}$	3010 – 3095 675 – 995
Carboxylic acid, ester	$\begin{array}{c} \\ -\text{C}=\text{O} \end{array}$	1690 – 1760
Ester	$\begin{array}{c} \\ -\text{C}-\text{O}- \\ \end{array}$	1050 - 1330



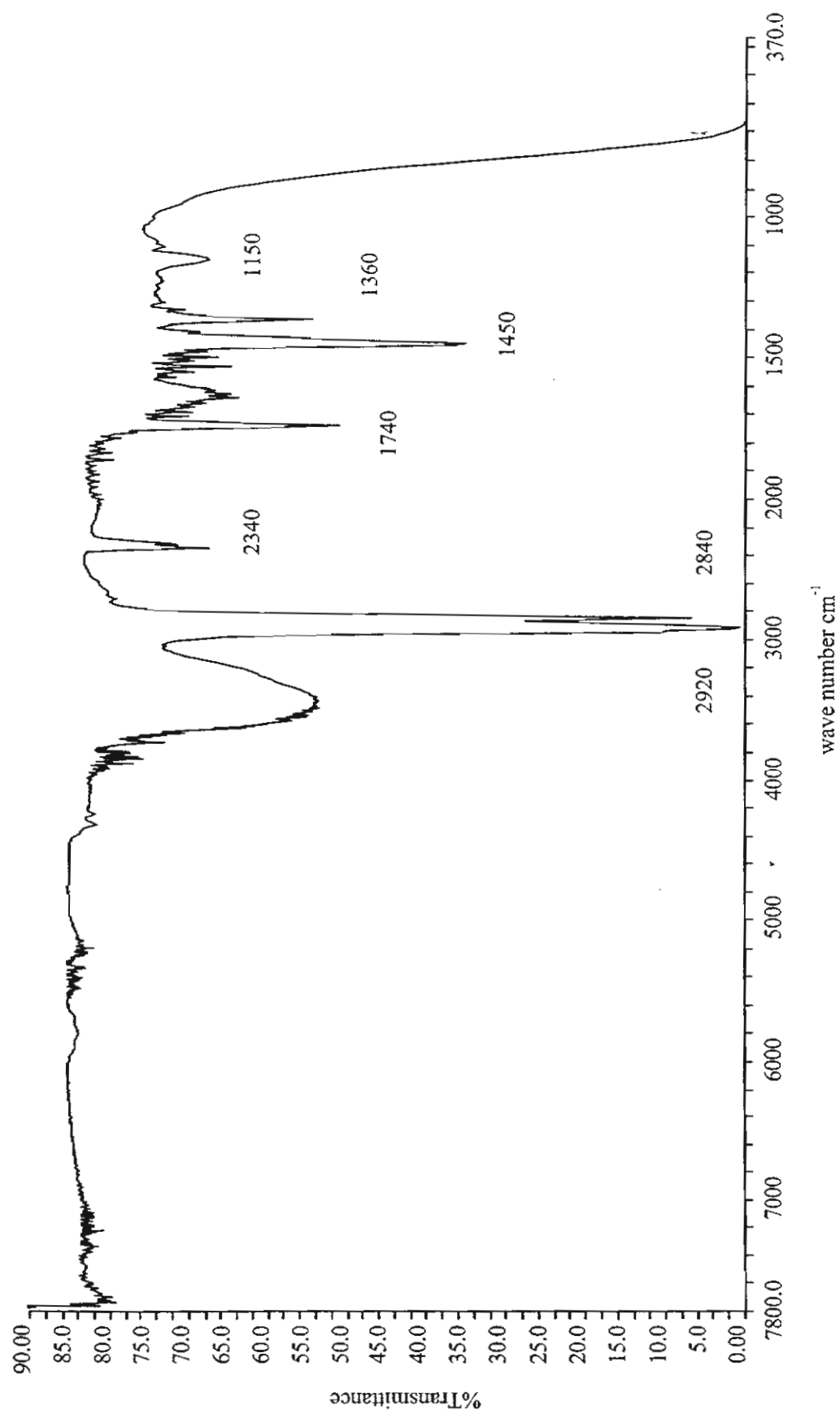
รูปที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันหล่อลื่นบริสุทธ์



