

ตารางที่ 3.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล

สมบัติทางกายภาพ	น้ำมันปาล์มดิบ	น้ำมันเมล็ดใน	น้ำมันโอเลอิน	น้ำมันปาล์ม กลั่นถึงบริสุทธิ์	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 (ดัชนีหักเหของน้ำมันบริสุทธิ์ที่ 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	น้ำมันเมล็ด ในปาล์ม	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

- เส้นกราฟการกลั่นของน้ำมันดีเซลแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและปริมาตรการกลั่นที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยอุณหภูมิจะเริ่มเข้าใกล้ค่าคงที่ในช่วง ปริมาตรการกลั่น 80-90% โดยมีจุดเดือดสูงสุดประมาณ 280°C ลักษณะของกราฟการกลั่นแสดงว่าองค์ประกอบของน้ำมันดีเซลมีจุดเดือดที่แตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจำพวก straight chain paraffin หลายชนิดอยู่รวมกัน
- ช่วงจุดเดือดของน้ำมันปาล์มทุกชนิดมีค่าสูงกว่าของน้ำมันดีเซล แสดงว่าน้ำมันพืชมีโครงสร้างของโมเลกุลที่ใหญ่กว่า โดยน้ำมันปาล์มดิบมีช่วงจุดเดือดสูงที่สุด
- ลักษณะเส้นกราฟการกลั่นของน้ำมันปาล์มแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่ กลุ่มแรกเป็นของน้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันกลั่นกึ่งบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มดิบกรอง และกลุ่มที่สองเป็นของน้ำมันโอเลอินและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม โดยที่กลุ่มแรกเส้นกราฟจะเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาตรการกลั่นประมาณ 30% จากนั้นอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่ จนถึงปริมาตรการกลั่น 70% หลังจากนั้นเส้นกราฟจะตกลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่น้ำมันในกลุ่มที่สองที่ปริมาตรการกลั่นสูงกว่า 30% เส้นกราฟยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนถึงปริมาตรประมาณ 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%

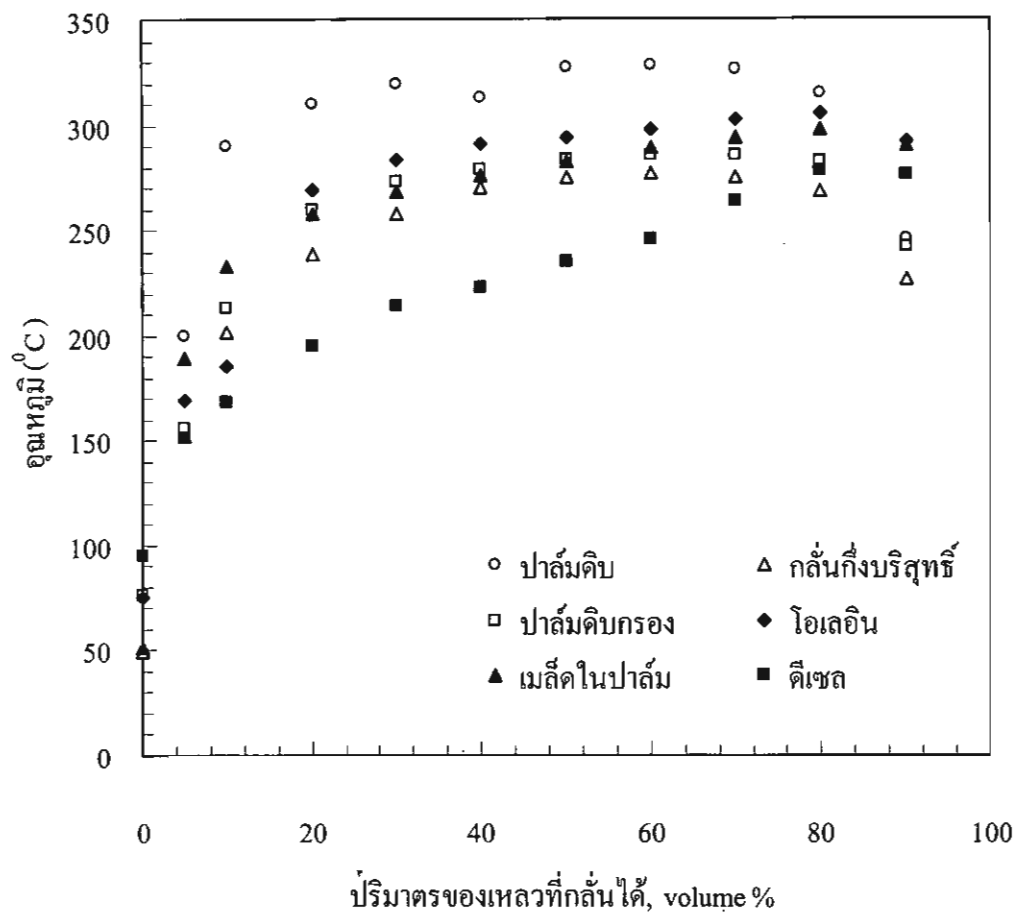
- จุดวาบไฟ (Flash point) ของน้ำมันปาล์มมีค่าสูงกว่าของน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก ประมาณ 4 เท่า ซึ่งเป็นข้อดีอย่างหนึ่งในเรื่องของความปลอดภัยในขณะขนถ่ายและการเก็บกัก
- ค่าความดันไอ (Vapor pressure) ที่อุณหภูมิ 37°C โดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าของน้ำมันดีเซลประมาณ 70%
- ค่าความตึงผิว (Surface tension) เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความยากง่ายในการเป็นละอองฝอยของน้ำมัน 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 ดัชนีซีเทนของน้ำมันปาล์มทุกชนิดมีค่าต่ำกว่าของน้ำมันปาล์มดิบโดยให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 42 และมีค่าเฉลี่ยของน้ำมันปาล์มทั้ง 5 ชนิดเท่ากับ 35.8 ซึ่งต่ำกว่าของน้ำมันดีเซลโดยเทียบเป็นสัดส่วนเท่ากับ 20% การที่ดัชนีซีเทนของน้ำมันปาล์มมีค่าต่ำกว่าของน้ำมันดีเซล อาจทำให้เกิด ignition delay ส่งผลให้การเผาไหม้เกิดได้ไม่สมบูรณ์ และกำลังเครื่องยนต์ตกลง เนื่องจากดัชนีซีเทน (Cetane index) ของน้ำมันปาล์มจะประมาณจากอุณหภูมิที่กึ่งกลาง (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 ในขณะที่ความหนืดของน้ำมันเมล็ดในปาล์มจะต่ำกว่าของน้ำมันปาล์มประเภทอื่น ๆ 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	น้ำมันกลั่น กึ่งบริสุทธิ์	น้ำมันปาล์ม ดิบกรอง	น้ำมัน โอเลอิน	น้ำมันเมสตีค ในปาล์ม	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 และน้ำมันดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D86

3.4 การปรับปรุงสภาพของน้ำมันปาล์มเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

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

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

นอกจากนี้ยังศึกษาการลดแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันจากโครงสร้างพันธะคู่ในน้ำมันพืช 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 เมื่อลงค่าความหนืดและอุณหภูมิต่อสมการ $\log - \log$ จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงแสดงได้ด้วยสมการยกกำลัง

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

เมื่อ μ คือค่าความหนืดในหน่วย centipoise หรือ mPa.s และ T คืออุณหภูมิในหน่วย $^{\circ}\text{C}$ จะเห็นว่าสามารถแบ่งข้อมูลความหนืดได้เป็นสามชุด ได้แก่ ชุดแรกประกอบด้วยน้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันปาล์มดิบกลั่นกิ่งบริสุทธิ์ ปาล์มดิบกรอง (28°C) และปาล์มโอเลอิน ซึ่งมีค่าความหนืดไม่แตกต่างกันมากนักโดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงกว่า 55°C และให้ค่าความหนืดสูงสุดเมื่อเทียบกับน้ำมันในชุดอื่น ชุดที่สองได้แก่ น้ำมันเมล็ดในปาล์ม ซึ่งมีค่าความหนืดต่ำลงมาและชุดสุดท้ายได้แก่ น้ำมันดีเซลซึ่งมีความหนืดต่ำที่สุด มีแนวโน้มว่าความแตกต่างของความหนืดระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซลมีค่าลดน้อยลงเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มมากขึ้น 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 ซึ่งแสดงว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะช่วยให้ไขมันพืชเกิดละอองฝอยได้ดีขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างความตึงผิวและอุณหภูมิแสดงลักษณะสมการเชิงเส้น

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

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

ผลของอุณหภูมิตั้งแต่ 20 - 100°C ที่มีต่อค่าความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล แสดงในตารางที่ 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 น้ำมันปาล์มดิบกรองที่ 28°C และน้ำมันปาล์มโอเลอิน ซึ่งมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกันและน้ำมันดีเซลซึ่งมีความหนาแน่นต่ำที่สุด ตารางที่ 3.10 แสดงค่าคงที่ m และ n ในสมการ (3.3)

ข้อมูลสมบัติทางเชื้อเพลิงในหัวข้อนี้สามารถนำไปกำหนดสภาวะการใช้งานของน้ำมันปาล์มประเภทต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลได้

ตารางที่ 3.5 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล

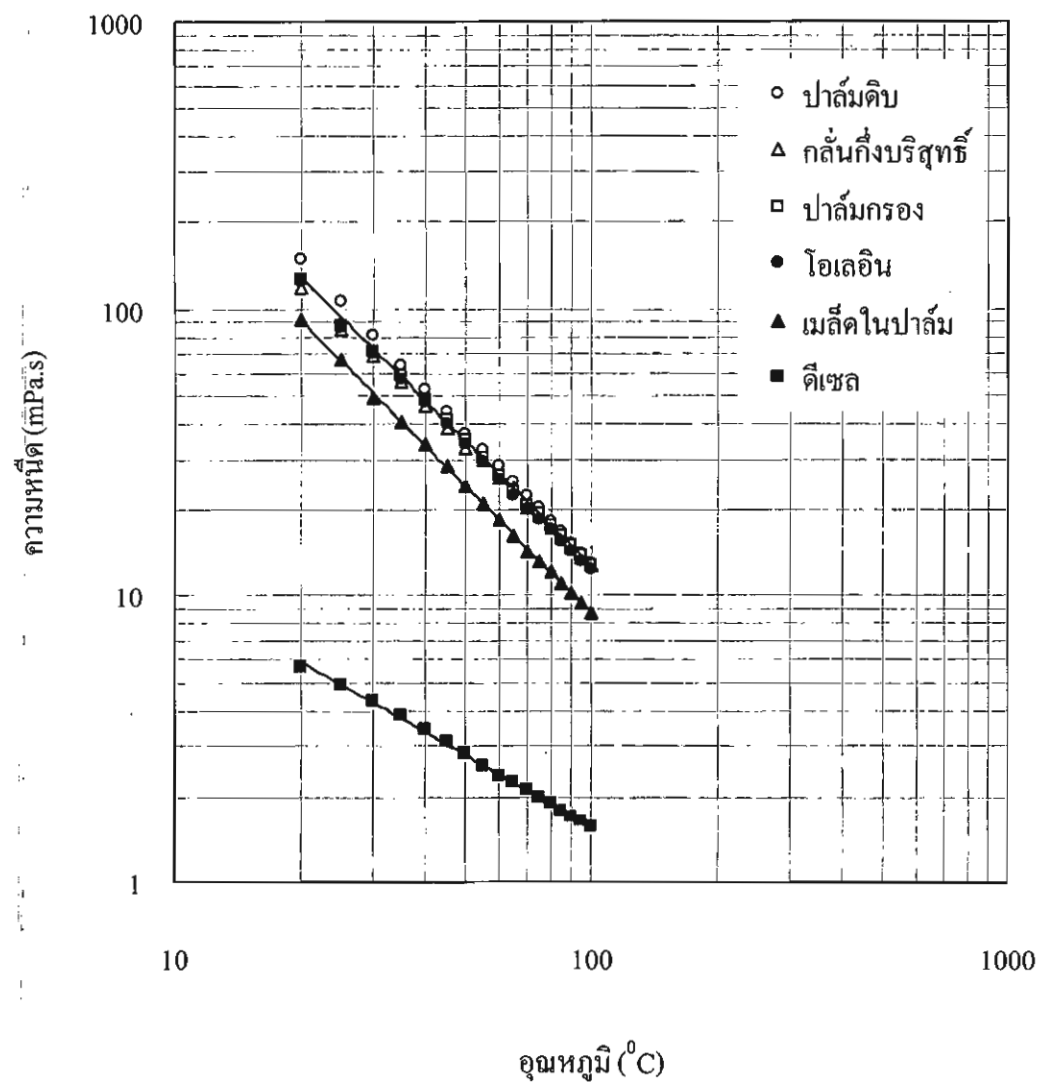
อุณหภูมิ (°C)	ค่าความหนืด (Centipoise หรือ mPa.s)					
	น้ำมัน ปาล์มดิบ	น้ำมันปาล์มกลั่น ถึงบริสุทธิ์	น้ำมันปาล์มดิบ กรองที่ 28 °C	น้ำมันปาล์ม โอเลอิน	น้ำมันเมสตี ดในปาล์ม	น้ำมันดีเซล
20	148.46	119.4	126.65	125.02	91.79	5.63
25	106.02	85.00	88.00	86.00	66.24	4.92
30	80.52	68.80	71.40	69.60	49.30	4.32
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

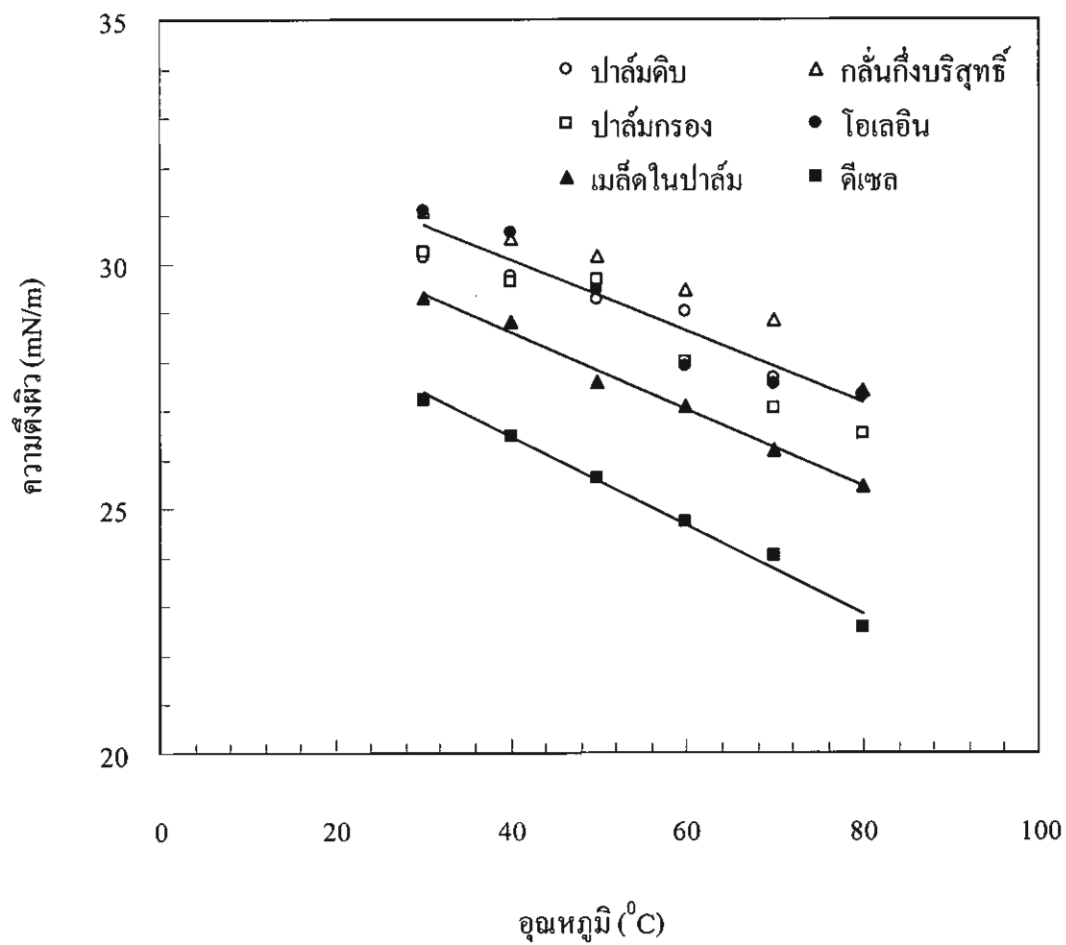
อุณหภูมิ (°C)	ค่าความตึงผิว (dynes / cm หรือ mN/m)					
	น้ำมันปาล์มดิบ	น้ำมันปาล์มกลั่น ถึงบริสุทธิ์	น้ำมันปาล์มดิบ กรองที่ 28 °C	น้ำมันปาล์ม โอเลอิน	น้ำมันเมสตี ดในปาล์ม	น้ำมันดีเซล
30	30.11	31.07	30.22	31.09	29.28	27.22
40	29.73	30.51	29.63	30.65	28.81	26.47
50	29.24	30.13	29.65	29.45	27.59	25.64
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