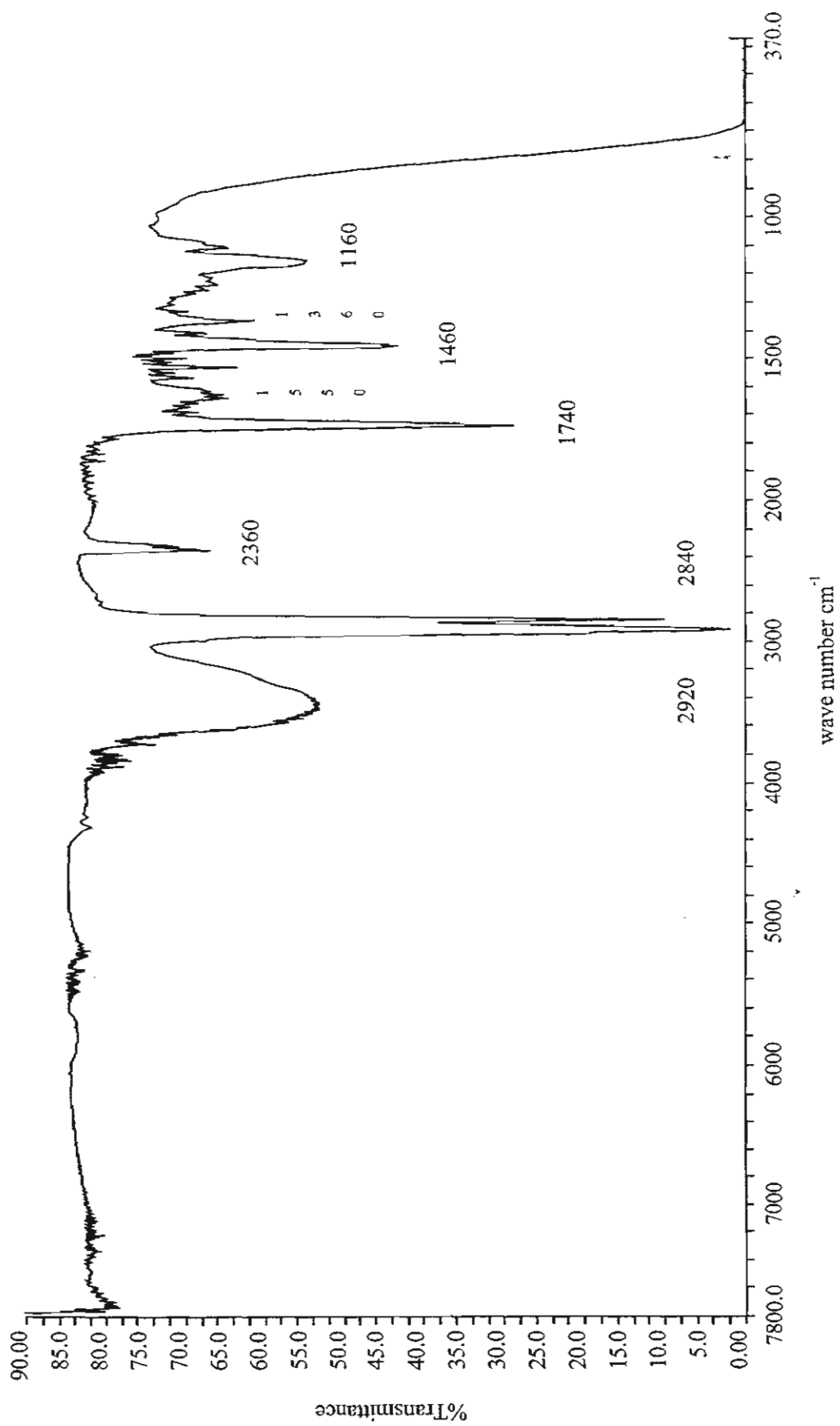
รูปที่ 3.12 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันผสมมาตรฐาน (หล่อลื่น 95% + ปาล์มดิบ 5%)



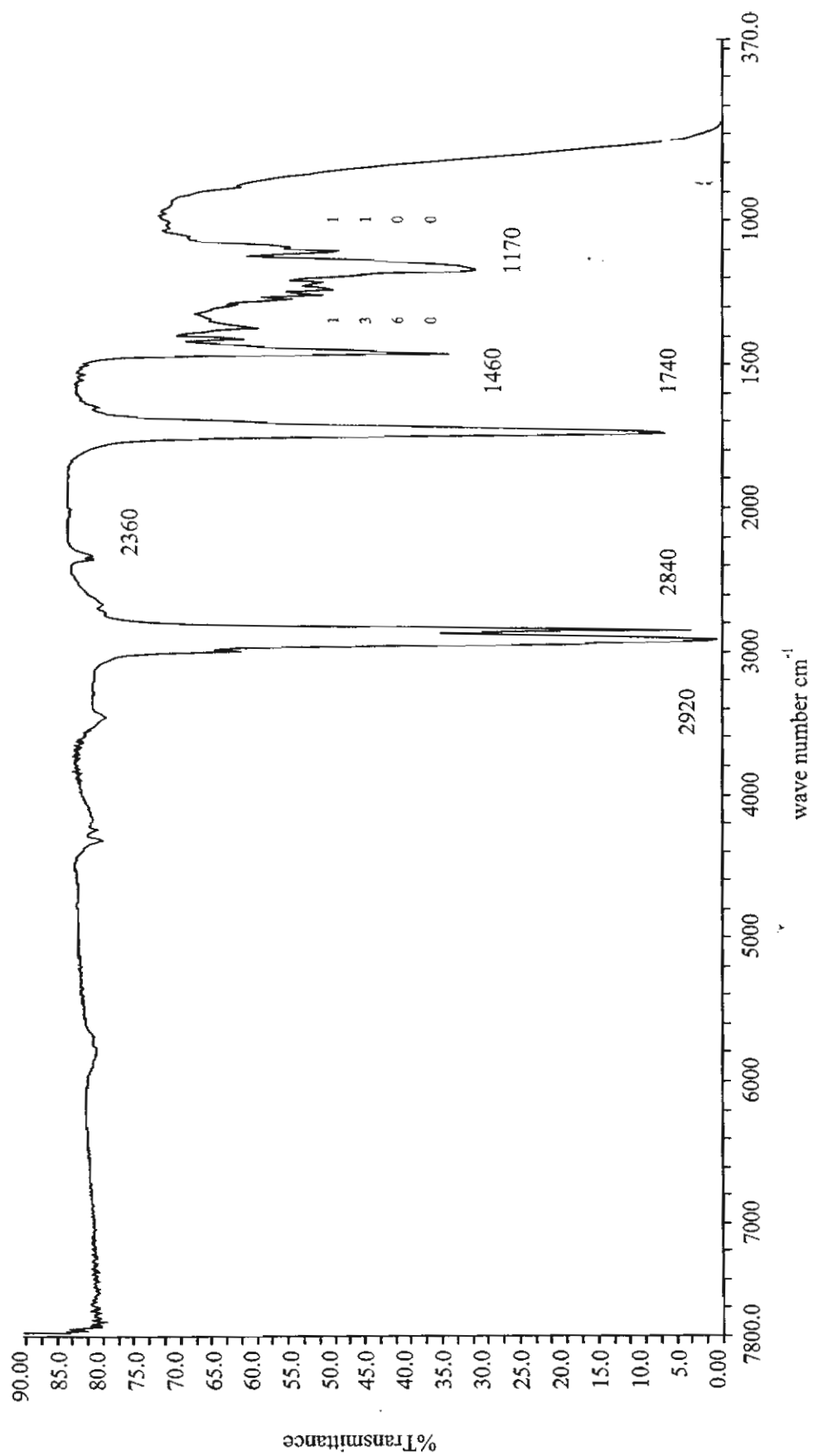
รูปที่ 3.13 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันผสมมาตรฐาน (หล่อลื่น 90% + ปาล์มดิบ 10%)