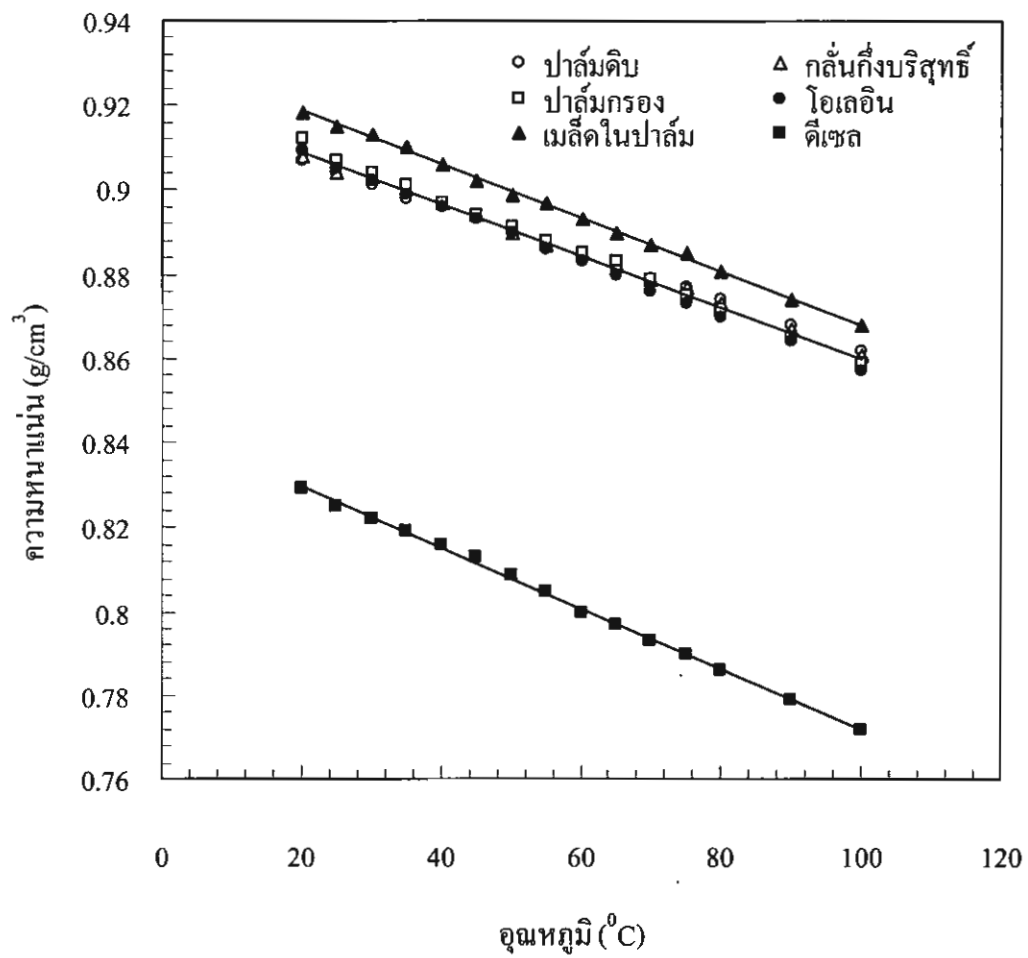
อุณหภูมิ (°C)	ค่าความหนาแน่น (g / cm ³)					
	น้ำมันปาล์มดิบ	น้ำมันปาล์มกลั่น กึ่งบริสุทธิ์	น้ำมันปาล์มดิบ กรองที่ 28 °C	น้ำมันปาล์ม โอเลอิน	น้ำมันเมสตี โนปาล์ม	น้ำมันดีเซล
20	0.907	0.908	0.912	0.909	0.918	0.829
25	0.904	0.904	0.907	0.905	0.915	0.825
30	0.901	0.903	0.904	0.902	0.913	0.822
35	0.898	0.900	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 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันคีเซล



รูปที่ 3.3 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความตึงผิวของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล



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
กลั่นกิ่งบริสุทธิ์	9658	-1.44	0.995
โอเลอิน	9658	-1.44	0.995
เมล็ดในปาล์ม	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
กลั่นกิ่งบริสุทธิ์	33.00	-0.073	0.851
โอเลอิน	33.00	-0.073	0.851
เมล็ดในปาล์ม	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
กลั่นกิ่งบริสุทธิ์	0.921	-0.0006	0.992
โอเลอิน	0.921	-0.0006	0.992
เมล็ดในปาล์ม	0.931	-0.0006	0.998
ดีเซล	0.844	-0.0007	0.998

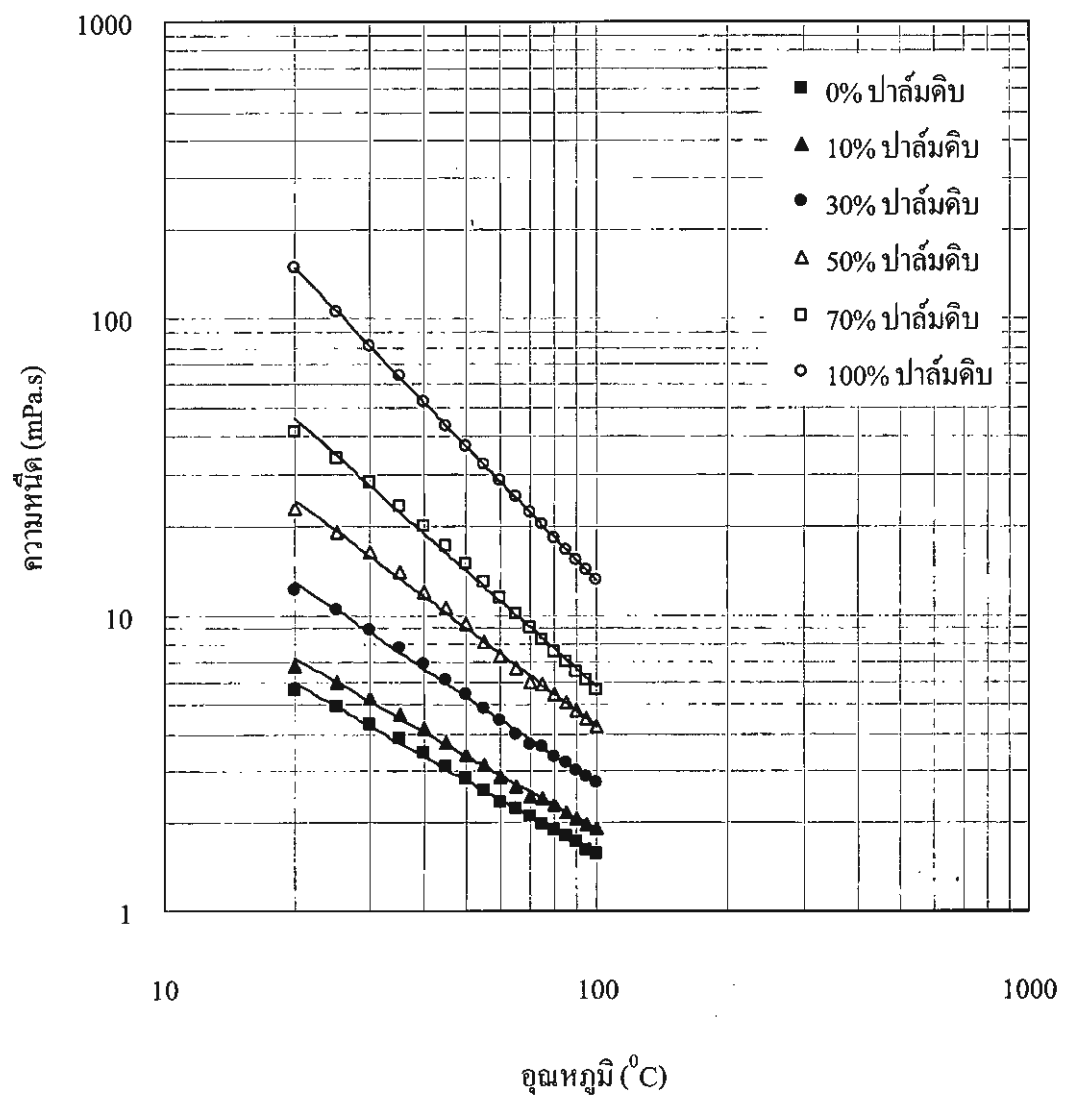
3.4.2 การเจือจางน้ำมันปาล์มดิบด้วยน้ำมันดีเซล

นอกเหนือจากการลดค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบด้วยการเพิ่มอุณหภูมิโดยตรงแล้ว 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