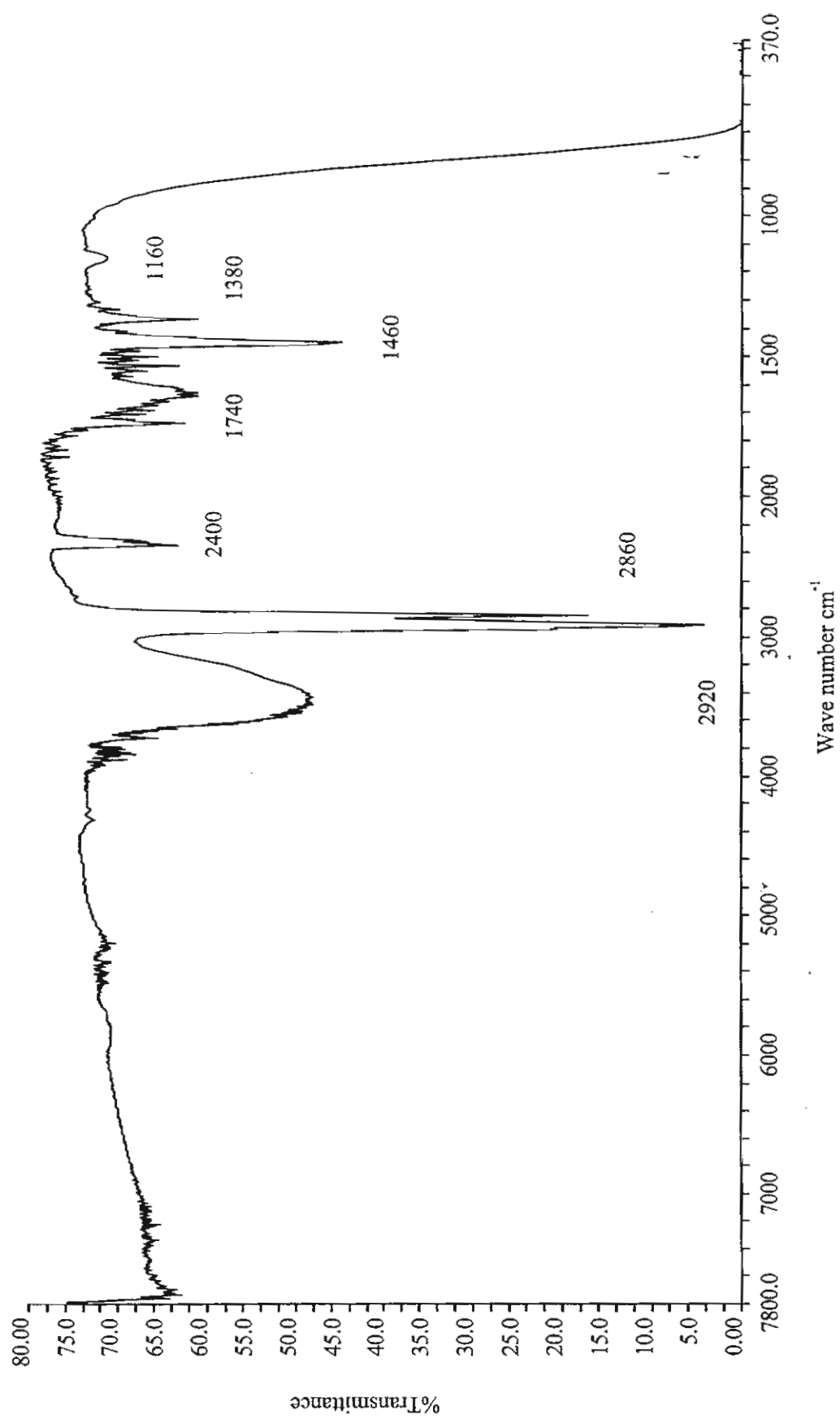
รูปที่ 3.14 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันผสมมาตรฐาน (หล่อลื่น 85% + ปาล์มดิบ 15%)



รูปที่ 3.15 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันผสมมาตรฐาน (หล่อลื่น 50% + ปาล์มดิบ 50%)



รูปที่ 3.16 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 3.17 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลา 135 ชั่วโมง

บทที่ 4

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการวัดสมบัติทางเชื้อเพลิงและทางเคมีของน้ำมันปาล์ม เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่จะเป็นประโยชน์ในการนำน้ำมันปาล์มไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันปาล์มที่ศึกษา ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันกลั่นทิ้งบริสุทธิ์ น้ำมันปาล์มดิบกรองที่อุณหภูมิห้อง น้ำมันเมล็ดในปาล์ม และน้ำมันโอเลอิน (น้ำมันปาล์มปรุงอาหาร) นอกจากนั้นยังศึกษากระบวนการปรับสภาพน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อลดค่าความหนืดและลดแนวโน้มการเกิดสารสะสมในห้องเผาไหม้ รวมถึงการวัดสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มที่เก็บมาเป็นเวลา 1 ปี และยังได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์สารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานในเครื่องยนต์มาแล้ว ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สำหรับน้ำมันปาล์มตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด ที่นำมาทดสอบพบว่า น้ำมันปาล์มดิบจัดเป็นน้ำมันปาล์มชนิดเดียวที่มีลักษณะขุ่น ณ อุณหภูมิห้อง เนื่องจากมีอนุภาคไขแขวนลอยอยู่ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยไขเหล่านี้จะละลายหมดเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงกว่า 50°C
2. อนุภาค (particulates) ที่ปนอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบที่นำมาทดสอบมีอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก ประมาณ 0.10% โดยน้ำหนัก โดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน
3. จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์มในรูปของกรดไขมันของเมทิลเอสเตอร์ พบว่าน้ำมันปาล์มดิบมีกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว อย่างละเท่า ๆ กัน โดยกรดไขมันอิ่มตัวส่วนใหญ่เป็น palmitic acid (C16 : 0) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็น oleic acid (C18 : 1) ส่วนน้ำมันเมล็ดในปาล์มมีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวสูงถึง 80% โดยส่วนใหญ่เป็น lauric acid (C12 : 0)
4. จากการวัดสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันตามมาตรฐาน ASTM พบว่า
 - น้ำมันปาล์มทุกชนิดมีช่วงอุณหภูมิการกลั่นที่สูงกว่าของน้ำมันดีเซล แสดงว่ามีโครงสร้างของโมเลกุลที่ใหญ่กว่า
 - น้ำมันปาล์มทุกชนิดมีค่าความหนาแน่น จุดวาบไฟและแรงตึงผิวที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล
 - น้ำมันปาล์มทุกชนิดมีค่าดัชนีซีเทนและค่าความร้อนต่ำกว่าของน้ำมันดีเซล
 - น้ำมันปาล์มทุกชนิดมีค่าความหนืดที่สูงกว่าความหนืดของน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก แต่ความแตกต่างนี้มีค่าน้อยลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น น้ำมันปาล์มที่ทดสอบมีความหนืดที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นน้ำมันเมล็ดในปาล์มจะมีความหนืดต่ำกว่าน้ำมันปาล์มชนิดอื่นประมาณ 36%