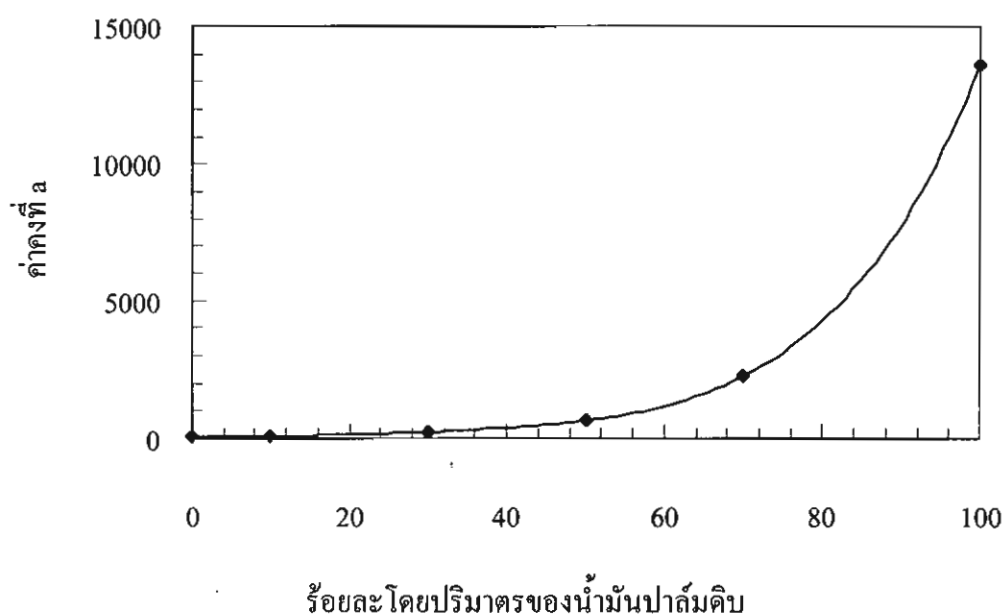
อุณหภูมิ (°C)	ความหนืด (centipoise หรือ mPa.s)					
	ร้อยละ โดยปริมาตรของน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันผสม					
	0	10	30	50	70	100
20	5.63	6.8	12.14	22.89	41.38	148.46
25	4.92	5.98	10.36	19.21	33.88	106.02
30	4.32	5.25	8.95	16.25	28.12	80.52
35	3.86	4.67	7.81	13.89	23.51	63.81
40	3.44	4.17	6.88	12.03	20	52.16
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



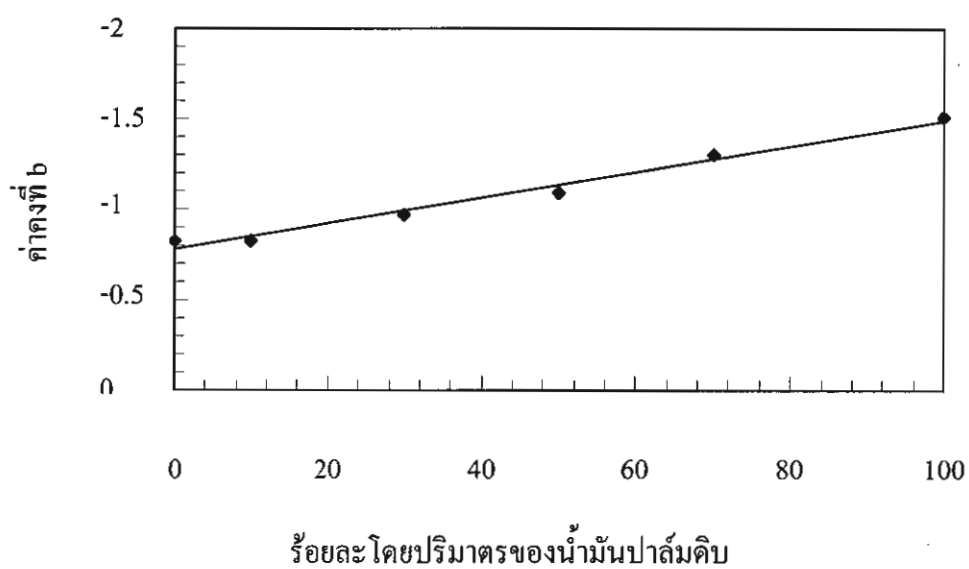
รูปที่ 3.5 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์ม

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 $\mu = aT^b$ และร้อยละ โดยปริมาตรของน้ำมันปาล์มดิบในน้ำมันผสม (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 ค่าได้แก่ที่ 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 ช่วยให้เกิดปัญหาเมื่อนำไปใช้งานหรือเก็บรักษาที่อุณหภูมิทำงานต่ำ ๆ

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 ลิตรต่อวินาที เป็นเวลา 175 ชั่วโมง ตัวอย่างน้ำมันที่ศึกษาได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันปาล์มดิบกรองที่อุณหภูมิห้อง (28°C) น้ำมันที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่เวลาต่าง ๆ จะนำมาทดสอบหาตัวเลขไอโอดีนเพื่อติดตามระดับความอิ่มตัว ผลลัพธ์สุดท้ายที่ 175 ชั่วโมงจะนำไปวัดค่าความหนาแน่น ความหนืด ค่าความร้อนและสังเกตลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ

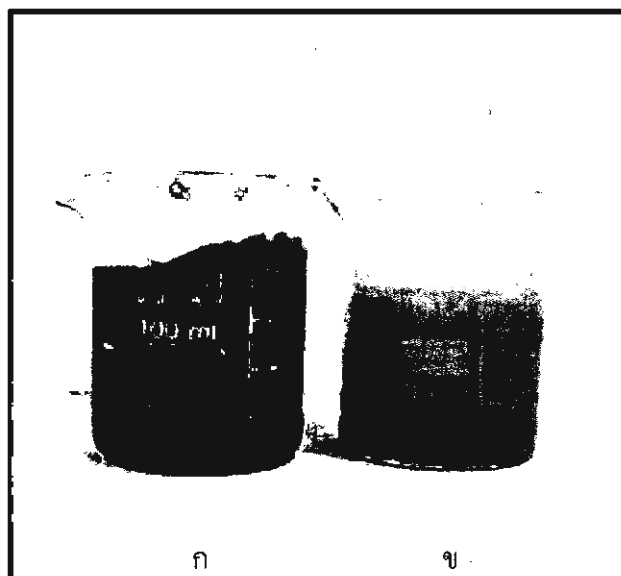
จากการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของน้ำมันที่ผ่านการเติมอากาศที่ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 3.8 และ 3.9 สำหรับน้ำมันปาล์มดิบจะเปลี่ยนจากสีส้มขุ่นเป็นสีขาวขุ่น เนื่องจากมีตะกอนแขวนลอยอยู่โดยทั่ว ส่วนน้ำมันปาล์มดิบกรองจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลส้มใสเป็นสีเหลืองอ่อนและค่อนข้างขุ่น นอกจากนี้น้ำมันทั้ง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

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

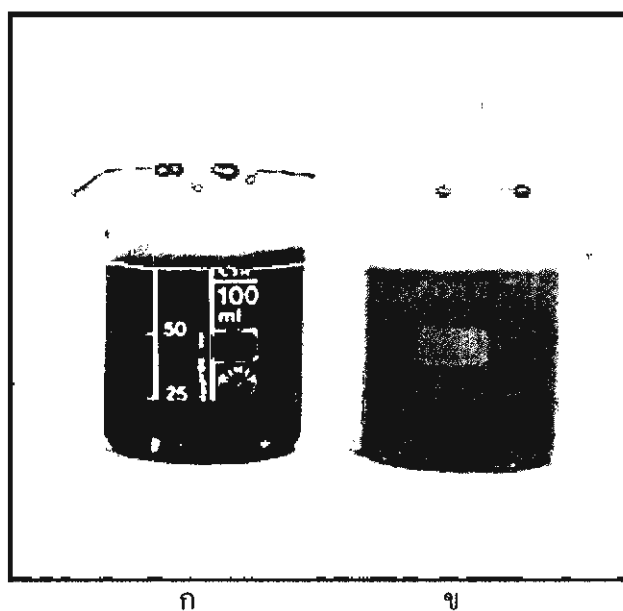
จากข้อมูลความหนาแน่นในตารางที่ 3.17 พบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการออกซิไดซ์แล้วจะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6% และ 2% ตามลำดับสำหรับน้ำมันปาล์มกรองและน้ำมันปาล์มดิบเมื่อวัดความหนาแน่นในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ $25-70^{\circ}\text{C}$ สำหรับค่าความร้อนดังแสดงในตารางที่ 3.18 พบว่าค่าความร้อนของน้ำมันที่ถูกออกซิไดซ์มีแนวโน้มลดลงแต่ไม่มากนัก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

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

แนวโน้มในการเกิดสารสะสมในห้องเผาไหม้ แต่ก็มีข้อเสียที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูงมาก หากจะนำน้ำมันปาล์มกรองที่ปรับสภาพด้วยการเติมอากาศไปใช้งานจะต้องหาทางลดค่าความหนืด โดยกระบวนการให้ความร้อนและหรือเจือจางด้วยน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่เหมาะสม