- ค่าความสะอาดของเชื้อเพลิง ได้แก่ ร้อยละเถ้า ร้อยละกำมะถัน ความกักคร่อนต่อแผ่นทองแดง และกากถ่าน ซึ่งน้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดกว่าน้ำมันดีเซล
5. ได้ศึกษาการลดความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบโดยกระบวนการทางกายภาพและพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิและการเจือจางด้วยน้ำมันดีเซลเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและไม่ยุ่งยากในการลดค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบ สำหรับการตกผลึกเพื่อแยกไขออกจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยการลดอุณหภูมิพบว่ามีผลน้อยมากต่อการลดลงของความหนืดของน้ำมันในถังที่กรองได้ แต่จะช่วยให้ไขมันที่ได้มีจุดหลอมเหลวที่ลดต่ำลงทำให้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงภายใต้สภาวะการทำงานที่อุณหภูมิต่ำได้ดี นอกจากนี้ยังได้เสนอสมการเพื่อประมาณค่าความหนืดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิในช่วง 20-100°C และที่อัตราส่วนต่าง ๆ ของน้ำมันปาล์มดิบ
 6. การปรับสภาพน้ำมันปาล์ม โดยการเติมอากาศเพื่อลดปริมาณไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเชื่อว่าจะช่วยลดแนวโน้มของการเกิดสารสะสมในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ พบว่าการเติมอากาศให้ผลดีกับน้ำมันปาล์มดิบกรอง (28°C) มากกว่าน้ำมันปาล์มดิบ โดยช่วยให้ปริมาณไขมันไม่อิ่มตัวของน้ำมันปาล์มดิบกรองเปลี่ยนเป็นไขมันอิ่มตัวได้ถึง 36% เมื่อเติมอากาศที่สภาวะ 80°C เป็นเวลานาน 175 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามก็สังเกตเห็นว่าที่ได้กลับมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมาก (ประมาณ 5 เท่า) ซึ่งต้องพยายามลดความหนืดลงให้มีค่าที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์
 7. เมื่อนำน้ำมันปาล์มทุกชนิดที่เก็บกักมาเป็นเวลา 1 ปี มาตรวจสอบพบว่าไม่พบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เช่น สีและการเกิดตะกอน ยกเว้นมีกลิ่นหืนขึ้นเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของออกซิเจนในอากาศ ส่วนสมบัติทางเชื้อเพลิง ได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด และค่าความร้อน มีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างแต่ไม่มากนัก ยังอยู่ในระดับที่สามารถนำไปทดสอบการเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ได้
 8. ได้ประยุกต์เทคนิควิเคราะห์ FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) เพื่อใช้ตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลชนิด direct injection มาเป็นเวลา 135 ชั่วโมง เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิงและพบว่าเทคนิคนี้สามารถตรวจวัดการปนเปื้อนของสารที่แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มดิบได้
 9. จากผลงานวิจัยนี้พอสรุปได้ว่าการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลมีความเป็นไปได้แน่นอนเมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพและทางเชื้อเพลิง โดยสมบัติทางเชื้อเพลิงที่เป็นปัจจัยหลักและต้องควบคุม ได้แก่ ค่าความหนืดซึ่งมีค่าที่สูงกว่าความหนืดของน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก ในประเด็นนี้สามารถแก้ปัญหาได้โดยการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบให้ร้อนหรือใช้วิธีผสม (blending) กับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่เหมาะสม ข้อพิจารณาอีกประการหนึ่ง ได้แก่ ชนิดและปริมาณของสิ่งเจือปนในน้ำมันปาล์ม

ได้แก่ สารให้สีและกลิ่นและสารเหนียว เป็นต้น การใช้น้ำมันโอเลอินซึ่งมีความบริสุทธิ์ อาจช่วยแก้ปัญหาในจุดนี้ได้ แต่น้ำมันโอเลอินยังมีราคาที่สูงเกินไปเมื่อเทียบกับราคาของ น้ำมันคิเซล

ดังนั้นเพื่อให้การนำน้ำมันปาล์มไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเกิดผลกระทบน้อยที่สุดอาจเลือกใช้น้ำมันปาล์มชนิด น้ำมันกลั่นบริสุทธิ์ (RBD palm oil) ซึ่งเป็นน้ำมันปาล์มดิบที่ได้ผ่านกระบวนการกำจัดกลีเซอรีน และสารเหนียวพวก phosphatide แล้ว แต่ยังไม่ได้มีการแยกไข stearin ออก หรืออาจนำน้ำมันปาล์มดิบไปใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลชนิด indirect injection ซึ่งเชื้อเพลิงและอากาศสามารถผสมให้เข้ากันได้อย่างทั่วถึงก่อนการจุดระเบิด ช่วยให้การเผาไหม้เกิดได้สมบูรณ์มากขึ้น นอกจากนี้ต้องลดความหนืดของน้ำมันปาล์มด้วยการติดตั้งชุดให้ความร้อน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันปาล์มให้สูงที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เช่น อาจสูงถึง 100-120 °C โดยต้องให้แน่ใจว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นมากนี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อระบบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์

4.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การนำน้ำมันปาล์มไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลประสบผลสำเร็จ ควรมีการดำเนินงานวิจัยเพิ่มเติม ตัวอย่างหัวข้อวิจัยที่ควรศึกษาได้แก่