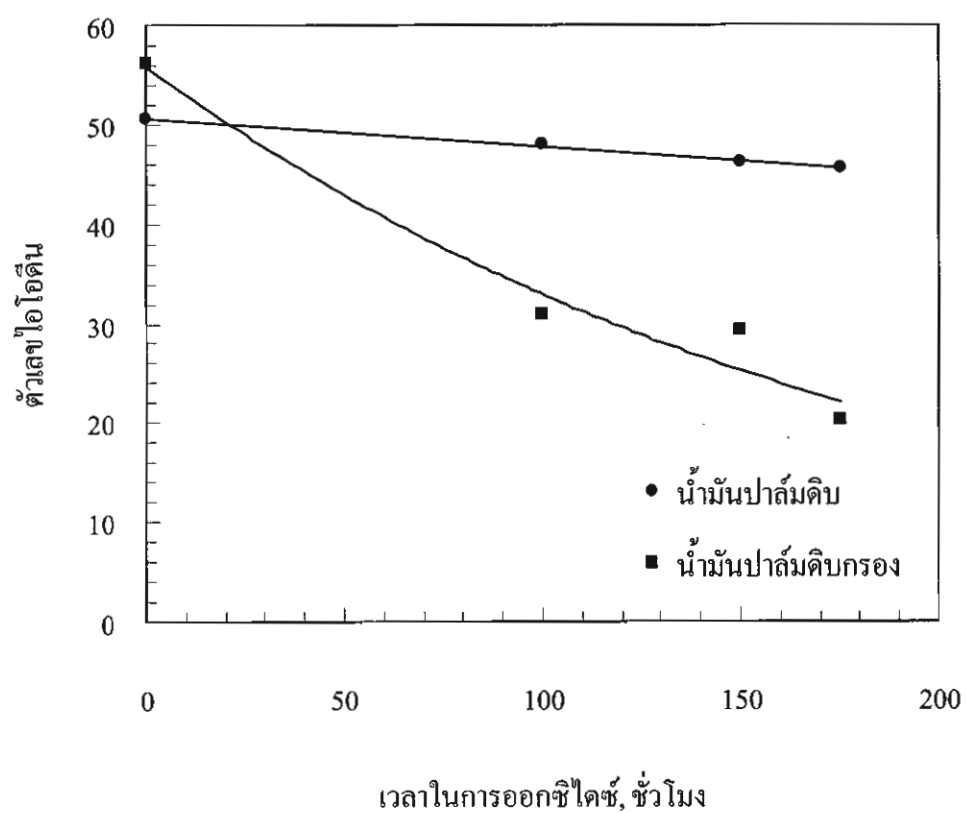
รูปที่ 3.8 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันปาล์มดิบก่อน (ก) และ หลัง (ข) การเติมอากาศที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 175 ชั่วโมง (อัตราการป้อนอากาศ 3 ลิตรต่อนาที)



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

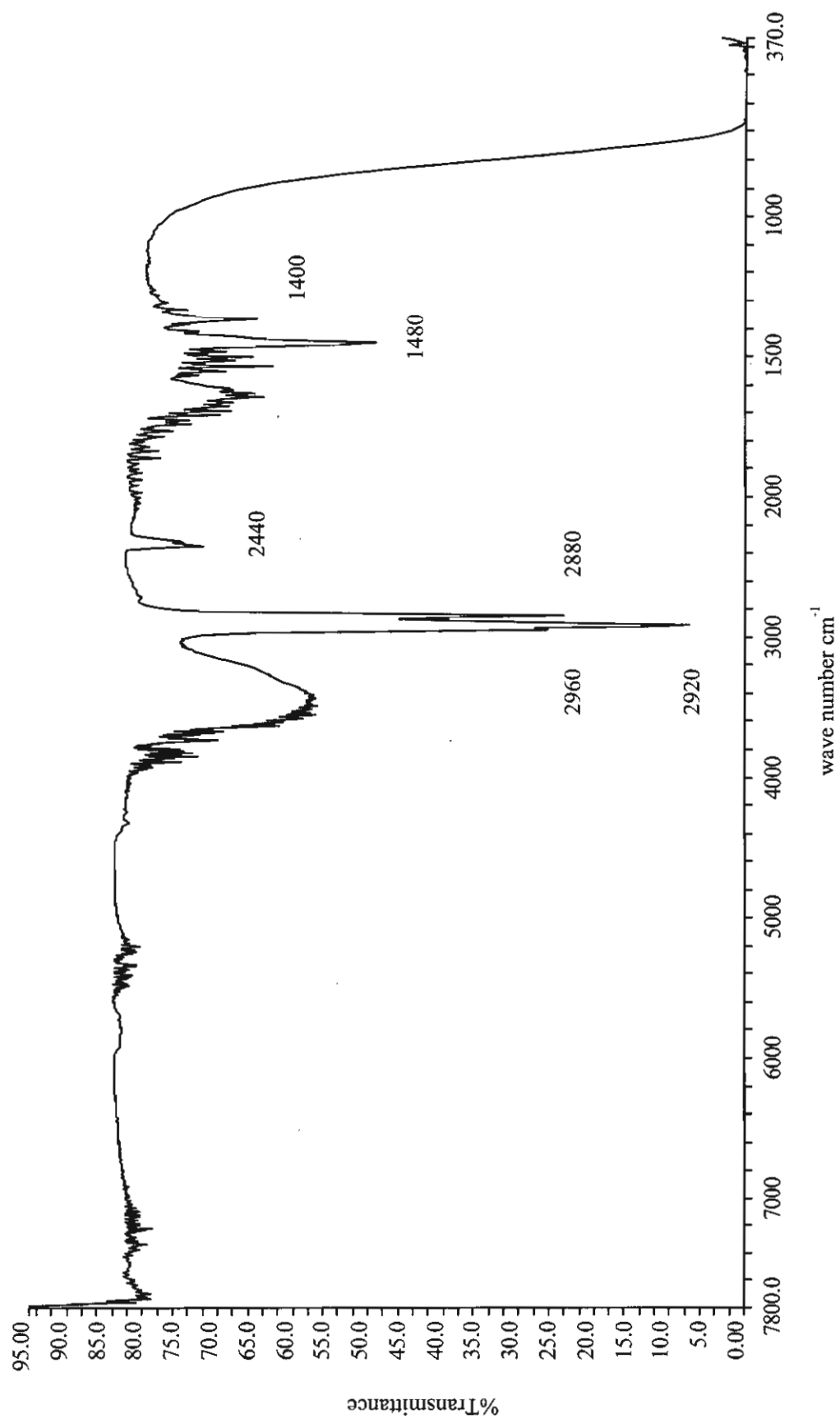
ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่นำมาวิเคราะห์การปนเปื้อนได้มาจาก โครงการวิจัย "ผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซลจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ" ซึ่งเป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลประเภท direct injection มาแล้วเป็นเวลา 135 ชั่วโมง เนื่องจากไม่ทราบแน่ชัดและเป็นการยากที่จะระบุหรือวิเคราะห์อย่างชัดเจนว่าสารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นเป็นสารที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นอย่างไร ในเบื้องต้นจึงตั้งสมมติฐานว่าสารที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นส่วนใหญ่เป็นน้ำมันปาล์มดิบที่เผาไหม้ไม่หมด เนื่องจากอาจมีขนาดของหยดของเหลวที่ใหญ่เกินไป ดังนั้นเทคนิคการวิเคราะห์ด้วย FTIR จะเริ่มจากการเตรียมน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันหล่อลื่นบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มดิบที่อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มดิบค่าต่าง 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

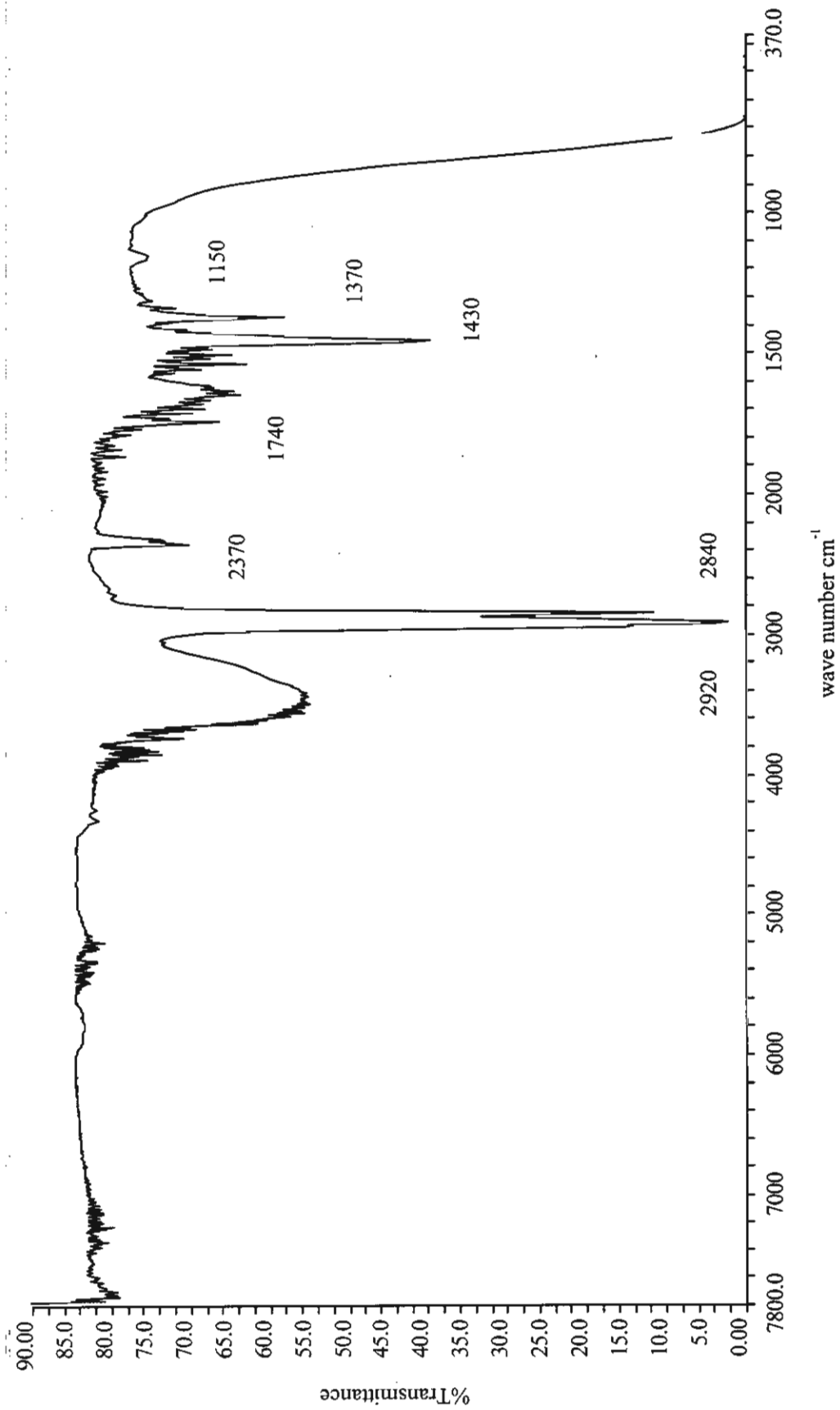
จะเห็นว่ามีลักษณะของกราฟทั้งขนาดและตำแหน่งโดยเฉพาะที่ wave no. 1,740 cm⁻¹ ที่ตรงกับกราฟในรูปที่ 3.12 มากที่สุด ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานและนำมาทดสอบมีน้ำมันปาล์มดิบปนเปื้อนอยู่ คิดเป็นร้อยละ 5 โดยปริมาตร เนื่องจากการใช้เทคนิค FTIR เพียงวิธีเดียวยังไม่อาจชี้ชัดได้ว่าสารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นเป็นน้ำมันปาล์มดิบล้วน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

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

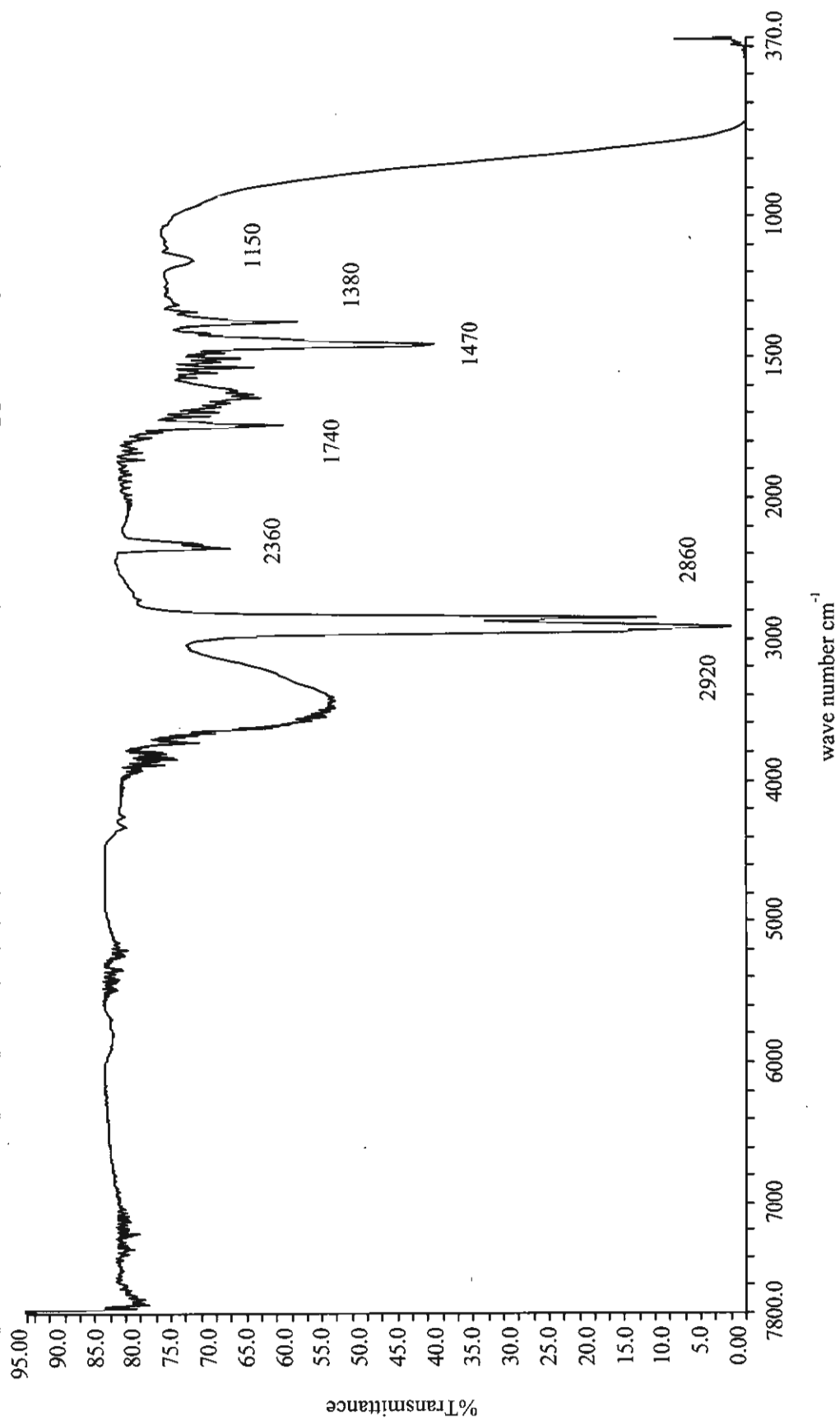
ชนิดของสาร	ลักษณะพันธะเคมี	ตัวเลขคลื่น (wave no.) (cm ⁻¹)
Alkane	$\begin{array}{c} \\ -C-H \\ \end{array}$	2850 – 2970 1340 – 1470
Alkane	$\begin{array}{c} \quad \\ -C-C- \\ \quad \end{array}$	1100 - 1300
Alkene	$\begin{array}{c} \\ =C-H \end{array}$	3010 – 3095 675 – 995
Carboxylic acid, ester	$\begin{array}{c}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



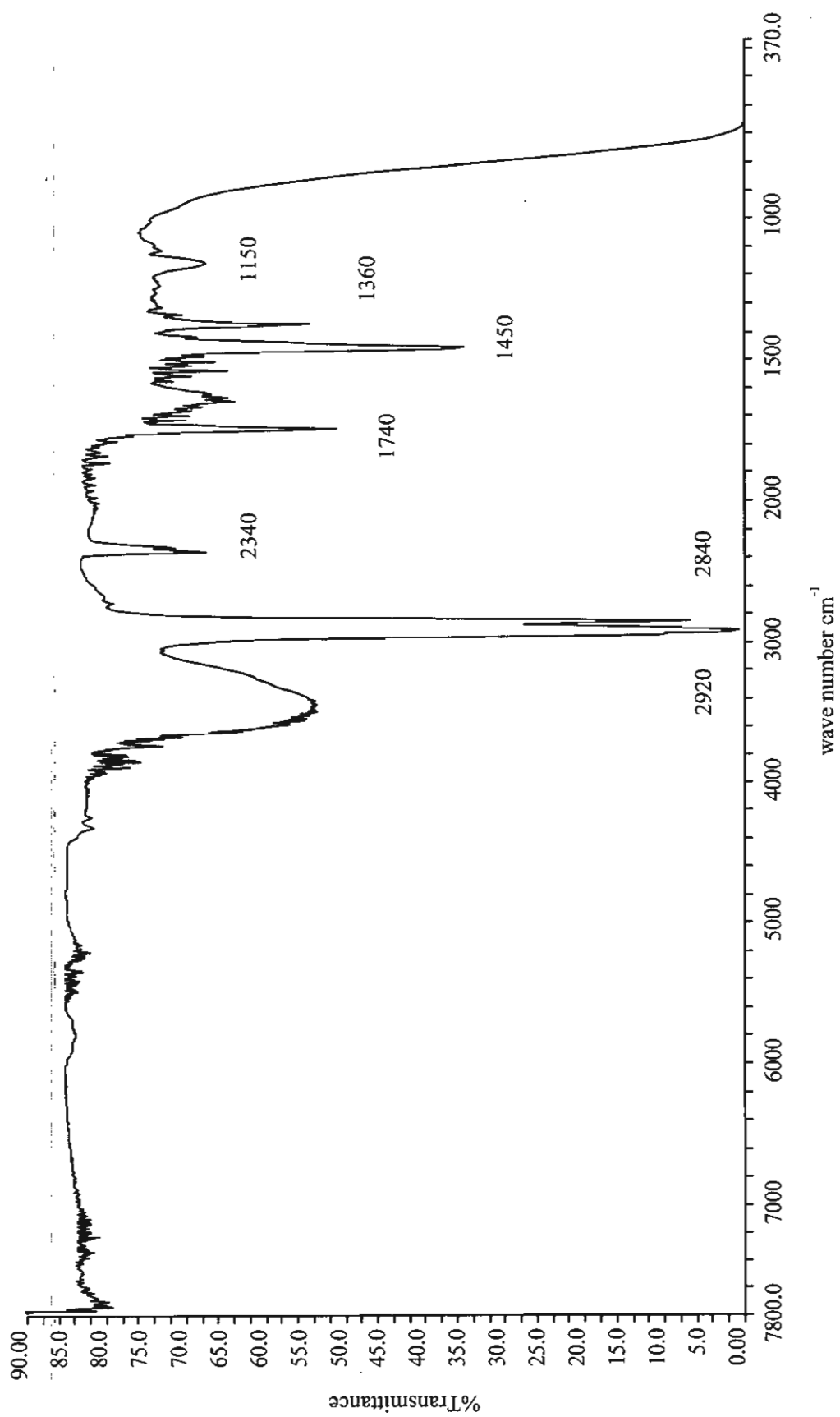
รูปที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันหล่อลื่นบริสุทธิ



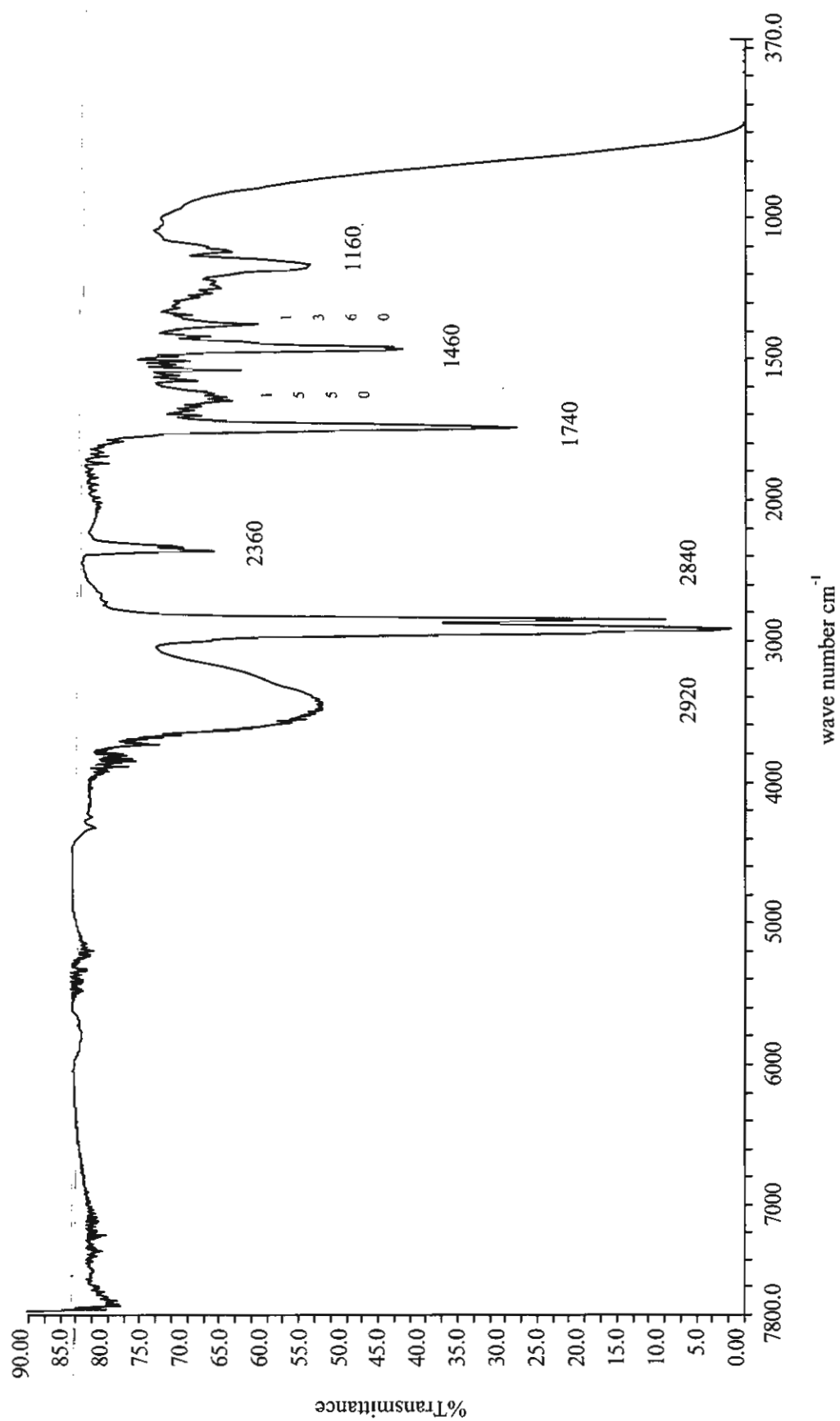
รูปที่ 3.12 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันผสมมาตรฐาน (หล่อลื่น 95% + ปาล์มดิบ 5%)



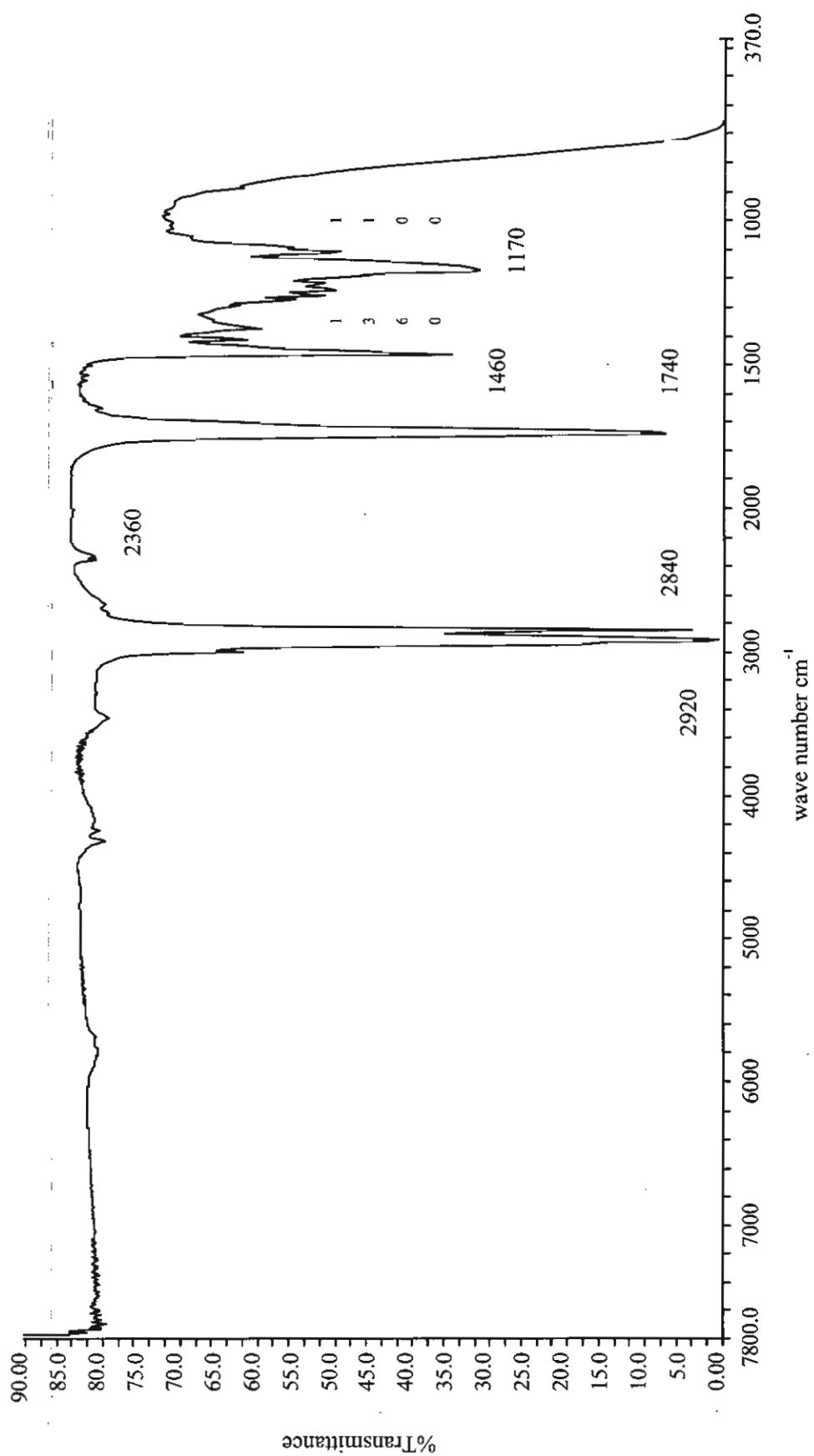
รูปที่ 3.13 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันผสมมาตรฐาน (หล่อลื่น 90% + ปาล์มดิบ 10%)



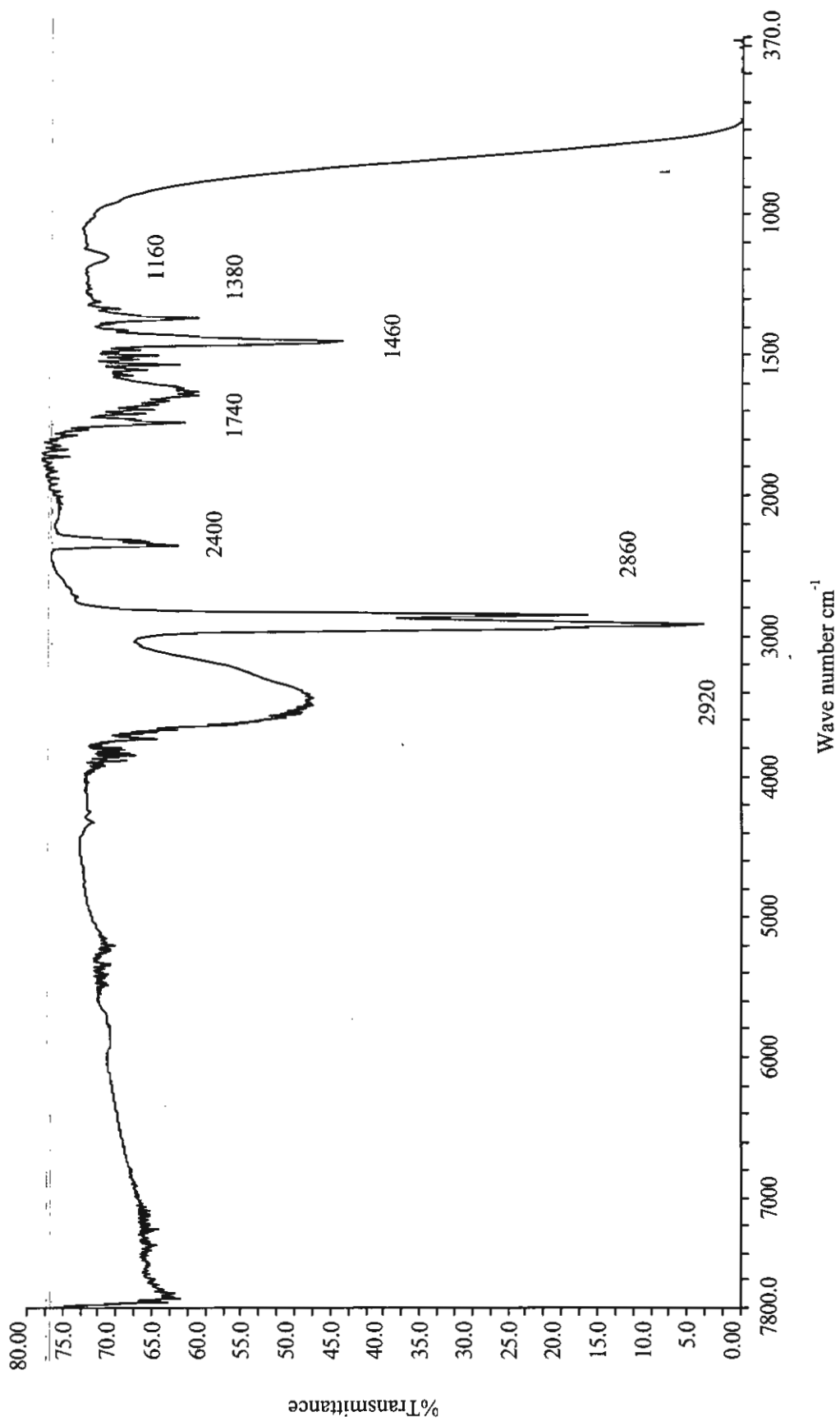
รูปที่ 3.14 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันผสมมาตรฐาน (หล่อลื่น 85% + ปาล์มดิบ 15%)



รูปที่ 3.15 ผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของน้ำมันผสมมาตรฐาน (หล่อกลั่น 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 น้ำมันกลั่นกิ่งบริสุทธิ์ 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. จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันปาล์มในรูปของกรดไขมันของเมธิลเอสเทอร์ 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 ความกักกร่อนต่อแผ่นทองแดง และกากถ่าน ชีวน้ำมันปาล์มเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดกว่าน้ำมันดีเซล
5. ได้ศึกษาการลดความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบโดยกระบวนการทางกายภาพและพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิและการเจือจางด้วยน้ำมันดีเซลเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและไม่ยุ่งยากในการลดค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบ สำหรับการตกผลึกเพื่อแยกไขออกจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยการลดอุณหภูมิพบว่ามีผลน้อยมากต่อการลดลงของความหนืดของน้ำมันในถังที่กรองได้ แต่จะช่วยให้น้ำมันที่ได้มีจุลหอยมวนที่ลดต่ำลงทำให้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงภายใต้สภาวะการทำงานที่อุณหภูมิต่ำได้ดี นอกจากนี้ยังได้เสนอสมการเพื่อประมาณค่าความหนืดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิในช่วง 20-100°C และที่อัตราส่วนต่างๆ ของน้ำมันปาล์มดิบ
 6. การปรับสภาพน้ำมันปาล์ม โดยการเติมอากาศเพื่อลดปริมาณไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเชื่อว่าจะช่วยลดแนวโน้มของการเกิดสารสะสมในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ พบว่าการเติมอากาศให้ผลดีกับน้ำมันปาล์มดิบกรอง (28°C) มากกว่าน้ำมันปาล์มดิบ โดยช่วยให้ปริมาณไขมันไม่อิ่มตัวของน้ำมันปาล์มดิบกรองเปลี่ยนเป็นไขมันอิ่มตัวได้ถึง 36% เมื่อเติมอากาศที่สภาวะ 80°C เป็นเวลานาน 175 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามก็ตีผลลึกลับที่ได้กลับมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมาก (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) ซึ่งเป็นน้ำมันปาล์มดิบที่ได้ผ่านกระบวนการกำจัดกลิ่น สี 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 น้ำมันเมล็ดในปาล์ม และน้ำมันปาล์มโอเลอิน เพื่อสามารถประเมินผลกระทบต่อเครื่องยนต์ ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว
- ศึกษาการกำหนดมาตรฐานทางเชื้อเพลิงและองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มเพื่อให้เกิดความมั่นใจในการนำน้ำมันปาล์มไปใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล

บรรณานุกรม

1. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน "รายงานพลังงานของประเทศไทย พ.ศ. 2541" กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
2. สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี (2545) ข้อมูลพลังงาน (ออนไลน์) ได้จาก <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	ได้ฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลของอุณหภูมิต่อสมบัติทางเชื้อเพลิงทำให้สามารถเลือกและกำหนดช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการนำน้ำมันปาล์มไปใช้งาน
5. วิเคราะห์ค่าความหนืด ความหนาแน่น และค่าความร้อนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันดีเซลที่สัดส่วนต่าง ๆ กัน	เกินแผน	ได้ข้อมูลเพิ่มอีกหนึ่งแนวทางเพื่อควบคุมความหนืดของน้ำมันปาล์มโดยใช้วิธีการเจือจางด้วยน้ำมันดีเซลนอกเหนือจากการลดความหนืดด้วยการให้ความร้อน

กิจกรรมที่เสนอในแผนงาน	ผลดำเนินการจริง	ผลที่ได้รับ
6. ศึกษาการปรับสภาพน้ำมัน ปาล์มดิบด้วยการกรองแยกไขที่ อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง	เกินแผน	ทราบข้อมูลในการเตรียมน้ำมัน ปาล์มดิบใสที่มีจุดหลอม เหลวต่ำลง โดยใช้กระบวนการ ลดอุณหภูมิ
7. ศึกษาการปรับสภาพน้ำมัน ปาล์มดิบเพื่อลดแนวโน้มการเกิด สารสะสมหลังเผาไหม้ โดยการ ลดปริมาณพันธะคู่ในน้ำมันด้วย การป้อนอากาศผ่าน	เกินแผน	ได้ข้อมูลและวิธีการเพิ่มระดับ ความอึดตัวให้กับน้ำมันพืชเพื่อ ช่วยลดปัญหาการเกิดสาร สะสมในเครื่องยนต์
8. ศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงของ น้ำมันปาล์มตัวอย่างภายหลังเก็บ กักไว้นาน 1 ปี	เป็นไปตามวัตถุประสงค์และ แผนที่วางไว้	ทราบข้อมูลถึงสภาพและ สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมัน ปาล์มที่เก็บมาเป็นเวลานาน ช่วยให้ทราบอายุการใช้งาน ของน้ำมันปาล์มในการนำไป ใช้เป็นเชื้อเพลิง
9. ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิค วิเคราะห์ FTIR เพื่อตรวจสอบ การปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นที่ ผ่านการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเชื้อเพลิง	เป็นไปตามวัตถุประสงค์และ แผนที่วางไว้	ค้นพบเทคนิคเบื้องต้นในการ วิเคราะห์การปนเปื้อนของน้ำ มันหล่อลื่นจากการใช้น้ำมัน ปาล์มเป็นเชื้อเพลิง