- การใช้สารตัวเติม (chemical additives) เพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ลดปัญหาการเกิดสารสะสม
- ศึกษาและวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันผสมในรูปของ microemulsion
- ศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันพืชชนิดอื่นที่มีความหนืดต่ำกว่าและมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงกว่า เช่น น้ำมันมะพร้าว เป็นต้น
- ทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลประเภทต่าง ๆ โดยใช้น้ำมันปาล์มที่มีระดับความบริสุทธิ์ต่าง ๆ กัน เช่น น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มดิบกลั่นบริสุทธิ์ น้ำมันเมสลิคในปาล์ม และน้ำมันปาล์มโอเลอิน เพื่อสามารถประเมินผลกระทบต่อเครื่องยนต์ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว
- ศึกษาการกำหนดมาตรฐานทางเชื้อเพลิงและองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มเพื่อให้เกิดความมั่นใจในการนำน้ำมันปาล์มไปใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล

บรรณานุกรม

1. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน "รายงานพลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2541" กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
2. สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี (2545) ข้อมูลพลังงาน (ออนไลน์) ได้จาก [http : //www.nepo.go.th](http://www.nepo.go.th)
3. พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล "ไบโอดีเซล : พลังงานทางเลือก?" การประชุมระดมความคิดเรื่องแนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์ จัดโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 18 มิถุนายน 2544 โรงแรมมารวยการ์เด็น กรุงเทพมหานคร
4. A.H. Hitam and S.Jahis "Preliminary observations of using palm oil as fuel for cars fitted with elsbett Engine", PORIM International Biofuel Conference (1995).
5. F.Ma and M.A. Hanna "Biodiesel production : a review", Bioresource Technology 70, 1-15 (1999).
6. E.W. Lusas and K.C. Rhee "Animal and Vegetable Fats, Oils and Waxes" in Riegel's Handbook of Industrial Chemistry, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
7. Y.H.Hui, Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 5th ed., volume 1, Edible Oil and Fat Products : General Applications, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
8. Y.H.Hui, Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 5th ed., volume 2, Edible Oil and Fat Products : Processing Technology, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
9. ปราโมทย์ ไชยเวช "ปิโตรเลียมเทคโนโลยี (Petroleum Technology) เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2537
10. K. Owen and T.Coley, Automotive Fuels Reference Book, 2nd ed., Society of Automotive Engineers, Inc., 1995.
11. Annual Book of ASTM Standards, section 5 : Petroleum Products, Lubricants and Fossil Fuels, 1998.
12. E.G.Shay "Diesel fuel from vegetable oils : status and opportunities", Biomass and Bioenergy 4, 227-242 (1993).
13. R.Forgiel and K.S.Varde "Experimental investigation of vegetable oils utilization in a direct injection diesel engine, SAE paper 811214 (1981).
14. T.W. Ryan III, L.G. Dodge and T.J.Callahan "The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in two different diesel engines", JAOCS. 61(10), 1610-1619 (1984).
15. S.Bhattacharyya and C.S.Reddy "Vegetable oils as fuels for internal combustion engines : a review", J.Agric. Eng. Res. 57, 157-166 (1994).

16. T.Ozaktas, K.B.Cigizoglu and F.Karaosmanoglu "Alternative dieselfuel study on four different types of vegetable oils of Turkish origin", *Energy Sources* 19, 173-181 (1997).
17. F.Karaosmanoglu, G.Kurt and T. Ozaktas "Direct use of sunflower oil as a compression-ignition engine fuel", *Energy Sources* 22, 659-672 (2000).
18. H.T.C.Machacon, S.Shiga, T.Karasawa and H.Nakamura "Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with coconut oil-diesel fuel blend", *Biomass and Bioenergy* 20, 63-69 (2001).
19. S.C.A.de Almeida, C.R.Belchior, M.V.G.Nascimento, L.S.R.Vieira and G.Fleury "Performance of a diesel generator fuelled with palm oil" *Fuel* 81, 2097-2102 (2002).

ภาคผนวก ก
การเผยแพร่ผลงานวิจัย

1. C.Tangsathitkulchai, Y. Sittichaitaweekul and M.Tangsathitkulchai, "Temperature Effect on the Viscosities of Palm Oil and Coconut Oil Blended with Diesel Oil, in preparation and to be submitted to Journal of American Oil Chemists' Society (JAOCS)

ภาคผนวก ข
ตารางแสดงกิจกรรมของโครงการวิจัย

กิจกรรมที่เสนอในแผนงาน	ผลดำเนินการจริง	ผลที่ได้รับ
1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์ม 3 ชนิด ได้แก่ ปาล์มดิบ ปาล์มกรองที่อุณหภูมิห้องและน้ำมันเมล็ดใน	เป็นไปตามวัตถุประสงค์และแผนที่วางไว้	เรียนรู้เทคนิคการวิเคราะห์และยืนยันองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์มที่นำมาทดสอบ
2. วิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์ม 5 ชนิดเทียบกับน้ำมันดีเซลตามมาตรฐาน ASTM จำนวน 12 รายการ	เป็นไปตามวัตถุประสงค์และแผนที่วางไว้	ได้ข้อมูลทางเชื้อเพลิงสำหรับน้ำมันปาล์มชนิดต่าง ๆ ก่อนข้างสมบูรณ์และครบถ้วน
3. วิเคราะห์หาปริมาณและขนาดของอนุภาคแขวนลอยในน้ำมันปาล์มดิบ	เป็นไปตามวัตถุประสงค์และแผนที่วางไว้	ทราบข้อมูลเกี่ยวกับอนุภาคแขวนลอยในน้ำมันปาล์มดิบช่วยให้สามารถเลือกหรือออกแบบระบบกรองน้ำมันที่มีประสิทธิภาพ
4. ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืด ความตึงผิวและค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มตัวอย่างในช่วงอุณหภูมิ 20-100°C	เป็นไปตามวัตถุประสงค์และแผนที่วางไว้	ได้ฐานข้อมูลเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิต่อสมบัติทางเชื้อเพลิงทำให้สามารถเลือกและกำหนดช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการนำน้ำมันปาล์มไปใช้งาน
5. วิเคราะห์ค่าความหนืด ความหนาแน่น และค่าความร้อนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันดีเซลที่สัดส่วนต่าง ๆ กัน	เกินแผน	ได้ข้อมูลเพิ่มอีกหนึ่งแนวทางเพื่อควบคุมความหนืดของน้ำมันปาล์มโดยใช้วิธีการเจือจางด้วยน้ำมันดีเซลนอกเหนือจากการลดความหนืดด้วยการให้ความร้อน

กิจกรรมที่เสนอในแผนงาน	ผลดำเนินการจริง	ผลที่ได้รับ
6. ศึกษาการปรับสภาพน้ำมัน ปาล์มดิบด้วยการกรองแยกไขที่ อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง	เกินแผน	ทราบข้อมูลในการเตรียมน้ำมันปาล์มดิบใสที่มีจุดหลอมเหลวต่ำลง โดยใช้กระบวนการลดอุณหภูมิ
7. ศึกษาการปรับสภาพน้ำมัน ปาล์มดิบเพื่อลดแนวโน้มการเกิด สารสะสมหลังเผาไหม้ โดยการ ลดปริมาณพันธะคู่ในน้ำมันด้วย การป้อนอากาศผ่าน	เกินแผน	ได้ข้อมูลและวิธีการเพิ่มระดับความอึดตัวให้กับน้ำมันพืชเพื่อช่วยลดปัญหาการเกิดสารสะสมในเครื่องยนต์
8. ศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของ น้ำมันปาล์มตัวอย่างภายหลังเก็บ กักไว้นาน 1 ปี	เป็นไปตามวัตถุประสงค์และ แผนที่วางไว้	ทราบข้อมูลถึงสภาพและสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันปาล์มที่เก็บมาเป็นเวลานาน ช่วยให้ทราบอายุการใช้งานของน้ำมันปาล์มในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง
9. ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิค วิเคราะห์ FTIR เพื่อตรวจสอบ การปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นที่ ผ่านการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง	เป็นไปตามวัตถุประสงค์และ แผนที่วางไว้	ค้นพบเทคนิคเบื้องต้นในการวิเคราะห์การปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นจากการใช้น้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิง