



รายงานการวิจัย

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ระดับ
นาโนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ
(Quality Improvement of Crude Palm Oil by using Zinc Oxide
Nanocrystals Catalytic for Low Speed Diesel Engine)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ระดับ
นาโนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ
(Quality Improvement of Crude Palm Oil by using Zinc Oxide
Nanocrystals Catalytic for Low Speed Diesel Engine)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.การุญ ฟังสุวรรณรักษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพย์วรรณ ฟังสุวรรณรักษ์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

เมษายน 2562

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดีได้ด้วยการสนับสนุนจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพย์วรรณ พิงสุวรรณรักษ์ และบริษัท นาโนซายน์ เทคโนโลยี จำกัด (Nanoscience Technology Co., Ltd.) สำหรับสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) ที่ใช้ในการทำวิจัยนี้ และ ดร.สุพรรณิ จันทร์ภิรมณ์ สำหรับคำปรึกษาในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) รวมถึงอาจารย์ศธา วาทกิจ สำหรับความเอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบบุคลากรจากอาคารเครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 5, 10 และ 11 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่กล่าวมา

การุญ พิงสุวรรณรักษ์



บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ภายใต้กระบวนการผลิตในห้องปฏิบัติการ กระบวนการผลิตทางเคมีใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Trans-esterification) และเบสเป็นสารเร่งปฏิกิริยา โดยผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อปรับปรุงคุณภาพจากสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล ใช้ น้ำมันที่ส่วนผสมต่างกันเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติและสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์นั้นมีทั้งหมด 6 ชนิด คือ 1. น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (B100) 2. น้ำมันดีเซล 3. น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) 4. น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.) 5. น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) และ 6. น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันที่ศึกษานั้นได้นำไปทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing และ Materials (ASTM) จากผลพบว่า น้ำมันปาล์มดิบและกลุ่มน้ำมัน B100 ไม่อยู่ภายใต้มาตรฐานค่าความหนืด ASTM D445 แต่ น้ำมัน R-B100 และ น้ำมัน R-B100+ZnO 0.05 g. ให้ผลทดสอบคุณสมบัติด้านความหนืดอยู่ในมาตรฐาน ASTM D445 อีกทั้งการทดสอบของตัวอย่างน้ำมันทดสอบชนิดที่ 1-5 ทั้งหมดยกเว้นน้ำมันปาล์มดิบได้ให้ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าดัชนีซีเทน และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอยู่ภายใต้มาตรฐาน ASTM D1298 ASTM D976 และ ASTM D240 ตามลำดับ แต่ยังมีค่าดัชนีซีเทนและความร้อนของเชื้อเพลิงของกลุ่มน้ำมันที่ปรับปรุงมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลไม่เกิน 28% และ 16% ตามลำดับเมื่อเทียบกับค่าของน้ำมันดีเซล

การศึกษาผลของการใช้กลุ่มน้ำมันทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำจำนวน 1 สูบ ที่มีต่อการปล่อยมลพิษไอเสีย พบว่าน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการปรับปรุงปล่อยก๊าซต่าง ๆ ในปริมาณที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนืดที่มากเกินไป ทำให้เกิดการเผาไหม้ภายในไม่สมบูรณ์ แต่เมื่อนำกลุ่มน้ำมันที่ปรับปรุงมาทดสอบพบว่าการปล่อย CO น้อยลงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 24-61% เนื่องจากเกิดกระบวนการสันดาปภายในสมบูรณ์มากขึ้นจากปริมาณออกซิเจนมากขึ้น โดยเฉพาะน้ำมัน R-B100+ ZnO 0.05 g. ให้การปล่อย CO น้อยกว่าถึง 61 % ในส่วน NOx พบว่าการปล่อยมากขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลไม่เกิน 21 % เนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงขึ้นส่งผลต่อการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์สูงขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะน้ำมัน R-B100+ ZnO 0.05 g. ให้การปล่อย NOx ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ในส่วน CO₂ พบว่าการปล่อยมากขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 88 % เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์สามารถเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากขึ้น ในส่วน HC พบว่าการปล่อยมากขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 20-56 % เนื่องจากอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศเป็นแบบส่วนผสมบาง ทำให้การแพร่กระจายของเปลวไฟลดลง ทำให้ส่วนผสมบางส่วนเผาไหม้ไม่ทันและเหลือมากับไอเสีย ส่งผลให้เกิดการปล่อยไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่มากขึ้น ผลการศึกษาใช้กลุ่มน้ำมันทดสอบมีต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ 1 สูบ แสดงให้เห็นถึงการใช้น้ำมัน B100 ให้อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคในปริมาณที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลถึง 60% แต่เมื่อใช้น้ำมันที่ปรับปรุงแล้วจะให้ค่าที่สูงกว่าเพียง 14.95 % เนื่องจากความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล จึงมีผลต่อการกระจายตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่ดี ส่งผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในขนาดระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าน้ำมันที่ปรับปรุงและผลิตในห้องปฏิบัติการยังมีต้นทุนสูงกว่าถึง 2 เท่า แม้ว่าน้ำมันปาล์มดิบมีราคาถูกกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 16% อย่างไรก็ตามระดับการผลิตขนาดใหญ่ขึ้นสามารถลดผลส่วนต่างลงได้ และน้ำมันไบโอดีเซลยังจัดเป็นพลังงานทดแทนจากผลผลิตทางการเกษตรในประเทศ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

This research has studied the production of biodiesel from crude palm oil under the manufacturing process in the laboratory. The chemical production process uses a transesterification reaction to use the chemical base as a catalytic substance. Subsequently, the refined process was operated to improve quality with the use of nano-zinc oxide additives blended into the biodiesel oil. There are 6 different types of the studied fuels in order to test the physical qualities and performance of the tested engine: 1. Crude Palm oil 2. Palm biodiesel (B100) 3. Diesel fuel 4. Refined biodiesel improved quality, (R-B100) 5. Palm biodiesel mixed with nano-zinc oxide additive of 0.05 g, (B100 + ZnO 0.05 g.) and 6. Refined biodiesel mixed with nano-zinc oxide additive of 0.05 g (R-B100 + ZnO 0.05 g.). The 6 different types of their fuel qualifications have been tested under American Society of Testing and Materials (ASTM) standards. The experimental results showed that crude palm oil and B100 group are not subjected to ASTM D445 viscosity standards, but R-B100 and R-B100 + ZnO 0.05 g are under ASTM D445 viscosity. Furthermore, the 1-5 sample tests except crude palm oil have provided a specific gravity result, cetane index, and the heating value are governed by ASTM D1298 ASTM D976 and ASTM D240, respectively. Nonetheless, the refined biodiesel group has cetane index value and lower heating value by 28% and 16% than that of diesel fuel.

This research has studied the effect of using a variety of improved palm biodiesel on exhaust emissions from a low-cycle 1-cylinder diesel engine. It is found that crude palm oil which has not been improved, brings to higher exhaust emissions than the engine using diesel fuel. It corresponds with excessive fuel viscosity to affect the uncompleted internal combustion. However, when applying the improved oil test, there are fewer CO₂ emissions compared to using diesel fuel for approximately 24-61% due to the more completed internal combustion process from the amount of oxygen. Especially R-B100 oil + ZnO 0.05 g provides less CO₂ emissions by 61%. The NO_x has found a less release than 21% compared to the use of diesel fuel due to the higher temperature in the combustion engine. For R-B100 oil + ZnO 0.05 g, NO_x emission result has a similarity with using diesel fuel, but CO₂ and HC emission is released more than 88% and 20-56%, respectively. It is due to the increased amount of oxygen affecting carbon monoxide transformation into more carbon dioxide. An additional effect of the lightly ratio mixture between fuel and air causes the spread of flame to decline and the existence of fuel incompletely burns out. It results in a greater amount of hydrocarbon emissions. The results of the tested fuel group are against the performance of low- 1 cycle diesel engines which is demonstrated in this study. It showed the higher brake specific fuel consumption from using B100 than using diesel fuel up to 60%. However, when using an improved fuel, it increased only 14.95% due to its higher viscosity than diesel fuel and an effect on the worst fuel dispersion leading to incomplete the engine combustion. This study has an economic analysis to compare the production cost of Bio palm diesel with diesel fuel in a laboratory scale. It was found that the cost of the improved fuel produced in the laboratory increases of 2 times, although crude palm oil is much cheaper than the diesel fuel about 16%. However,

larger amounts of production levels can reduce the cost variance and the bio palm diesel is also classified as a renewable energy from the domestic agricultural production.



สารบัญ

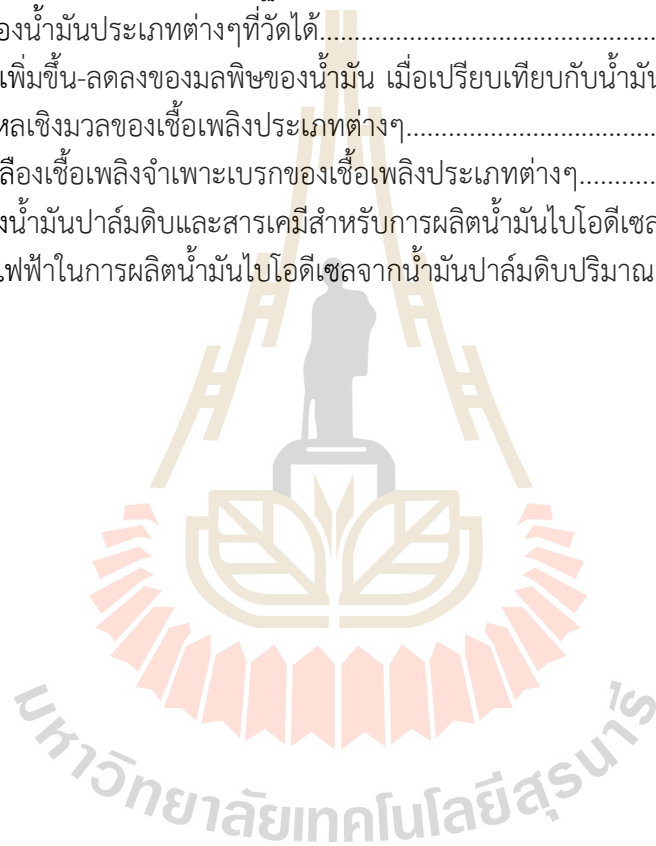
	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm).....	3
กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบ.....	3
ประเภทของสารเติมแต่ง.....	5
คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	7
การปล่อยมลพิษจำเพาะ และดรรชนีมลพิษ.....	14
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ.....	17
ขั้นตอนการผสมน้ำมันประเภทต่างๆ.....	21
การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น	29
การทดสอบคุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง.....	26
การทดสอบการวัดมลพิษ.....	37
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
บทนำ.....	45
กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	45
การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น.....	47
การวัดคุณสมบัติของน้ำมัน.....	50
การทดสอบการปล่อยมลพิษ.....	55
อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption).....	60
การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการทดสอบ	67
ข้อเสนอแนะ.....	71

บรรณานุกรม	72
ประวัติผู้วิจัย	74



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO).....	7
ตารางที่ 3.1 สัดส่วนในการผสมน้ำมันประเภทต่างๆ.....	23
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำยี่ห้อ KAWAMA รุ่น KWM500D.....	38
ตารางที่ 4.1 ผลการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน.....	46
ตารางที่ 4.2 สัดส่วนในการผสมน้ำมันประเภทต่างๆ.....	47
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ.....	48
ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของน้ำมันประเภทต่างๆ.....	51
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบร้อยละการเพิ่มขึ้น-ลดลงของคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมัน เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล (ใช้น้ำมันดีเซลเป็นมาตรฐาน).....	52
ตารางที่ 4.6 ค่ามลพิษของน้ำมันประเภทต่างๆที่วัดได้.....	57
ตารางที่ 4.7 ร้อยละการเพิ่มขึ้น-ลดลงของมลพิษของน้ำมัน เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล.....	58
ตารางที่ 4.8 อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ.....	62
ตารางที่ 4.9 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ.....	62
ตารางที่ 4.10 ต้นทุนของน้ำมันปาล์มดิบและสารเคมีสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มปริมาณ 1 ลิตร	64
ตารางที่ 4.11 ต้นทุนค่าไฟฟ้าในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบปริมาณ 1 ลิตร.....	64



สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ปาล์มน้ำมัน ก) ต้นปาล์มน้ำมัน ข) ทะลายปาล์มน้ำมัน.....	3
รูปที่ 2.2 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	4
รูปที่ 2.3 สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO).....	6
รูปที่ 2.4 การวัดค่าความถ่วงจำเพาะด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer).....	8
รูปที่ 2.5 เครื่องมือ Viscosity-Kinematic Capillary Tempering Bath High Temperature.....	9
รูปที่ 2.6 เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure.....	10
รูปที่ 2.7 โนโมกราฟ (Nomograph) สำหรับการหาค่าดัชนีซีเทน.....	11
รูปที่ 2.8 เครื่องมือ Bomb Calorimeter รุ่น Bomb C5000.....	12
รูปที่ 2.9 เครื่องมือโครมาโทกราฟี (Chromatography).....	12
รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเครื่องโครมาโทกราฟี.....	14
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	17
รูปที่ 3.2 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ.....	18
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ.....	19
รูปที่ 3.4 การทำปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	21
รูปที่ 3.5 เครื่องมือเขย่าอัลตราโซนิค (Ultrasonic Shaker).....	23
รูปที่ 3.6 ลักษณะของน้ำมันดีเซลที่ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่สัดส่วนต่างๆ.....	24
รูปที่ 3.7 ลักษณะของน้ำมันทดสอบชนิดต่างๆ.....	24
รูปที่ 3.8 เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure.....	25
รูปที่ 3.9 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น.....	25
รูปที่ 3.10 การตกตะกอนของน้ำมันไบโอดีเซล.....	26
รูปที่ 3.11 การประกอบหลอดแก้วรูเล็กกับขायึดและตั้งค่าอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ.....	27
รูปที่ 3.12 ตำแหน่งการจับเวลาสำหรับวัดความหนืด.....	27
รูปที่ 3.13 การจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบอกตวง.....	28
รูปที่ 3.14 ชุดทดสอบค่าอุณหภูมิของการกลั่น.....	30
รูปที่ 3.15 เครื่องมือ Bomb Calorimeter รุ่น Bomb C5000.....	30
รูปที่ 3.16 เครื่องมือ Gas Chromatography (GC) รุ่น Agilent 7890A.....	37
รูปที่ 3.17 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบเครื่องยนต์.....	39
รูปที่ 3.18 เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ ยี่ห้อ KAWAMA รุ่น KWM500D.....	42
รูปที่ 3.19 การติดตั้งเพลลาเครื่องยนต์ดีเซลและไดนาโมมิเตอร์.....	42
รูปที่ 3.20 โหลดเซลล์ (Load Cell) สำหรับวัดค่าแรงบิด.....	43
รูปที่ 3.21 การติดตั้งเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำกับไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ.....	43
รูปที่ 3.22 เครื่องมือวัดมลพิษไอเสีย.....	44
รูปที่ 4.1 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น.....	47
รูปที่ 4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆ ในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100).....	49
รูปที่ 4.3 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่าน กระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100).....	50
รูปที่ 4.4 ค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	53

รูปที่ 4.5 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	54
รูปที่ 4.6 อุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	55
รูปที่ 4.7 ค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	55
รูปที่ 4.8 ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	56
รูปที่ 4.9 การปล่อยมลพิษของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	58
รูปที่ 4.10 การปล่อยมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide).....	59
รูปที่ 4.11 การปล่อยมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide).....	60
รูปที่ 4.12 การปล่อยมลพิษคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide).....	60
รูปที่ 4.13 การปล่อยมลพิษไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon).....	61
รูปที่ 4.14 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	63



บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศ นำมาซึ่งปัญหาด้านความมั่นคง เศรษฐกิจ และพลังงานของประเทศ ความต้องการใช้พลังงานนี้ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลักซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่หมดไปได้ในอนาคต ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องมีการส่งเสริมให้มีการผลิต และใช้พลังงานหมุนเวียนหรือเรียกว่าพลังงานทางเลือกที่สามารถใช้ทดแทนแหล่งพลังงานจากฟอสซิลได้ เนื่องมาจากการที่ราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องประกอบกับปัญหาของสิ่งแวดล้อมเช่น สภาวะโลกร้อนที่เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่เกินขอบเขต งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกเป็นความพยายามที่จะหาแหล่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์โดยมีการดัดแปลงเครื่องยนต์น้อยที่สุด การทำวิจัยเกี่ยวกับเชื้อเพลิงทางเลือกเพื่อทดแทนแทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ เช่น น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันไขมันสัตว์ และน้ำมันพืชใช้งานแล้ว เป็นต้น ขณะเดียวกันการวิจัยและพัฒนาเอทานอล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่พัฒนาขึ้นสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยมีพืชจำพวกแป้ง (ข้าวโพด มันสำปะหลัง) เป็นวัตถุดิบ หรือพืชจำพวกน้ำตาล (อ้อย ข้าวฟ่างหวาน) เป็นต้น โดยทั้งหมดเป็นโครงการวิจัยที่มุ่งเน้นการนำเอาชีวมวลมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดการนำเข้า ลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศ ยังเป็นการสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศและลดปัญหาสภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย ข้อมูลจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์เปิดเผยถึงพื้นที่และการให้ผลผลิตปาล์มของประเทศไทยขณะนี้ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยตลอด โดยในปี พ.ศ.2558 มีพื้นที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน 4,400,589 ไร่ เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2557 ที่จำนวน 4,148,168 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 6.09 ในปี พ.ศ.2558 ผลผลิตมีจำนวน 12,205,776 ตัน ลดลงจากปี พ.ศ.2557 ที่จำนวน 12,503,447 ตัน ลดลงร้อยละ 2.38 เนื่องจากอิทธิพลภัยแล้งอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556/2557 และ พ.ศ.2558 เมื่อคำนวณอยู่ในรูปน้ำมันปาล์มดิบปี พ.ศ.2558 ไทยจะมีน้ำมันปาล์มดิบออกสู่ตลาดโลกประมาณ 2,074,982 ตัน อัตราน้ำมันร้อยละ 17 เมื่อบวกกับสต็อกต้นปี 168,000 ตัน คาดว่าทั้งปีจะมีน้ำมันปาล์มดิบทั้งหมด 2,242,982 ตันในขณะที่ความต้องการใช้น้ำมันปาล์มดิบในปี พ.ศ.2558 คาดว่ามีประมาณ 1,854,000 ตัน โดยแบ่งเป็นความต้องการใช้เพื่อการบริโภค อุปโภค 929,000 ตัน เพื่อผลิตไบโอดีเซล 854,000 ตัน และเพื่อการส่งออก 71,000 ตัน หากความต้องการใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นเช่นนี้ คาดว่าปลายปี พ.ศ.2558 จะมีสต็อกประมาณ 388,982 ตัน ต้นทุนการผลิตปาล์มสดอยู่ที่ 3.38 บาทต่อกิโลกรัม จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยได้มีแนวทางการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ ZINC OXIDE NANOCRYSTALS สำหรับใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ โดยทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มผสมกับ ZINC OXIDE NANOCRYSTALS ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มมีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาและเป็นการเสริมสร้างศักยภาพของการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเผยแพร่ความรู้สู่ภาคอุตสาหกรรม และชุมชนได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติและศึกษาคูณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบให้สามารถใช้งานกับเครื่องยนต์รอบต่ำได้
2. เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงแล้วที่มีต่อชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องยนต์
3. เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณสมบัติไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ

ขอบเขตของการวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์ผลึกซิงค์ออกไซด์ระดับนาโนในห้องปฏิบัติการ
2. ใช้เครื่องยนต์รอบต่ำจำนวน 1 สูบ นำมาทดสอบ
3. ทำการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมัน คือ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด ความร้อนเชื้อเพลิง ดัชนีซีเทน
4. ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในห้องปฏิบัติการ คือ วัดมลพิษไอเสีย และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ผลประโยชน์ด้านชุมชน
 - 1.1 ประชาชนมีโอกาสปลูกพืชใช้น้ำมันปาล์มทดแทนพืชไร่อื่นที่มีมูลค่าต่ำกว่า
 - 1.2 ประชาชนสามารถใช้น้ำมันปาล์มดิบที่มีคุณภาพราคาถูกกว่าน้ำมันดีเซล
2. ผลประโยชน์ด้านเทคโนโลยี
 - 2.1 สร้างองค์ความรู้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำได้ดีในระยะยาว
 - 2.2 ได้นวัตกรรมส่วนผสมและการปรับปรุงน้ำมันปาล์มดิบในการใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ และเป็นองค์ความรู้ที่สามารถเผยแพร่ในวารสารวิชาการ
3. ผลประโยชน์ด้านอุตสาหกรรม
 - 3.1 กระตุ้นให้อุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มดิบที่มีการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์ และอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มที่เกี่ยวข้องเกิดการขยายตัวมากยิ่งขึ้นภายในประเทศ
 - 3.2 เกิดการกระตุ้นการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่มีการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์ ในภาคอุตสาหกรรม เพื่อลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ
4. ผลประโยชน์ด้านอนุรักษ์พลังงาน
 - 4.1 ทำให้เกิดการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่มีการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์มากขึ้น เกิดความมั่นคงทางด้านพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น
 - 4.2 ลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลที่นำเข้าจากต่างประเทศ
5. ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม
 - 5.1 สนับสนุนการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่มีการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์ ในเครื่องยนต์ดีเซล ลดปริมาณการปล่อยมลพิษ
 - 5.2 ลดปัญหาความขัดแย้งทางสังคมในการต่อต้านโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วยวัตถุดิบที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลคือ ปาล์มน้ำมัน กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Trans-esterification) ประเภทของสารเติมแต่งที่ใช้กันโดยทั่วไป โดยลงรายละเอียดไปที่สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ การวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) รวมถึงทฤษฎีของการปล่อยมลพิษไอเสียจากเครื่องยนต์สันดาปภายในโดย การจุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล โดยรายละเอียดต่างๆ มีดังต่อไปนี้

2.1 ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm)

ปาล์มน้ำมันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ “*Elaxis quineensis*” อยู่ในวงศ์ Areacaceae หรือ Palmae พืชยืนต้น เติบโตได้ดีในป่าฝนเขตร้อนชื้น มีลักษณะคล้ายมะพร้าว รากเกิดใต้ผิวดิน ใบแตกเป็นเกลียว ปาล์มหนึ่งต้นมีใบติดประมาณ 40 ใบ ผลปาล์มออกรวมกันเป็นกลุ่มเรียกว่า “ทะลาย” ทะลายปาล์มหนึ่งทะลายมีน้ำหนัก 10-90 กิโลกรัม ผลปาล์มมีลักษณะคล้ายลูกมะพร้าวแต่เล็กกว่ามาก เมื่อสุกเต็มที่มีสีแดงจัดหรือสีส้ม น้ำมันที่สกัดได้จากผลปาล์มนั้นจะอยู่มี 2 ชนิดคือ น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) มีลักษณะเป็นของเหลวปนของแข็งที่อุณหภูมิห้อง สีส้มเข้ม พบในเปลือกนอกของผลปาล์ม มีกรดไขมันชนิดกรดปาล์มิติก



รูปที่ 2.1 ปาล์มน้ำมัน ก) ต้นปาล์มน้ำมัน ข) ทะลายปาล์มน้ำมัน

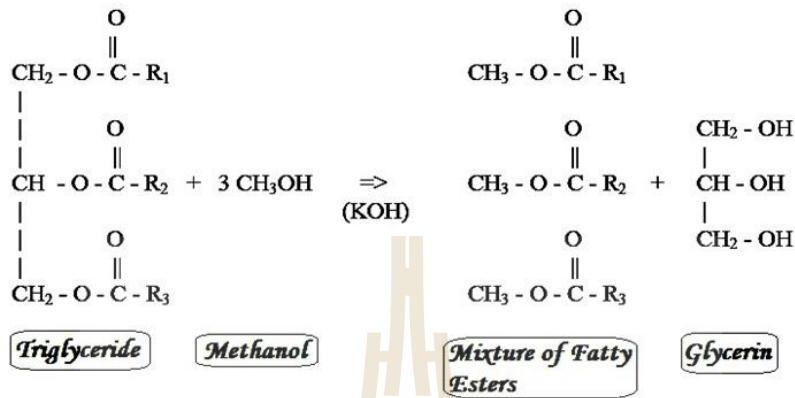
(Palmitic Acid) และกรดโอเลอิก (Oleic Acid) เป็นองค์ประกอบสำคัญ นิยมนำมาผ่านกรรมวิธีเพื่อใช้เป็นน้ำมันปรุงอาหารและเป็นวัตถุดิบในการผลิตเนยเทียม ครีมเทียม และสบู่ และน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (Crude Palm Kernel Oil) มีลักษณะใส ไม่มีสี ได้จากเมล็ดในของผลปาล์ม มีกรดไขมันชนิดกรดลอริก (Lauric Acid) เป็นองค์ประกอบหลัก ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและสารซักล้าง ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่ให้ปริมาณน้ำมันสูง 0.6-0.8 ตันต่อไร่ต่อปี

2.2 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบ

ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Trans-esterification) คือ ปฏิกิริยาผลิตเอสเทอร์จากสารตั้งต้น ประเภท แอลกอฮอล์ และไตรกลีเซอไรด์หรือไดกลีเซอไรด์หรือโมนอกลิเซอไรด์ โดยปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งระบบที่มีสารเร่งปฏิกิริยา และไม่มีสารเร่งปฏิกิริยา (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2579; Caye et al., 2008) ดังรูปที่ 2.2 ไตรกลีเซอไรด์ (Tri-glyceride) คือกรดไขมันอิสระสามโมเลกุลรวมตัวกัน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่จะใช้ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (Methanol) โดยมีด่าง (Potassium Hydroxide, KOH)

เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา และผลผลิตที่ได้หลังจากการทำปฏิกิริยา คือ เอสเทอร์ (Ester) หรือน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรอล (Glycerol)

วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน และคณะ (2549) ได้ศึกษาอิทธิพลสองชนิดและปริมาณสารเร่ง ปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตรา 1.0, 1.2 และ 1.4% โดยน้ำหนัก ความเร็วในการทำปฏิกิริยา 3 ระดับ คือ 350, 400 และ 450 รอบ/นาที การทำปฏิกิริยาครั้งนี้ใช้เมทานอล 20% โดย



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชัน

น้ำหนักที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที ปรากฏว่าการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ อัตรา 1.0% โดยน้ำหนักที่ความเร็ว 350 รอบ/นาที ให้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด 89.47% และ 90.67% โดยมีค่าความบริสุทธิ์ 98.97% และ 96.16% ตามลำดับ และจากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลต่างประเทศและมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน

Alamu O. J et al (2008) ได้ศึกษากระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบหรือการทำน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชัน ซึ่งผลที่ได้พบว่า การใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชันในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดิบจากการใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเมทานอลเป็นสารตั้งต้น โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการ ทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชัน ซึ่งใช้ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.5%, 0.75%, 1%, 1.25, 1.5%, และ 2% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ และมีการควบคุมปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่ 100 กรัม เมทานอล 20 กรัมคงที่ รวมไปถึงการควบคุมเวลาในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชัน 120 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสคงที่เช่นเดียวกันพบว่า ที่เงื่อนไขในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบเดียวกัน ในกรณีที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ จะทำให้ได้ผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบมากที่สุดที่ 95.80% และยังพบว่า คุณสมบัติของน้ำมันปาล์มที่ทดสอบภายใต้การทดสอบตามมาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) หลังปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชันมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ทั้งค่าความถ่วงจำเพาะ ความหนืด จุดไหลเท และจุดขุ่น

Jawad, N. et al (2008) ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มด้วยกระบวนการ ทรานส์เอสเทอร์ิเฟเคชัน ซึ่งผลผลิตที่ได้คือเอสเทอร์จากปาล์มหรือน้ำมันไบโอดีเซล และกลีเซอริน คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มที่ผลิตได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม รวมถึงการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลแบบหัวฉีด จากการศึกษาพบว่าด้านคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มมีคุณสมบัติดีกว่าน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม ด้านสมรรถนะและการปล่อยมลพิษ

น้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มมีผลให้เครื่องยนต์มีแรงบิดลดลงและประสิทธิภาพทางความร้อนลดลง ทั้งนี้ปริมาณการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มก็เป็นอีกหนึ่งพลังงานทางเลือกในอนาคตที่จะมีความต้องการใช้อย่างแพร่หลาย

Zlatica J. Predojevic (2008) ได้ศึกษาขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันจากน้ำมันพืชจากดอกทานตะวันที่ใช้แล้ว โดยใช้เมทานอลและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยา คุณสมบัติและร้อยละการเกิดไบโอดีเซลจะถูกเปรียบเทียบจาก 3 เงื่อนไขที่แตกต่างกันจากการใช้ซิลิกาเจล กรดฟอสเฟอริก 5% และน้ำกลั่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในการล้างน้ำมันไบโอดีเซล (ทำให้น้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์) หลังจากผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันแล้ว น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตแล้วจากกรณีต่างๆ จะถูกนำมาทดสอบความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด ค่าไอโอดีน ปริมาณกรดไขมันและค่าความบริสุทธิ์ ร้อยละการเกิดน้ำมันไบโอดีเซลจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดและความหนืดของวัตถุดิบ ผลการศึกษาพบว่าการล้างน้ำมันไบโอดีเซล (ทำให้น้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์) ด้วยซิลิกาเจลและกรดฟอสเฟอริกมีค่าร้อยละการเกิดน้ำมันไบโอดีเซลสูงที่สุด (ประมาณร้อยละ 92) ขณะที่น้ำกลั่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าน้อยที่สุด (ประมาณร้อยละ 89) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ซิลิกาเจลและกรดฟอสเฟอริกให้ผลที่ดีกว่าน้ำกลั่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในการล้างน้ำมันไบโอดีเซล (ทำให้น้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์) หลังจากผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันแล้ว

2.3 ประเภทของสารเติมแต่ง

2.3.1 สารเติมแต่งเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ได้แก่ สารเพิ่มค่าซีเทน สารเติมแต่งประเภทชะล้างทำความสะอาด และสารเพิ่มคุณสมบัติการหล่อลื่น ซึ่งประโยชน์ที่ได้รับจากการเติมสารเติมแต่งจะแสดงผลในหัวระยะเวลาที่แตกต่างกัน

2.3.2 สารเติมแต่งเพื่อช่วยในการจัดเก็บหรือการขนส่ง เช่น สารลดการเกิดฟอง ซึ่งช่วยไม่ให้น้ำมันหกเลอะเวลาเติมน้ำมันลงรถ สารลดจุดไหลเท โดยช่วยให้น้ำมันไม่แข็งตัวในสภาพอากาศเย็น และสารเพิ่มการนำไฟฟ้า ซึ่งช่วยถ่ายเทประจุและป้องกันอันตรายจากระเบิดหรือเกิดเพลิงไหม้ขณะมีการเคลื่อนย้ายถ่ายเทน้ำมัน

2.3.3 สารเติมแต่งเพื่อช่วยเพิ่มความเสถียรหรือความคงตัวของน้ำมัน เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยให้น้ำมันคงตัวไม่เสื่อมสภาพไประหว่างการเก็บรักษา ตัวอย่างเช่น สารต้านหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นกระบวนการรวมตัวของออกซิเจนกับน้ำมันเกิดเป็นคราบ ยางเหนียวเกาะตามหัวฉีดระบบเชื้อเพลิง หรือไส้กรองเชื้อเพลิง

2.3.4 สารเติมแต่งเพื่อช่วยควบคุมปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันระหว่างการเก็บรักษาหรือขนส่ง เช่น สารควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเชื้อรา ซึ่งจุลินทรีย์หรือเชื้อรา จะสามารถเจริญเติบโตได้ในชั้นน้ำอิสระที่แยกตัวออกจากน้ำมัน สำหรับประเทศไทยกรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ซึ่งครอบคลุมถึงปริมาณน้ำในน้ำมัน ดังนั้นที่ต้นทางผู้ผลิตน้ำมันก็ต้องผลิตน้ำมันที่มีน้ำไม่เกินค่ามาตรฐาน ส่วนที่ปลายทางผู้ค้าน้ำมันและสถานบริการก็มีหน้าที่ในการดำเนินการมาตรการต่างๆ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปปนเปื้อนในน้ำมันระหว่างการขนส่งหรือเก็บรักษา เพื่อให้้ำมันมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา อาทิเช่น

ธัญญธร อิศราชีวะ (2548) ได้ศึกษาผลกระทบของสาร Oxygenated Additive ในลักษณะทางอิมัลชันของการผสมน้ำมันดีเซลและเอทานอลที่ความบริสุทธิ์ 95%, 99.5% และ 99.9% ที่อุณหภูมิห้องพบว่า การใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5% เหมาะสมในการนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลมากที่สุดทั้งในด้านราคา

และการไม่ก่อให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันระหว่างการผสม ในกรณีที่ใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95% จะก่อให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมัน เป็นผลทำให้เครื่องยนต์เกิดการน็อคและชิ้นส่วนเกิดสนิมได้ การผสมสารออกซิเจนเนตในน้ำมันดีเซลทำให้คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันดีเซลเปลี่ยนไปคือการเติมเอทานอลลงไปในตัวดีเซลส่งผลให้ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันลดลง ในทางกลับกันการเติมเอทิลอะซิเตทลงไปทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ความหนาแน่นของดีโซฮอลล์ในทุกอัตราส่วนการผสมที่ใช้ทดสอบยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซลทั่วไป การเติมเอทานอล และเอทิลอะซิเตทลงไปทำให้ค่าดัชนีซีเทนของดีโซฮอลล์ลดลง ซึ่งส่วนผสมที่ดีเซล 90% เอทิลอะซิเตท 5% และเอทานอล 5% จะมีค่าดัชนีซีเทนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ส่วนค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำมันดีเซลปกติมากนัก เมื่อพิจารณาผลจากการเติมสารจำพวกออกซิเจนเนตลงไปจะมีผลทำให้ปริมาณมลพิษในไอเสียลดลง โดยเฉพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด

การรณ พงศ์สุวรรณรักษ์ (2556) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของการใช้สารเติมแต่งในกลุ่มไบโอโซลูชัน และกลุ่มโลหะผสมกับน้ำมันดีเซล (D) และน้ำมันไบโอดีเซล (B5) ที่มีผลต่อคุณสมบัติ สมรรถนะ และการปล่อยมลพิษในเครื่องยนต์ โดยกลุ่มไบโอโซลูชันที่ศึกษา ได้แก่พอลิเมอร์ และสารสกัดจากธรรมชาติ กลุ่มโลหะ ได้แก่ นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยทำการวัดคุณสมบัติภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) และได้ทำการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ด้วยวิธีแชสซีสไดนาโมมิเตอร์ (Chassis Dynamometer) กับแบบจำลองการขับเคลื่อนถนน จากผลการทดสอบพบว่า การใช้สารเติมแต่งชนิดนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงให้กำลังเครื่องยนต์ดีกว่าการใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลปาล์ม (B5) อยู่ที่ 8.43% และ 1.36% ตามลำดับ และให้แรงบิดเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้นเป็น 1.01% และ 1.53% อยู่ในช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ถึง 3,000 รอบต่อนาที ในส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้ 13.58% และ 10.01% จากการใช้สารเติมแต่งนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และสารสกัดจากธรรมชาติผสมน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลปาล์ม (B5) ผลการทดสอบการปล่อยมลพิษ NO_x, CO และ CO₂ ลดลงจากการใช้สารเติมแต่งชนิดนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และสารสกัดจากธรรมชาติผสมน้ำมันดีเซล

สำหรับงานวิจัยนี้สารเติมแต่งในน้ำมันดีเซลที่ใช้คือ นาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) ซึ่งซิงค์ออกไซด์เป็นวัสดุในกลุ่มโลหะออกไซด์ที่มีการนำมาใช้งานในรูปแบบของวัสดุนาโน ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO)

Product Name	ZoNoP (Zinc Oxide Nano Particles)	
Molecular Formula	ZnO	-
Molecular Weight	81.39	g/mole
Appearance	White Powder	-
Crystal Phase	Zincite (Hexagonal)	-
Purity	99.5+	%
Average Particles Size	20-40	nm
Specific Surface Area	26.22	m ² /g
Bulk Density	0.14	g/cc
True Density	5.6	g/cc
P.H.	7-8	-
Boiling Point	-	C
Melting Point	1975	C

นาโนซิงค์ออกไซด์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับอนุภาคนาโนเมตร มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กระดับนาโนเมตร (10-9 นาโนเมตร) มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาว และไม่เปลี่ยนสี สามารถป้องกันรังสี UV-A แล UV-B ด้านทานแบคทีเรีย (Anti-Bacteria) สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ และมีคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา อาทิเช่น

Karthikeyan S. (2014) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าการผสมสารเติมแตงนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) กับน้ำมันไบโอดีเซลจากไขมัน Pomolion ในสัดส่วนน้ำมันไบโอดีเซล 20% กับน้ำมันดีเซล 80% (B20) ที่มีผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ระบายความร้อนด้วยอากาศ และเป็นเครื่องยนต์ดีเซลแบบหัวฉีด โดยผสมนาโนซิงค์ออกไซด์กับน้ำมันไบโอดีเซล ได้แก่ นาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 50 ppm และ 100 ppm ตามลำดับ ด้วยเครื่องเขย่าอัลตราโซนิคส์ ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของนาโนซิงค์ออกไซด์มีขนาดไม่เกิน 100 นาโนเมตร ในด้านการทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงพบว่า จุดวาบไฟ ความหนืด เลขซีเทน จุดชุน และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงของน้ำมันทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ไบโอดีเซล B20 ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 50 ppm และ 100 ppm มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน สำหรับสมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 1,500 รอบต่อนาที พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมัน B20 ผสมนาโนซิงค์ ออกไซด์ 100 ppm มีค่าน้อยที่สุด ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่ามากที่สุด และอุณหภูมิของไอเสีย มีค่ามากที่สุด และในด้านมลพิษ การปล่อย CO HC และ NO_x เครื่องยนต์ดีเซลมีปริมาณลดลง ขณะที่ปริมาณควันที่ปล่อยออกมาหลังจากการเผาไหม้มีปริมาณเท่ากันทั้งสามตัวอย่างน้ำมัน สรุปได้ว่า นาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลมีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลในทิศทางที่ดีขึ้น รวมทั้งยังสามารถลดมลพิษที่ปล่อยออกมาหลังจากการเผาไหม้ได้อีกด้วย

2.4 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

2.4.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, SG)

ความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นของสารหนึ่งต่อความหนาแน่นของสารมาตรฐานที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน เป็นปริมาณที่ไร้มิติ (Dimensionless) พร้อมระบุอุณหภูมิที่ทดสอบ

สำหรับของเหลวสารมาตรฐานคือ น้ำ สารที่มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า 1 จะจมน้ำ สารที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า 1 ลอยน้ำได้ ซึ่งเป็นข้อกำหนดสมบัติของแก๊สและน้ำมันเชื้อเพลิง โดยมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมี และพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ ความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลกำหนดในช่วง 0.86-0.90 ที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส ตามวิธีการทดสอบ ASTM D1298

$$SG = \frac{\rho_{\text{substance}}}{\rho_{H_2O}} \quad (2.1)$$

โดยที่ $\rho_{\text{substance}}$ คือ ความหนาแน่นของสาร (kg/m^3)

ρ_{H_2O} คือ ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 15.6 °C (kg/m^3)

จากค่าที่อ่านได้ในข้อปฏิบัติข้างต้นนั้น สามารถนำมาคำนวณเป็นมาตราความถ่วงเอพีไอ (API Gravity) โดยเทียบเท่าความถ่วงจำเพาะ โดยมาตราความถ่วงเอพีไอถูกจัดตั้งขึ้นโดยสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา (America Petroleum Institute, API) ซึ่งหน่วยความถ่วงเอพีไอมี ความละเอียดกว่าความถ่วงจำเพาะและไม่ต้องอ่านตัวเลขหลังจุดทศนิยมหลายตำแหน่ง สามารถคำนวณหาค่าได้ดังสมการที่ 2.2

$$\text{ความถ่วงเอพีไอ (API Gravity)} = \frac{141.5}{\text{ความถ่วงจำเพาะ } 15.6 / 15.6 \text{ } ^\circ\text{C}} - 131.5 \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.4 การวัดค่าความถ่วงจำเพาะด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)

2.4.2 ความหนืดคินแมติกหรือความหนืดเชิงจลศาสตร์ (Kinematic Viscosity)

ความหนืดคินแมติก คือ ความต้านทานต่อการไหลของของเหลวที่วัดภายใต้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิมาตรฐาน เป็นอัตราส่วนของความหนืดไดนามิกส์ (Dynamic Viscosity) ต่อความหนาแน่นของของเหลว หน่วยเป็นตารางเซนติเมตรต่อวินาที (cm^2/s) หรือสโตก (Stoke) มีผลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดจากหัวฉีด น้ำมันที่มีความหนืดคินแมติกสูงจะฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นฝอยไม่ดีและได้ละอองน้ำมันขนาดใหญ่ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความหนืดคินแมติกต่ำเกินไปละอองน้ำมันละเอียดมาก

แต่ไม่พุ่งไปไกลเท่าที่ควร ซึ่งมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลได้กำหนดความหนืดคิเนแมติกในช่วง 3.2-5.0 เซนติสโตก (cSt) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตามวิธีการทดสอบ ASTM D445



รูปที่ 2.5 เครื่องมือ Viscosity-Kinematic Capillary Tempering Bath High Temperature

2.4.3 การกลั่น (Distillation)

การวัดการกลั่นนั้นจะวัดภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials แต่จะเป็นมาตรฐานของการวัดการกลั่นคือ ASTM D86 ซึ่งเป็นการวัดอุณหภูมิของการกลั่นของน้ำมันตัวอย่างที่ 50% ของปริมาณน้ำมันตัวอย่าง โดยใช้น้ำมันตัวอย่างในการทดสอบที่ 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่น้ำมันตัวอย่างเริ่มกลั่นตัว ในการทดสอบจะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบคือ อัตราการไหลของน้ำมันที่กลั่นออกมาได้ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 4-5 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันนั้น จะส่งผลต่างๆ ต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้แก่

- 1) การกลั่นเริ่มต้น (Initial Boiling Point, IBP) และจุดเดือด 10% (10% Evaporated) เป็นส่วนเบาเรียกว่า “Front End” ที่ระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำเพื่อช่วยให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่ายในเวลาเช้าซึ่งมีอากาศเย็น
- 2) การกลั่น 50% เป็นส่วนกลางเรียกว่า “Mid Fill” หรือ “Mid-Range” เป็นส่วนที่ระเหยได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อให้เครื่องยนต์ร้อนขึ้น (Warm Up) ได้เร็ว มีการกระจายตัวของน้ำมันไปยังสูบต่างๆ ได้สม่ำเสมอช่วยให้แรงเครื่องได้เรียบ
- 3) การกลั่น 90% เป็นส่วนหนักเรียกว่า “Back End” เป็นส่วนที่ให้พลังงานกับเครื่องยนต์และการประหยัดเชื้อเพลิง ถ้าส่วนนี้มีอุณหภูมิสูงมากเกินไปน้ำมันจะระเหยไม่หมดและไหลผ่านแหวนลูกสูบลงไปที่น้ำมันเครื่องเจือจางลง (Crankcase Dilution) และเสื่อมคุณภาพเร็ว

4) การกลั่นสุดท้าย (Final Boiling Point, FBP) ส่วนนี้แสดงว่ามีส่วนหนักมากอยู่เล็กน้อยแค่ไหน ถ้าจุดเดือดสุดท้ายและจุดเดือด 90% แตกต่างกันเกิน 30 °C อาจเกิดปัญหาด้านความสะอาดในห้องเผาไหม้และร่องแหวนลูกสูบได้



รูปที่ 2.6 เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure

2.4.4 ดัชนีซีเทน (Cetane Index)

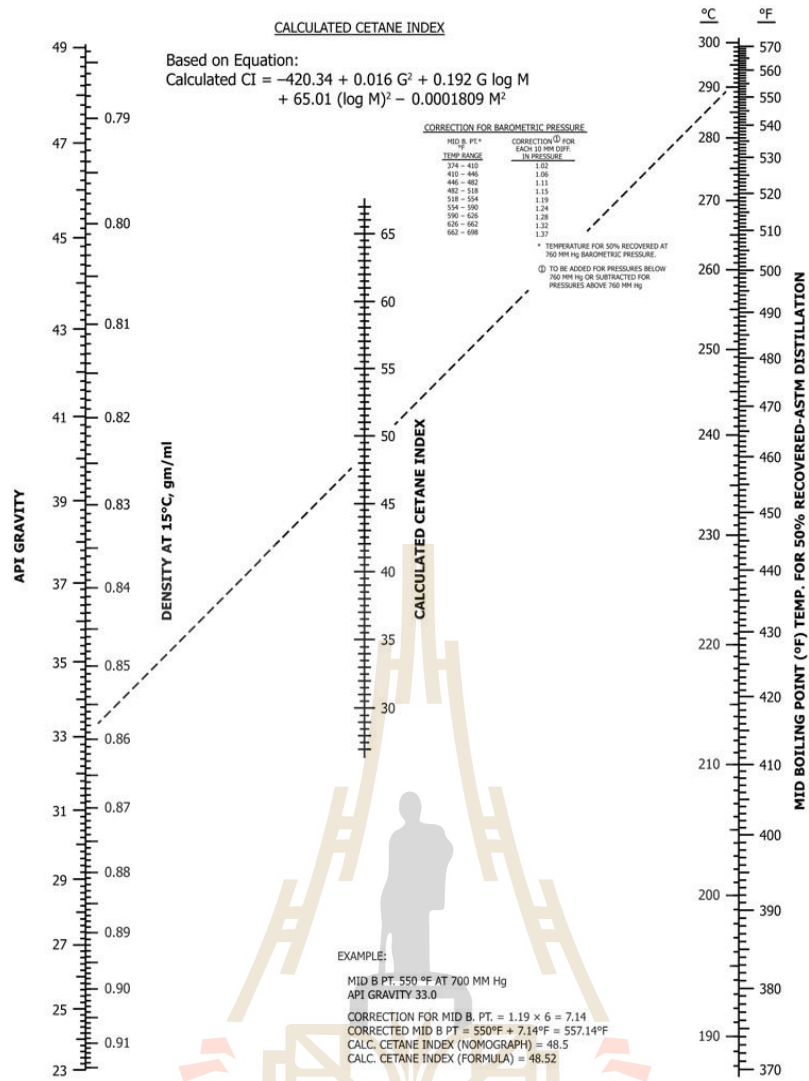
ดัชนีซีเทน คือ ค่าที่บ่งบอกคุณภาพการจุดติดไฟ (Ignition Quality) หรือการหน่วงติดไฟ (Ignition Delay) ของน้ำมันดีเซล เมื่อฉีดน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้จนเกิดติดไฟได้เอง น้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูงมีองค์ประกอบพาราฟินโซ่ตรงมากปริมาณสารแอโรแมติกต่ำ จุดติดไฟเร็ว เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่าย เครื่องยนต์เดินเรียบ ไอเสียไม่เกิดควันขาว คำนวณได้จากความถ่วงจำเพาะ API และจุดเดือดค่ากลาง (Mid-Boiling Point) ของน้ำมันตามวิธีมาตรฐาน ASTM D976 หรือ D4737 น้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่กำหนดในท้องตลาดต้องมีดัชนีซีเทนไม่ต่ำกว่า 47 มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลกำหนดดัชนีซีเทนไม่ต่ำกว่า 51 โดยดัชนีซีเทนได้มาจากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 โดยปริมาตร หรือจุดกึ่งกลางของการเดือด (Mid Boiling Point) และความหนาแน่นหรือความถ่วงเอพียไอที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าดัชนีซีเทนสามารถหาได้จากโนโมกราฟ ดังรูปที่ 2.7 หรือคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

$$CCI = -420.34 + 0.016G^2 + 0.192G \log M + 65.01(\log M)^2 - 0.0001809M^2 \quad (2.3)$$

โดย CCI คือ ดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index)

G คือ ความถ่วงเอพียไอ (API Gravity)

M คือ อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของการเดือดที่ร้อยละ 50 โดยปริมาตร มีหน่วยเป็น °F



รูปที่ 2.7 โนโมกราฟ (Nomograph) สำหรับการหาค่าดัชนีซีเทน

2.4.5 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value)

ค่าความร้อนเชื้อเพลิง หมายถึงปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้นๆ 1 หน่วยมวล (สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและของเหลว) หรือ 1 หน่วยปริมาตร (สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ) เมื่อเผาไหม้หมดอย่างสมบูรณ์ สำหรับการเปรียบเทียบว่าเชื้อเพลิงชนิดใดจะให้พลังงานความร้อนได้มากกว่ากันสามารถทำได้โดยนำน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมาต้มน้ำในปริมาตรเท่ากัน ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากัน เชื้อเพลิงชนิดใดใช้หมดไปน้อยที่สุด เชื้อเพลิงนั้นจะมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงมากคือเป็นเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานความร้อนได้ดี ในการเลือกใช้ประเภทของเชื้อเพลิง นอกจากจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการให้พลังงานความร้อนสูงแล้ว ยังต้องพิจารณาความเหมาะสมอื่นๆอีก เช่น ราคาเชื้อเพลิง ความปลอดภัยในการใช้ ปริมาณการผลิต ปริมาณเชื้อเพลิงที่มีในธรรมชาติ ตลอดจนประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้กับเชื้อเพลิงนั้นๆ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว อุปกรณ์หรือเครื่องยนต์ต่างๆ จะมีประสิทธิภาพในการทำงานไม่ครบ 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีพลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียไปโดยไม่เกิดประโยชน์เสมอ เช่น สูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อม และบางส่วนสูญเสียไปเพื่อเอาชนะความฝืดของเครื่องยนต์ เพื่อให้ได้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ถูกต้องเชื่อถือได้ จะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “บอมบ์

แคลอรีมิเตอร์” (Bomb Calorimeter) ซึ่งเครื่องมือนี้จะป้องกันไม่ให้ปริมาณความร้อนบางส่วนต้องสูญเสียไปกับสิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐาน ASTM D240



รูปที่ 2.8 เครื่องมือ Bomb Calorimeter รุ่น Bomb C5000

2.4.6 ความบริสุทธิ์ (Purity)

การทดสอบความบริสุทธิ์ของน้ำมันจะใช้เครื่องมือเรียกว่า “โครมาโทกราฟี” (Chromatography) ดังรูปที่ 2.9 ในการทดสอบตามมาตรฐาน EN 14103 โครมาโทกราฟีอาศัยสมบัติ 2 ประการคือ สารต่างชนิดกันมีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายได้ต่างกัน และสารต่างชนิดกันมีความสามารถในการถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับได้ต่างกัน โครมาโทกราฟี (Chromatography) เป็นการแยกสารผสมที่มีสี หรือสารที่สามารถทำให้เกิดสีได้ วิธีการนี้จะมีเฟส 2 เฟส คือ เฟสอยู่กับที่ (Stationary Phase) กับเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) โดยที่สารในเฟสอยู่กับที่จะทำหน้าที่ดูดซับ (Adsorb) สารผสมด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์ สารที่ใช้ทำเฟสอยู่กับที่จึงมีลักษณะเป็นผงละเอียดมีพื้นที่ผิวมากเช่นอลูมินา (Alumina, Al_2O_3) ซิลิกาเจล (Silica Gel, SiO_2) หรืออาจใช้วัสดุที่สามารถดูดซับได้ดี เช่น ซอล์ก กระดาษ เป็นต้น



รูปที่ 2.9 เครื่องมือโครมาโทกราฟี (Chromatography)

ซึ่งสารที่ทำหน้าที่ดูดซับในเฟสอยู่กับที่ เช่น น้ำ ส่วนเฟสเคลื่อนที่จะทำหน้าที่ชะ (Elute) เอาสารผสมออกจากเฟสอยู่กับที่ให้เคลื่อนที่ไปด้วย การจะเคลื่อนที่ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างสารในสารผสมกับตัวดูดซับในเฟสอยู่กับที่ ดังนั้นสารที่ใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่จึงได้แก่ พวกตัวทำละลาย เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ เอ็กเซน คลอโรฟอร์ม เบนซีน ฯลฯ การทำ โครมาโทกราฟีสามารถทำได้หลายวิธีจะแตกต่างกันที่เฟสอยู่กับที่ว่า อยู่ในลักษณะใด เช่น

1) โครมาโทกราฟีแบบคอลัมน์ (Column Chromatography) ทำได้โดยการบรรจุสารที่เป็นเฟสอยู่กับที่ เช่น อลูมินาหรือซิลิกาเจลไว้ในคอลัมน์ แล้วเทสารผสมที่เป็นสารละลายของเหลวลงสู่คอลัมน์ สารผสมจะผ่านคอลัมน์ช้าๆ โดยตัวทำละลายซึ่งเป็นเฟสเคลื่อนที่เป็นผู้พาไป สารในเฟสอยู่กับที่ที่จะดูดซับสารในสารผสมไว้ส่วนประกอบใดของสารผสมที่ถูกดูดซับได้ก็จะเคลื่อนที่ช้า ส่วนที่ถูกดูดซับไม่ติดจะเคลื่อนที่ได้เร็ว ทำให้สารผสมแยกจากกันได้

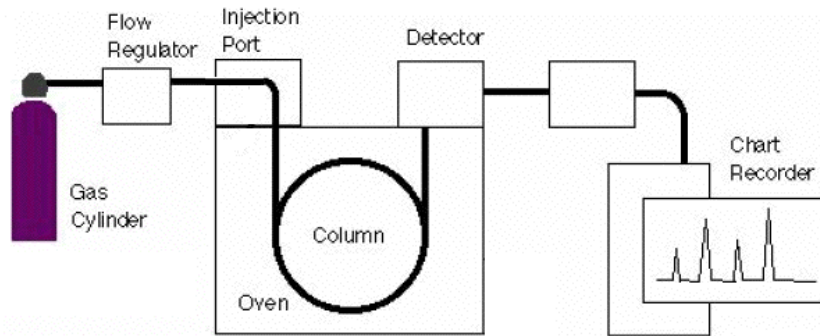
2) โครมาโทกราฟีแบบชั้นบาง (Thin Layer Chromatography) เป็นโครมาโทกราฟีแบบระนาบ (Plane Chromatography) โดยทำเฟสอยู่กับที่ให้มีลักษณะเป็นครีမ်ชั้น แล้วเคลือบบนแผ่นกระจกให้ความหนาของการเคลือบเท่ากันตลอดแล้วนำไปอบให้แห้ง หยดสารละลายของสารผสมที่ต้องการแยกบนแผ่นที่เคลือบเฟสอยู่กับที่นี้ไว้ แล้วนำไปจุ่มในภาชนะที่บรรจุตัวทำละลายที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ไว้ โดยให้ระดับของตัวทำละลายต้องอยู่ต่ำกว่าระดับของจุดที่หยดสารผสมไว้ ตัวทำละลายจะซึมไปตามเฟสอยู่กับที่ด้วยการซึมตามรูเล็กเหมือนกับน้ำที่ซึมไปในกระดาษหรือผ้า เมื่อซึมถึงจุดที่หยดสารผสมไว้ ตัวทำละลายจะชะเอาองค์ประกอบในสารผสมนั้นไปด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพมีขั้ว (Polarity) ของสารที่เป็นองค์ประกอบกับสารที่เป็นตัวทำละลาย ถ้าตัวทำละลายเป็นโมเลกุลมีขั้ว (Polar Molecules) จะชะเอาสารในสารผสมที่เป็นสารมีขั้วไปได้เร็ว ส่วนสารที่ไม่มีขั้วในสารผสมจะถูกชะพาไปได้ช้าสารผสมก็จะแยกออกจากกัน

3) โครมาโทกราฟีแบบกระดาษ (Paper Chromatography) เป็นโครมาโทกราฟีแบบระนาบอีกแบบหนึ่ง มีวิธีการและหลักการเหมือนกับโครมาโทกราฟีแบบชั้นบาง แตกต่างกันที่เฟสอยู่กับที่ใช้กระดาษที่สามารถดูดซับได้แทนกระจกที่เคลือบด้วยซิลิกาเจล

4) โครมาโทกราฟีแบบแก๊ส (Gas Chromatography, GC) ใช้สำหรับแยกสารผสมที่เป็นแก๊ส โดยมีเฟสเคลื่อนที่เป็นแก๊สเช่นกันแต่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารผสม เช่น ฮีเลียม จะทำหน้าที่เป็นตัวพา (Carrier) สารผสม ส่วนเฟสอยู่กับที่อาจจะเป็นของแข็งหรือของเหลวที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ เมื่อทั้งตัวพาและสารผสมเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์นี้ เฟสอยู่กับที่ในคอลัมน์จะดึงดูดด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ตามความเป็นขั้วของสารกับโมเลกุลในสารผสมทำให้องค์ประกอบในสารผสมถูกพาไปด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน สารผสมก็จะแยกออกจากกัน

ปัจจุบันเทคโนโลยีของโครมาโทกราฟีได้ถูกพัฒนาให้สามารถทำงานได้รวดเร็ว และใช้แยกสารตัวอย่างได้ครั้งละหลายสารตัวอย่าง เช่น Gas - Liquid Chromatography (GLC), High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เป็นต้น หลักการของโครมาโทกราฟี คือโครมาโทกราฟีอาศัยหลักการละลายของสารในตัวทำละลาย และการถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ โดยสารที่ต้องการนำมาแยกโดยวิธีนี้จะมีสมบัติการละลายในตัวทำละลายได้ไม่เท่ากัน และตัวถูกดูดซับโดยตัวดูดซับได้ไม่เท่ากัน ทำให้สารเคลื่อนที่ได้ไม่เท่ากัน วิธีการทำโครมาโทกราฟี คือนำสารที่ต้องการแยกมาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมแล้วให้เคลื่อนที่ไปบนตัวดูดซับ การเคลื่อนที่ของสารบนตัวดูดซับขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของสารแต่ละชนิดในตัวทำละลาย และความสามารถในการดูดซับที่มีต่อสารนั้น กล่าวคือสารที่ละลายในตัวทำละลายได้ดี

และถูกดูดซับน้อยจะถูกเคลื่อนที่ออกมาก่อน ส่วนสารที่ละลายได้น้อยและถูกดูดซับได้ดีจะเคลื่อนที่ออกมาทีหลัง ถ้าใช้ตัวดูดซับมากๆ จะสามารถแยกสารออกจากกันได้ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเครื่องโครมาโทกราฟี

2.5 การปล่อยมลพิษจำเพาะ และดรรชนีมลพิษ

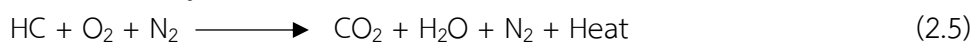
ในการทำงานของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในจะมีการปล่อยไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศออกมาจากเครื่องยนต์ ซึ่งมีส่วนประกอบที่ถือว่าเป็นมลพิษออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่ยังไม่เกิดการเผาไหม้ และฝุ่นละออง (Particulate) ความเข้มข้นของแก๊สที่เป็นมลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์มักจะถูกวัดเป็นส่วนในล้านส่วน หรือร้อยละในปริมาตร แต่พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะพิจารณาเป็น 2 ลักษณะคือ อัตราการไหลของมวลมลพิษต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมา เรียกว่า “การปล่อยมลพิษจำเพาะ” อีกลักษณะหนึ่งก็คือ อัตราการไหลของมวลมลพิษต่อหน่วยอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่เรียกว่า “ดรรชนีการปล่อยมลพิษ”

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงเป็นสารที่มีพลังงานเคมีอยู่ในตัวเองและสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีให้กลายเป็นรูปความร้อนได้ โดยผ่านกระบวนการเผาไหม้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจน ผลที่เกิดจากปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้ทั้งเชื้อเพลิงและออกซิเจนจัดรวมตัวกันใหม่กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้และผลพลอยได้ คือความร้อนและแสงสว่างที่สามารถมองเห็นได้ในรูปแบบของเปลวไฟ แสดงสมการการเผาไหม้ได้ดังสมการที่ 2.4

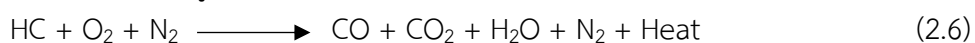


และการเผาไหม้ของเครื่องยนต์แบ่งออกได้ ดังนี้

- 1) การเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ



- 2) การเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ



2.5.1 การเกิดมลพิษในเครื่องยนต์

การเกิดมลพิษในเครื่องยนต์ โดยทั่วไปแบ่งได้ดังนี้

- 1) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดเนื่องจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ โดยทั่วไปเกิดจากการมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ นอกจากนี้สามารถเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ เช่น เกิดการ มีส่วนผสมบาง เกิดจากการดับของเปลวไฟขณะกระบวนการเผาไหม้เนื่องจากไอที่อยู่มุมปริมาตรติดกับผนังห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิต่ำ เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งเกิดจากการจ่ายน้ำมันเข้าห้องเผา

ไหม้ไม่สม่ำเสมอ หรือเกิดจากการที่แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ เมื่อเพิ่มออกซิเจนเข้าไปในกระบวนการแต่ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้หมด

2) ไฮโดรคาร์บอน (HC) เป็นแก๊สที่สามารถติดไฟได้เนื่องจากไฮโดรเจนและคาร์บอนเป็นธาตุที่ติดไฟ เมื่อเกิดการเผาไหม้ไม่หมดจึงเหลือเชื้อเพลิง (ไฮโดรคาร์บอน) ปนออกมากับไอเสีย ซึ่งการเกิดแก๊สดังกล่าวมีหลายสาเหตุคือเกิดจากอากาศมีปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อการสันดาปเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ จึงเหลือเชื้อเพลิงบางส่วนที่ไม่เผาไหม้เกิดจากสัดส่วนหรืออัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศไม่เหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นส่วนผสมหนาหรือส่วนผสมบาง เพราะส่วนผสมหนาจะทำให้ออกซิเจนที่ใช้ในการสันดาปไม่เพียงพอเชื้อเพลิงจึงเผาไหม้ไม่หมด ในขณะที่เดียวกันหากส่วนผสมบางจะทำให้การแพร่กระจายของเปลวไฟลดลง ทำให้ส่วนผสมบางส่วนเผาไหม้ไม่ทันและเหลือมากับไอเสีย อีกทั้งยังเกิดจากส่วนผสมบางส่วนหลุดปนออกไปกับไอเสียในจังหวะที่ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียเปิดเหลื่อมกัน (Overlap) หรืออาจเกิดจากไอดีที่ติดกับผนังกระบอกสูบทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างไอดีและผนังกระบอกสูบเกิดขึ้นมากเกินไป

3) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เกิดจากการสันดาปในห้องเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง หมายความว่า ถ้ามีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะเกิดไนโตรเจนออกไซด์มาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าไนโตรเจนออกไซด์จะเกิดได้นั้นต้องมีปัจจัยอยู่ 2 อย่างคือ อุณหภูมิในห้องเผาไหม้และอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับอัตราส่วนผสมที่ระดับต่างๆ กัน จะมีผลทำให้เกิดแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ในปริมาณที่ต่างกัน

4) ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีปริมาณกำมะถันเจือปนสูง เมื่อแก๊สซัลเฟอร์ออกไซด์แพร่กระจายเข้าสู่อากาศ จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) หรือซัลเฟอร์ (SO_4) ซึ่งมักเรียกรวมกันว่า “ออกไซด์ของซัลเฟอร์”

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุภัทรา มั่นสกุล และพิศมัย เจนวินิชปัญญากุล (2524) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย มีการนำเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มหรือไบโอดีเซล เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่อง ซึ่งผลการทดสอบพบว่า กำลังของเครื่องยนต์เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำมันดีเซลมีค่าเทียบเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มมีค่าที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล รวมถึงค่าเลขซีเทนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่อย่างไรก็ตามผลการทดสอบดังกล่าวเป็นเพียงการทดสอบในระยะเวลานั้นเท่านั้น

สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา (2544) ได้ศึกษาและเสนอผลงานวิจัยต่างที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อเครื่องยนต์ และมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันพืชชนิดต่างๆ คือน้ำมันมะพร้าวดิบ น้ำมันดิบปาล์ม รวมถึงเอสเทอร์ของน้ำมันมะพร้าวและของน้ำมันปาล์ม เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์พบว่า เอสเทอร์ของน้ำมันพืชทั้งสองชนิดมีค่าคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ส่วนค่าคุณภาพของน้ำมันพืชดิบทั้งสองชนิดพบว่ามีค่าบางค่าที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลได้ เช่น ความหนืดของน้ำมันดิบทั้งสองชนิดมีค่าสูง ทำให้การจุดระเบิดเกิดขึ้นล่าช้า หัวฉีดทำงานหนัก ไม่สามารถฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นฝอยได้ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดการสะสมตัวของเขม่าและยางเหนียวตามบริเวณปั๊มหัวฉีด และบริเวณปลายหัวฉีด รวมทั้งทำให้หัวฉีดอุดตัน สมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ลดลง มลพิษในอากาศเพิ่มสูงขึ้น ความร้อนเชื้อเพลิงของน้ำมันดิบมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลส่งผลให้กำลังที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น จุดไหลเทของน้ำมันดิบมีอุณหภูมิค่อนข้าง

สูง ทำให้เกิดปัญหาการใช้งานในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ การติดเครื่องยนต์ทำได้ยาก และมีไขมันอุดตันไส้กรอง น้ำมันเครื่องในปริมาณที่สูง

ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2544) ได้ศึกษาและรวบรวมผลงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล โดยประเด็นหลักที่น่าสนใจคือ คุณภาพของน้ำมันพืชทางกายภาพและทางเคมี สมรรถนะของเครื่องยนต์ ผลกระทบต่อความคงทนของเครื่องยนต์ องค์ประกอบของ ไอเสีย และปัญหาอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันพืชทดแทนน้ำมันดีเซล โดยการศึกษาครั้งนี้ศึกษาน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว ผลการศึกษาพบว่า จากผลการวิจัยทั้งของนักวิจัยไทย และต่างประเทศที่ใช้น้ำมันพืชดิบเป็นเชื้อเพลิง โดยไม่มีการดัดแปลงหรือปรับปรุงในส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์พบว่า มีการชำรุดหรือเสียหายเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ เพราะแหวนลูกสูบเกิดการติดตัว เนื่องจากการสะสมตัวของกากคาร์บอนตามร่องแหวนสาเหตุเกิดจากน้ำมันพืชดิบมีค่าความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล 15 เท่าตัว ดังนั้นจำเป็นต้องปรับสภาพน้ำมันดิบให้มีค่าใกล้เคียงน้ำมันดีเซล โดยมี 3 แนวทาง คือ 1) กรรมวิธีทางเคมี โดยทำให้เป็นน้ำมันใสหรือเอสเทอร์ 2) การผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนไม่เกิน 20% 3) การทำให้น้ำมันไปโอติเซลร้อนขึ้น นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การเลือกใช้เครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงทางอ้อม รวมถึงการติดตั้งเทอร์โบชาร์จเพื่อช่วยในการอัดอากาศ ส่งผลให้การทำงานโดยรวมของเครื่องยนต์ดีขึ้น

กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย และคณะ (2551) ได้ศึกษาการทดสอบการใช้น้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์รอบต่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้น้ำมันทดสอบ คือ น้ำมันสบู่ดำผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน D100 J20 J50 และ J100 โดยนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ 3 ยี่ห้อ คือ Kubota Yanma และทะเลทอง จำนวนทั้งหมด 12 เครื่อง ผลการทดสอบพบว่า คุณภาพของน้ำมัน J20 มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ในส่วนผลการทดสอบถึงผลกระทบของน้ำมันสบู่ดำต่อชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ พบว่า มีคราบของน้ำมันสบู่ดำเกาะติดอยู่กับชิ้นส่วนเป็นคราบสีเข้มในบางจุดในชิ้นส่วนที่ต้องสัมผัสกับน้ำมันสบู่ดำ และมีการพบร่องรอยของการสึกหรอที่เกิดจากการกัดกร่อนของน้ำมันสบู่ดำ โดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าของฝาสูบและปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง ในส่วนของลูกสูบลูกสูบมีร่องรอยของการสึกหรอเป็นจุดๆ กระจายตัวในส่วนที่เป็นขอบของร่องหรือรู และจากการตรวจสอบการอุดตันของระบบเชื้อเพลิงโดยการแช่อุปกรณ์ในน้ำมันสบู่ดำเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า ไม่มีปัญหาของการอุดตันในระบบ ในส่วนผลการทดสอบถึงผลกระทบของน้ำมันสบู่ดำต่อกำลังของเครื่องยนต์พบว่า ค่าของกำลังงานเครื่องยนต์จะมีขนาดลดลงเมื่อใช้น้ำมันสบู่ดำที่มีสัดส่วนเพิ่มมากขึ้น แต่มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในส่วนผลการทดสอบถึงผลกระทบของน้ำมันสบู่ดำที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสบู่ดำในแต่ละสัดส่วน และในส่วนผลการทดสอบถึงผลกระทบของน้ำมันสบู่ดำต่อปริมาณควันดำในไอเสียขณะเดินเครื่องยนต์พบว่า ปริมาณของควันดำในน้ำมันผสมที่ 20% ขึ้นไป มีปริมาณต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

Thimas T. P. et al. (2012) ได้ศึกษาค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วน B20 B40 และ B60 ผสมกับสารเติมแต่งในอัตราส่วน 0.01%, 0.1% และ 1% จากการใช้น้ำมันละหุ่ง เมทิลเอสเทอร์ น้ำมันละหุ่งเอทิลเอสเทอร์ น้ำมันดอกคำฝอยเมทิลเอสเทอร์ และน้ำมันดอกคำฝอยเอทิลเอสเทอร์ ผลการศึกษาพบว่า B20 ของน้ำมันละหุ่งเมทิลเอสเทอร์ น้ำมันละหุ่งเอทิลเอสเทอร์ น้ำมันดอกคำฝอยเมทิลเอสเทอร์ และน้ำมันดอกคำฝอยเอทิลเอสเทอร์ สามารถลดความหนืดได้ แต่ทั้งนี้จะพบว่าสารเติมแต่งไม่ส่งผลต่อการลดความหนืดของน้ำมันละหุ่งได้

Oh Y., Choi S. et al. (1983) ได้ศึกษาค้นคว้าการใช้น้ำมันไบโอดีเซล Non-Esterification ในอัตราส่วน B5 B10 B20 และใช้น้ำมันไบโอดีเซล B4 B8 ผสมกับสารเติมแต่งชื่อ WDP (Water Dipole Power) ในอัตราส่วน 1% และ 2% เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมพบว่าปริมาณควันดำลดลง กำลัง แรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง มีค่าเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดีเซล

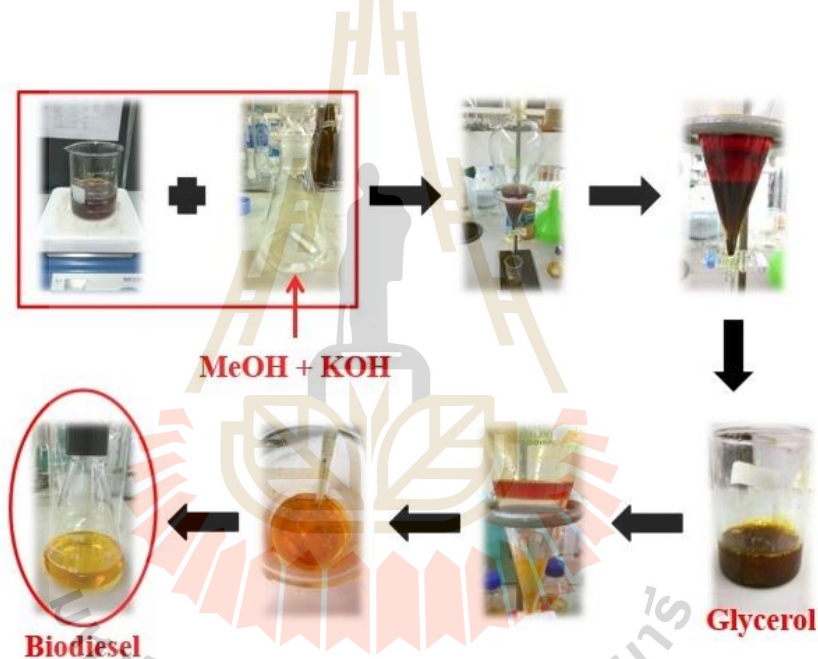
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย รวมทั้งวิธีการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้ ทั้งวิธีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้กระบวนการ ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน, การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ด้วยวิธีการกลั่น, วิธีการเติมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งก่อน และหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น, การวัดคุณสมบัติของน้ำมันภายใต้มาตรฐาน ASTM รวมทั้งวิธีการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก จากการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ โดยจะกล่าวถึงแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนั้น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คือ น้ำมันปาล์มดิบ และมีขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันดังแสดงนั้น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คือ น้ำมันปาล์มดิบซึ่งเป็นสารตั้งต้นน้ำหนัก 400 กรัม ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยกำหนดเงื่อนไขให้ใช้เมทานอล (Methanol) หนักร้อยละ 45 หรือ 45% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเมทานอลจะมีน้ำหนัก 180 กรัม โดยอัตราส่วนโดยมวล (Molar Ratio) ของน้ำมันปาล์มดิบต่อเมทานอล คือ 1 : 12 หรือถ้าใช้น้ำมันปาล์มดิบ 1 โมล จะต้องใช้เมทานอล 12 โมล ในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สมบูรณ์ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) น้ำหนักร้อยละ 2 หรือ 2% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ (8 กรัม) มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และในขั้นตอนการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรอล (Glycerol) นั้น เมื่อเกิดการแยกชั้นน้ำมันไบโอดีเซลที่มีความหนาแน่นน้อย

กว่ากลีเซอรอลจะลอยอยู่ด้านบนเหนือกลีเซอรอลสามารถมองเห็นการแยกชั้นได้อย่างชัดเจนด้วยตาเปล่า ดังที่แสดงในรูปที่ 3.2 (ก) และขั้นตอนสุดท้ายหลังจากต้มไล่น้ำออกจากน้ำมันไบโอดีเซลแล้วจะได้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.2 (ข)

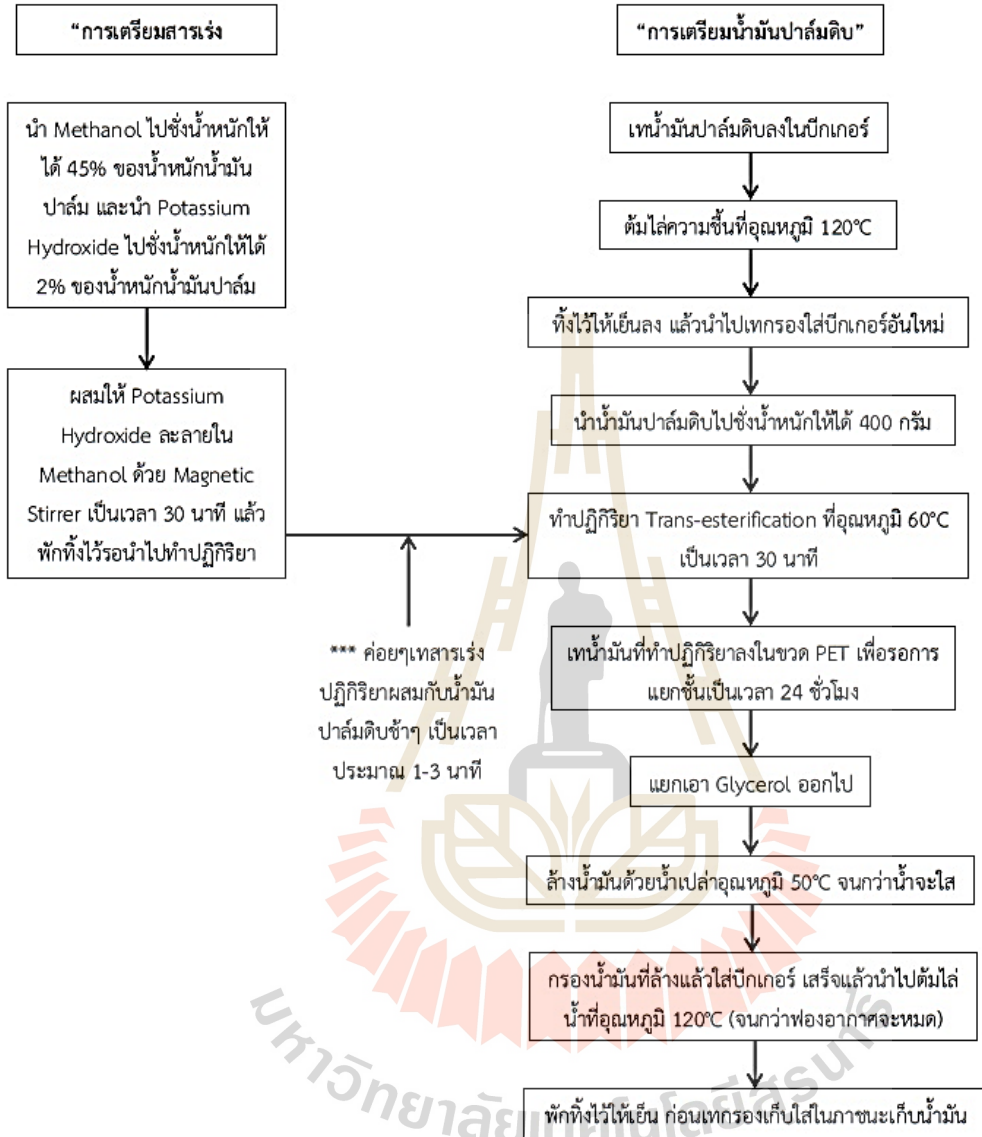


รูปที่ 3.2 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ
(ก) การแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรอล
(ข) น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ



วิธีการหรือขั้นตอนในการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งลำดับแรกจะแสดงให้เห็นขั้นตอนในการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในภาพรวมโดยสังเขป ดังรูปที่ 3.3

แผนผังขั้นตอนการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

จากรูปที่ 3.3 อธิบายรายละเอียดของขั้นตอนในการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบได้ดังต่อไปนี้

- 1) เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ เช่น น้ำมันปาล์มดิบ บีกเกอร์ ผ้าขาวบางสำหรับกรองน้ำมันหรือภาชนะสำหรับจัดเก็บน้ำมัน เป็นต้น
- 2) เทน้ำมันปาล์มดิบลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
- 3) นำน้ำมันปาล์มดิบที่เทลงในบีกเกอร์แล้ว ไปทำการต้มไล่ความชื้นด้วยเครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer) ที่อุณหภูมิ 120 °C โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดและควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งให้ทำการสังเกตน้ำมันปาล์ม เมื่อน้ำมันปาล์มเริ่มเป็นของเหลวทั้งหมดให้ใส่แม่เหล็กสำหรับทำการกวนน้ำมันปาล์มดิบให้อุณหภูมิน้ำมันปาล์มดิบมีการกระจายตัวได้ดีขึ้น โดยใช้ความเร็วในการกวนของเครื่องกวนสารที่เบอร์ 2

4) สังเกตฟองอากาศที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการต้มไล่ความชื้นออกจากน้ำมัน ซึ่งขณะที่ต้มน้ำมันปาล์ม นั้น ฟองอากาศจะลอยขึ้นมาอยู่ที่บริเวณผิวของน้ำมันปาล์มดิบ โดยให้ทำการต้มน้ำมันปาล์มดิบไปเรื่อยๆ จนกว่าฟองอากาศจะหมดไป นั่นหมายถึง น้ำ หรือความชื้นจะระเหยออกจากร้ำมันปาล์มดิบจนหมดไป

5) เมื่อทำการต้มไล่ความชื้นเรียบร้อยแล้ว ให้นำน้ำมันปาล์มดิบออกมาพักทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเมื่อน้ำมันปาล์มดิบเย็นลงแล้ว ให้ทำการกรองน้ำมันปาล์มดิบใส่บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตรอันใหม่ โดยใช้ผ้าขาวบางในการกรองน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อแยกเอาสิ่งปะปนที่ไม่ต้องการออก เช่น เศษผงฝุ่น เป็นต้น

6) จากนั้นนำน้ำมันปาล์มดิบไปทำการชั่งน้ำหนัก เพื่อให้ได้สัดส่วนที่จะทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยการนำบีกเกอร์อันใหม่ขนาด 1,000 มิลลิลิตรไปชั่งที่เครื่องชั่งน้ำหนัก จากนั้นให้ทำการกดเซตศูนย์ที่เครื่องชั่งน้ำหนัก แล้วเทน้ำมันปาล์มดิบลงในบีกเกอร์ที่วางอยู่บนเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มดิบในสัดส่วน หรือในน้ำหนักที่ต้องการที่จะนำไปทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

7) จากขั้นตอนที่ 6 นั้น ในขณะที่พักน้ำมันปาล์มดิบไว้ให้เย็น จะมีช่วงเวลาสำหรับขั้นตอนการเตรียมสารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีวิธีการคือ นำเมทานอลไปชั่งน้ำหนักให้ได้ 45% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์ม และนำไปผสมไฮดรอกไซด์ไปชั่งน้ำหนักให้ได้ 2% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์ม ซึ่งในก่อนหน้านี้จะต้องทราบแล้วว่า จะทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบในสัดส่วนเท่าใด เช่น ถ้าเตรียมน้ำมันปาล์มดิบไว้ที่ 400 กรัม จะต้องเตรียมเมทานอลที่ 180 กรัม และเตรียมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ 8 กรัม เป็นต้น

8) ผสมให้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ละลายในเมทานอล โดยใช้ขวดทดลองรูปชมพู่เป็นภาชนะสำหรับใส่ทั้งเมทานอล และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ แล้วกวนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็วเบอร์ 2 เป็นเวลา 30 นาที และพักทิ้งไว้รอนำไปทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

9) ถึงขั้นตอนนี้แล้ว ทั้งน้ำมันปาล์มดิบและสารเร่งปฏิกิริยาจะถูกเตรียมไว้สำหรับทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันเรียบร้อยแล้ว ซึ่งในลำดับถัดไปให้นำน้ำมันปาล์มดิบที่ชั่งน้ำหนักได้ตามสัดส่วนที่ต้องการแล้วไปให้ความร้อนด้วยเครื่องกวนสาร และกวนน้ำมันปาล์มดิบที่ความเร็วรอบเบอร์ 2 และใช้เทอร์โมมิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดและควบคุมอุณหภูมิ

10) ให้ความร้อนน้ำมันปาล์มดิบจนกระทั่งน้ำมันปาล์มดิบมีอุณหภูมิ 60 °C จากนั้นให้ทำการเทสารเร่งปฏิกิริยาลงในบีกเกอร์น้ำมันปาล์มดิบที่กำลังถูกกวนอยู่บนเครื่องกวนสาร โดยค่อยๆ เทสารเร่งปฏิกิริยาช้าๆ โดยใช้เวลาประมาณ 1-3 นาที จนกระทั่งสารเร่งปฏิกิริยาหมด อุณหภูมิของน้ำมันปาล์มดิบจะลดลงมาที่ประมาณ 55 °C ทำการให้ความร้อนน้ำมันปาล์มดิบจนกระทั่งน้ำมันปาล์มดิบมีอุณหภูมิกลับไป 60 °C จากนั้นทำการจับเวลาสำหรับการทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันเป็นเวลา 30 นาที

11) เมื่อทำปฏิกิริยาครบ 30 นาทีแล้ว ให้นำน้ำมันปาล์มดิบไปเทเก็บไว้ในขวดทดลอง PET ซึ่งเป็นขวดทดลองสำหรับพักให้น้ำมันปาล์มดิบที่ทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน แล้วให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซล และกลีเซอรอลออกจากกัน ซึ่งจะใช้เวลาแยกชั้นประมาณ 24 ชั่วโมง โดยที่น้ำมันไบโอดีเซลที่มีน้ำหนักเบาว่าจะลอยอยู่ด้านบนเหนือกลีเซอรอลที่มีน้ำหนักมากกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจะอยู่ด้านล่างและเห็นเป็นการแยกชั้นอย่างชัดเจน

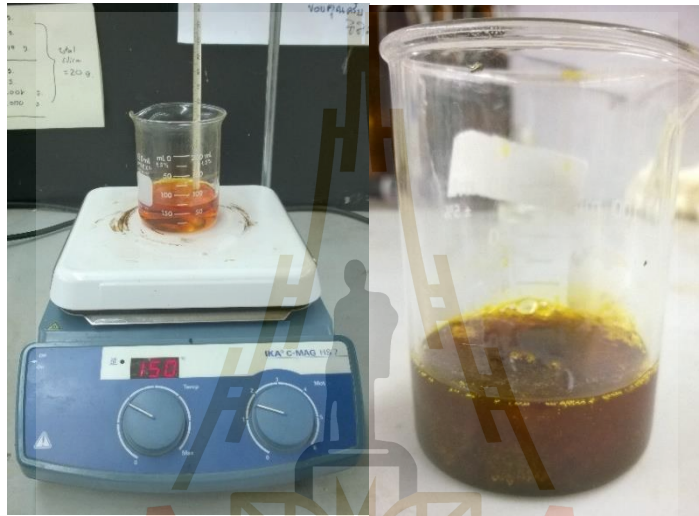
12) หลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมงแล้ว ให้ทำการแยกกลีเซอรอลออกจากน้ำมันไบโอดีเซล โดยการเปิดจุกก๊อกด้านล่างของหลอดทดลอง PET เพื่อให้กลีเซอรอลไหลออกมาจนหมด ซึ่งก่อนที่จะแยกเอากลีเซอรอลนั้น ให้ทำการนำน้ำเปล่าใส่บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องกวนสาร เพื่อใช้สำหรับการล้างน้ำมันไบโอดีเซลในขั้นตอนถัดไป

13) จากขั้นตอนที่ 12 เมื่อแยกกลีเซอรอลออกไปแล้ว น้ำเปล่าที่ถูกให้ความร้อนทิ้งไว้จะมีอุณหภูมิประมาณ 50 °C พอดี จากนั้นให้นำน้ำเปล่ามาทำการล้างน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อชำระเอา กลีเซอรอลที่ยัง

เหลือค้ำยอยู่ออกไปให้หมด โดยค่อยๆ ล้างและปล่อยน้ำออกที่จุกก๊อกด้านล่างขวดทดลอง PET จนกระทั่งน้ำเปล่าที่ใช้ล้างในรอบถัดไปมีลักษณะใส จึงหยุดทำการล้างน้ำมันไบโอดีเซล

14) ทำการกรองน้ำมันไบโอดีเซลหลังจากล้างเสร็จแล้วด้วยผ้าขาวบางใส่ในปีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มไล่ไอน้ำที่เหลือจากการล้างน้ำมันไบโอดีเซลออกให้หมดด้วยเครื่องกวนสารที่อุณหภูมิ 120 °C โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดและควบคุมอุณหภูมิ และใช้ความเร็วในการกวนของเครื่องกวนสารที่เบอร์ 2

15) สังเกตฟองอากาศที่เกิดขึ้นในขณะที่ต้มไล่ไอน้ำที่จะลอยขึ้นมาเกาะบริเวณผิวน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งทำการต้มไล่ไอน้ำไปจนกระทั่งฟองอากาศหายไปทั้งหมด จากนั้นนำน้ำมันที่ต้มไล่ไอน้ำแล้วมาพักทิ้งไว้ให้เย็น ก่อนที่จะเทกรองด้วยผ้าขาวบางอีก 1 ครั้งใสในภาชนะที่ใช้สำหรับเก็บน้ำมัน และการเก็บน้ำมันควรเก็บไว้ในที่ที่ค่อนข้างมีแสงสว่างน้อย รวมทั้งไม่สัมผัสกับสภาวะสิ่งแวดล้อมหลายๆ เช่น ในตู้สำหรับจัดเก็บน้ำมันไบโอดีเซล โดยเฉพาะ เป็นต้น



รูปที่ 3.4 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

3.2 ขั้นตอนการผสมน้ำมันประเภทต่างๆ

ในบทนี้จะเป็นวิธีการหรือขั้นตอนในการผสมน้ำมันดีเซลกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ที่ยังไม่ผ่าน และที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) ในสัดส่วนต่างๆ รวมไปถึงการผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์เข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อใช้ในการผสมให้ได้เป็นน้ำมันในแต่ละประเภทที่ต้องการใช้ในการทดสอบดังตารางที่ 3.1

โดยจากตารางที่ 3.1 สามารถจำแนกเป็นรายละเอียดของขั้นตอนในการผสมน้ำมันดีเซล และการผสมน้ำมันดีเซลกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ที่ยังไม่ผ่าน และที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) รวมไปถึงสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ เพื่อให้ได้น้ำมันประเภทต่างๆที่จะนำไปใช้ในการทดสอบ ได้แก่

กรณีไม่ผสมสารเติมแต่ง

1) เตรียมน้ำมันดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ รวมไปถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้สำหรับการผสมน้ำมัน เช่น ปีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร, กระจกตวงขนาด 1,000 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร เป็นต้น

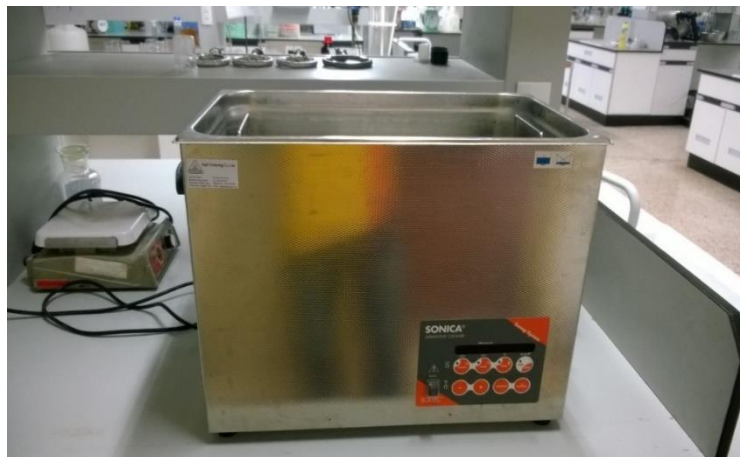
- 2) จากนั้นตวงน้ำมันดีเซลใส่กระบอกตวงขนาด 1,000 มิลลิลิตร และตวงน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบใส่กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร ตามสัดส่วนดังตารางที่ 3.1 เพื่อให้ได้ประเภทร้านน้ำมันที่จะผสมตามที่ต้องการ
- 3) เทน้ำมันที่ตวงแล้วใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นนำน้ำมันไปกวนผสมด้วยเครื่องกวนสารที่เบอร์ 2 เป็นเวลา 30 นาที
- 4) เทน้ำมันที่ผสมเสร็จแล้วเก็บใส่ในภาชนะสำหรับจัดเก็บน้ำมัน

กรณีผสมสารเติมแต่ง

- 5) เตรียมน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ รวมไปถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับการผสมน้ำมัน เช่น บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร, กระบอกตวงขนาด 1,000 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร เป็นต้น
- 6) จากนั้นตวงน้ำมันดีเซลใส่กระบอกตวงขนาด 1,000 มิลลิลิตร, ตวงน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบใส่กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร ตามสัดส่วนในตารางที่ 3.1
- 7) เทน้ำมันที่ตวงแล้วใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นนำน้ำมันไปกวนผสมด้วยเครื่องกวนสารที่เบอร์ 2 เป็นเวลา 30 นาที
- 8) ทำการชั่งน้ำหนักของสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ให้ได้ที่ 0.05 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดขนาดทศนิยม 4 ตำแหน่ง โดยนำกระดาษชั่งที่เปลี่ยนขนาดเล็กชั่งน้ำหนักลงไปก่อน จากนั้นทำการกดเซต 0 ที่เครื่องชั่งน้ำหนัก แล้วทำการตักสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ ใส่ลงไปใบกระดาษชั่งให้น้ำหนัก 0.05 กรัม
- 9) ในขั้นตอนที่ 8 หลังจากกวนผสมน้ำมันด้วยเครื่องกวนสารครบ 30 นาที แล้วทำการเทสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่อยู่ในกระดาษชั่งลงไปในบีกเกอร์น้ำมัน
- 10) ผสมน้ำมันจากขั้นตอนที่ 9 โดยการใช้เครื่องมือเขย่าอัลตราโซนิค ซึ่งต้องทำการกำหนดอุณหภูมิในการผสมน้ำมันกับสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ละลายเป็นเนื้อเดียวกันเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยการใช้เครื่องมือเขย่าอัลตราโซนิคนั้น หลังจากทำการเปิดเครื่องด้วยปุ่ม Power แล้วให้ทำการปรับอุณหภูมิของน้ำในเครื่องมือนี้ที่ปุ่มปรับอุณหภูมิ จากนั้นกดปุ่มปรับเวลาไปที่เวลาสูงสุดที่ 90 นาที แล้วจึงทำการกดปุ่ม on เพื่อให้เครื่องมือเริ่มทำงาน
- 11) หลังจากครบ 90 นาทีแล้วให้ทำการปรับเวลาเพิ่มอีก 90 นาที อีก 1 ครั้ง และ 60 นาทีอีก 1 ครั้ง เป็นครั้งสุดท้าย เพื่อให้การผสมน้ำมันกับสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ครบ 4 ชั่วโมง เนื่องจากเครื่องมือนี้ปรับตั้งเวลาได้สูงสุดเพียงครั้งละ 90 นาที
- 12) เมื่อเวลาผ่านไปจนครบ 4 ชั่วโมง และสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ละลายเข้ากับน้ำมันแล้ว ให้ทำการเทน้ำมันที่ผสมเสร็จแล้วเก็บใส่ในภาชนะสำหรับจัดเก็บน้ำมัน

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนในการผสมน้ำมันประเภทต่างๆ

ประเภทน้ำมัน	สัดส่วน (มิลลิลิตร)			
	Diesel	ไบโอดีเซลปาล์ม	สารเติมแต่ง ZnO	รวมเป็น
B10	900.00	100.00	-	1,000.00
B20	800.00	200.00	-	1,000.00
B30	700.00	300.00	-	1,000.00
B40	600.00	400.00	-	1,000.00
B50	500.00	500.00	-	1,000.00
B100	0.00	1,000.00	-	1,000.00
B10 + ZnO	900.00	100.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.00
B20 + ZnO	800.00	200.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.00
B30 + ZnO	700.00	300.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.00
B40 + ZnO	600.00	400.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.00
B50 + ZnO	500.00	500.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.00
B100 + ZnO	0.00	1,000.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.00
R - B10	900.00	100.00	-	1,000.00
R - B20	800.00	200.00	-	1,000.00
R - B30	700.00	300.00	-	1,000.00
R - B40	600.00	400.00	-	1,000.00
R - B50	500.00	500.00	-	1,000.00
R - B100	0.00	1,000.00	-	1,000.00
R-B10 + ZnO	900.00	100.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.00
R-B20 + ZnO	800.00	200.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.00
R-B30 + ZnO	700.00	300.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.00
R-B40 + ZnO	600.00	400.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.00
R-B50 + ZnO	500.00	500.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.00
R-B100 + ZnO	0.00	1,000.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.00



รูปที่ 3.5 เครื่องมือเขย่าอัลตราโซนิก (Ultrasonic Shaker)



รูปที่ 3.6 ลักษณะของน้ำมันดีเซลที่ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดส่วนต่างๆ

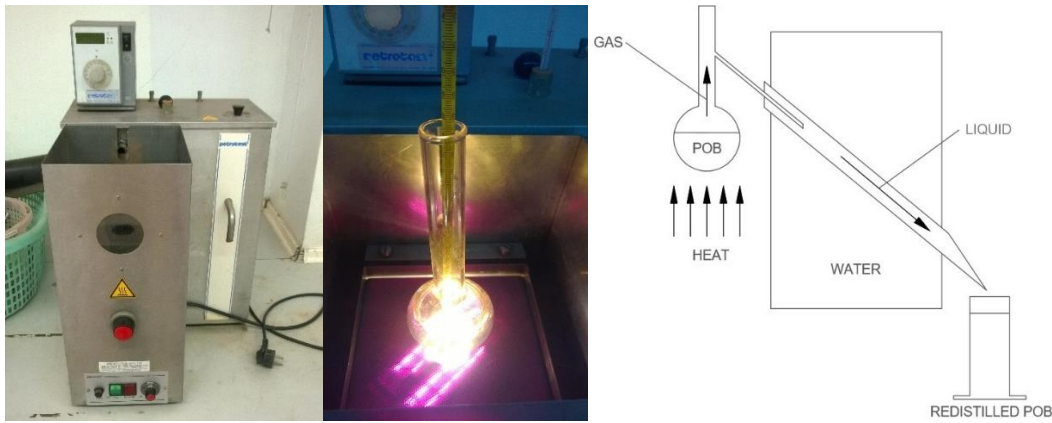
การเปรียบเทียบลักษณะของน้ำมันดีเซลกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ที่ยังไม่ผ่าน และที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) รวมถึงน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) ที่ผสมสารเติมแต่งนาโน ซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งเรียงลำดับจากซ้ายมือไปทางด้านขวามือ



รูปที่ 3.7 ลักษณะของน้ำมันทดสอบชนิดต่างๆ

3.3 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น

สำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่นนั้นจะเป็น การนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ที่ผลิตออกมาในขั้นตอนก่อนหน้านี้มาทำการกลั่น ซึ่งจะทำความร้อนแก่น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) จนกระทั่งเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส โดยที่แก๊สที่ระเหยนั่นคือน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (Redistilled B100) ที่ต้องการ โดยการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่นนั้นจะใช้เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure

จากรูปที่ 3.8 น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้รับความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 216 องศาเซลเซียส จากนั้น น้ำมันไบโอดีเซลจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส แก๊สที่ระเหยขึ้นมาจากน้ำมัน ไบโอดีเซลจะถูกนำกลับมาควบแน่นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้งาน ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ที่นำมากลั่นต่อหนึ่งครั้งจะใช้ที่ปริมาณ 400 มิลลิลิตร และกลั่นออกมาให้ได้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) ในปริมาณร้อยละ 90 จากปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) 400 มิลลิลิตร หรือกล่าวคือ ต้องกลั่นน้ำมันออกมาให้ได้ในปริมาณ 360 มิลลิลิตร จากน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ(B100) 400 มิลลิลิตร ซึ่งขั้นตอนในการกลั่นนั้นจะคล้ายคลึงกับการทดสอบการหาอุณหภูมิการกลั่นของที่ร้อยละ 50 ของน้ำมันตัวอย่างในหัวข้อ 3.4.3 ยกเว้นเพียงแต่ไม่ต้องทำการวัดอุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้กลั่น รวมถึงไม่ต้องทำการจับเวลาใดๆ เพียงแต่ต้องกลั่นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ให้ได้ปริมาณร้อยละ 90 จากปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ปริมาณ 400 มิลลิลิตรเท่านั้น ก็จะได้ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) สำหรับนำไปใช้งานออกมา หรือนำไปใช้ในการวิจัยอย่างอื่นต่อไป



รูปที่ 3.9 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น

ลักษณะการกลั่นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และส่วนของแข็ง หรือในที่นี้คือเรียกว่า “ยางเหนียว (Gum)” ที่ไม่สามารถระเหยได้หลังจากทำการกลั่นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ให้ได้ปริมาณร้อยละ 90 จากปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ปริมาณ 400 มิลลิลิตรแล้ว



รูปที่ 3.10 การตกตะกอนของน้ำมันไบโอดีเซล

การตกตะกอนของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) เมื่อเวลาผ่านไป ดังรูปที่ 3.10 (ด้านซ้ายมือ) ในขณะที่น้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) จะไม่เกิดการตกตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่า น้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) มีเสถียรภาพในการเก็บรักษาที่ดีกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100)

3.4 การทดสอบคุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง

การทดสอบนี้เป็นการวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing Material (ASTM) ดำเนินการทดสอบที่อาคารปฏิบัติการ 4 และ 5 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในการทดสอบนี้ได้ใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ซึ่งมีคุณสมบัติตามมาตรฐานน้ำมันดีเซลมีค่าเลขซีเทนอยู่ในช่วง 40-50 และน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดสอบคือ น้ำมันปาล์มประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้รับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลจากกรมธุรกิจพลังงาน และน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มในสัดส่วนต่างๆ ตามเงื่อนไขการเตรียมตัวอย่าง การเปรียบเทียบค่ากับคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลมีข้อกำหนดตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล ฉบับที่ 5 พ.ศ.2558 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมด 4 ลักษณะ คือความถ่วงจำเพาะ ดัชนีซีเทน กากถ่าน และการกลั่น ซึ่งมีรายละเอียดการทดสอบดังต่อไปนี้

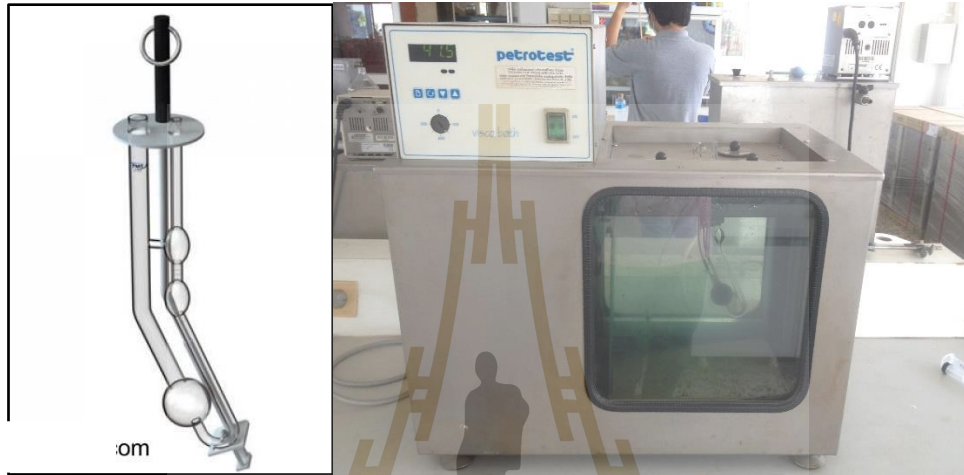
3.4.1 การทดสอบความหนืดของน้ำมันทดสอบ

การทดสอบความหนืดของน้ำมันทดสอบวัดได้ด้วยการใช้เครื่องมือ Viscosity-Kinematic Capillary Tempering Bath High Temperature Ref. - No:20 - 0150 (230V) 20 - 0151 (115V) การวัดและวิเคราะห์ความหนืดทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D445 ค่าที่วัดได้อยู่ในหน่วย เซนติสโตก (cSt) ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ต้องอยู่ในสถานะของเหลวทั้งหมด โดยความหนืดของน้ำมันทดสอบที่นำมาวิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 0.2 ถึง 300,000 cSt ระบบการวัดประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้ หลอดแก้วรูเล็กสำหรับ

วิเคราะห์ความหนืด (Capillary Tube Viscosity) ขायึดหลอดแก้วรูเล็ก (Viscometer Holder) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิสำหรับวิเคราะห์ความหนืด (Viscometer Bath) นาฬิกาจับเวลา (Stop Watch) และจุกยาง ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

1) กรองน้ำมันทดสอบด้วยตะแกรงที่มีช่องเมสไม่เกิน $75 \mu\text{m}$ เพื่อแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำมันทดสอบ ใช้กระบอกตวงขนาด 100 ml ตวงน้ำมันทดสอบที่ต้องการทดสอบปริมาตร 20 ml แล้วเติมน้ำมันทดสอบลงในหลอดแก้วรูเล็ก

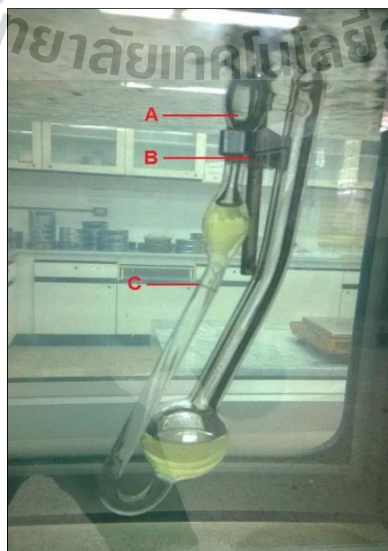
2) จากนั้นนำหลอดแก้วรูเล็กประกอบกับขायึด และแช่ลงในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิสำหรับวัดความหนืดที่ตั้งค่าอุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การประกอบหลอดแก้วรูเล็กกับขायึดและตั้งค่าอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ

3) แช่น้ำมันทดสอบทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้ น้ำมันทดสอบมีอุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส โดยบันทึกอุณหภูมิของน้ำมันทดสอบก่อนแช่ลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ การวัดอุณหภูมิใช้เทอร์มิสเตอร์วัดก่อนบรรจุน้ำมันทดสอบลงในหลอดรูเล็ก ดังรูปที่ 3.11

4) ใช้หลอดตวงสารด้วยหลอดปิเปตตูดน้ำมันทดสอบให้สูงถึงระดับ A และเริ่มจับเวลาเมื่อของเหลวไหลลงมาที่ระดับ B และหยุดจับเวลาเมื่อของเหลวไหลลงมาที่ระดับ C บันทึกเวลาที่จับได้เป็นวินาที ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ตำแหน่งการจับเวลาสำหรับวัดความหนืด

5) ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4) อีกจำนวน 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยของเวลาที่วัดได้ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความหนืดของน้ำมันทดสอบที่ทำกรวิเคราะห์

3.4.2 การทดสอบความถ่วงจำเพาะ

การทดสอบความถ่วงจำเพาะของน้ำมันทดสอบได้วัดและทดสอบด้วยเครื่องมือ Density API & Specific Gravity – Tempering Bath Ref. - No:26 - 0017 (230V) 26 - 0018 (115V) การดำเนินการทดสอบอยู่ภายใต้มาตรฐาน ASTM D1298 ซึ่งได้ระบุความหนักเบาของน้ำมันทดสอบที่อุณหภูมิคงที่เท่ากับ 15.6 องศาเซลเซียส ระบบการวัดประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆดังนี้ น้ำมันทดสอบเงื่อนไขการผสมต่างๆ ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) มีสเกลระดับ 0.007–1.000 มีความละเอียดเท่ากับ 0.005 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) ครอบกวดวงขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 4 ครอบกวด และนาฬิกาจับเวลา (Stop Watch) ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.13 การจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงในครอบกวดวง

- 1) เปิดเครื่องตั้งค่าอุณหภูมิอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 15.6 องศาเซลเซียส และรอจนกระทั่งได้อุณหภูมิของน้ำในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิทดสอบที่ตั้งไว้
- 2) กรองน้ำมันทดสอบด้วยตะแกรงที่มีช่องเมสขนาดไม่เกิน 75 ไมโครเมตร เพื่อแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำมันทดสอบ
- 3) เติมน้ำมันทดสอบที่ต้องการทดสอบลงในครอบกวดวงขนาด 250 ml พร้อมติดฉลากกำกับที่ครอบกวดวง
- 4) นำครอบกวดวงแช่ลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในอุณหภูมิทดสอบที่ 15.6 องศาเซลเซียส
- 5) นำไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงไปนในครอบกวดวงแล้วปล่อยให้ลอย เมื่อไฮโดรมิเตอร์นิ่ง ทำการอ่านค่าและบันทึกผลการทดลอง ดังรูปที่ 3.13
- 6) ทำการทดสอบตามข้อ 2) ถึงข้อ 5) ซ้ำ 3 ครั้ง

3.4.3 การทดสอบการกลั่น

การทดสอบการกลั่นของน้ำมันทดสอบใช้เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure DU 4-Economy (manual) Ref. - No: 11 - 0904 (230V) 11 - 0905 (115V) ดำเนินการทดสอบตาม

มาตรฐาน ASTM D86 ระบบการวัดอุณหภูมิช่วงการกลั่นของสารจำพวกไฮโดรคาร์บอนนั้นประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆและวิธีการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.3.1 อุปกรณ์ทดสอบ

- 1) ชุดทดสอบวัดค่าอุณหภูมิของการกลั่น (Distillation) ดังรูปที่ 3.14
 - เครื่องให้ความร้อนแบบ Front-View
 - เครื่องหล่อเย็น (Cooling Bath R-Type)
- 2) ขวดการกลั่น (Distillation Flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 3.14
- 3) อลูมิเนียมฟรอยด์
- 4) กระจกบอทวง (Cylindrical) ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 2 อัน
- 5) นาฬิกาจับเวลา
- 6) เทอร์โมมิเตอร์สำหรับระบบการกลั่นตามมาตรฐาน ASTM 9C/IP และเทอร์โมมิเตอร์สำหรับระบบหล่อเย็น (Thermometer for Cooling Bath) ดังรูปที่ 3.14
- 7) จุกยางซิลิโคน (Silicone Stopper) เพื่อปิดด้านบนของขวดการกลั่น
- 8) กรรไกรคีบขวดการกลั่น เนื่องจากหลังการกลั่นขวดการกลั่นมีอุณหภูมิสูงมากจึงต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการจับยึด

3.4.3.2 วิธีดำเนินการทดสอบ

- 1) ตรวจสอบความสะอาดท่อหล่อเย็นด้วยการใช้เศษผ้าแห้งผูกติดกับเส้นลวดเช็ดทำความสะอาด
- 2) ตวงน้ำมันทดสอบด้วยกระจกบอทวงขนาด 1000 มิลลิลิตร และเทลงในขวดการกลั่น
- 3) ประกอบอุปกรณ์ต่างๆและปิดฝาขวดการกลั่น ต่อมาทำการประกอบอุปกรณ์หลัก โดยให้ตำแหน่งของเทอร์โมมิเตอร์นั้นติดตั้งที่ขวดการกลั่น และติดตั้งที่เครื่องหล่อเย็น
- 4) ตั้งอุณหภูมิที่เครื่องหล่อเย็น
- 5) เริ่มให้ความร้อนด้วยเครื่องอบความร้อนแบบ Front-View โดยในช่วงเริ่มต้นให้ปรับความร้อนอยู่ที่ระดับ 5 ถึงระดับ 6
- 6) เมื่อน้ำมันทดลองในขวดกลั่นเริ่มเดือด ผู้ทำการทดสอบต้องคอยสังเกตเพื่อบันทึกอุณหภูมิที่น้ำมันทดสอบเกิดการกลั่นตัวออกมาเป็นหยดแรก โดยบันทึกอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่ติดอยู่กับขวดการกลั่นอยู่ในช่วง 4-5 มิลลิลิตร
- 7) เริ่มจับเวลาและควบคุมการให้ความร้อนกับขวดกลั่น เพื่อกำหนดอัตราการกลั่นอยู่ในช่วง 4-5 มิลลิลิตร ต่อนาที
- 8) บันทึกอุณหภูมิให้สัมพันธ์กับปริมาตรที่กลั่นได้ ส่วนใหญ่จะบันทึกอุณหภูมิที่กลั่นได้ทุก 10 มิลลิลิตร โดยกลั่นถึงร้อยละ 50 ของปริมาตร แล้วทำการเปรียบเทียบค่าการกลั่นที่ได้ของน้ำมันทดสอบกับค่าการกลั่นของน้ำมันดีเซล
- 9) ควรทำความสะอาดอุปกรณ์ทุกครั้งที่ทำกรทดลองเสร็จ เพื่อความสะดวกในการทำการทดลองครั้งถัดไป



รูปที่ 3.14 ชุดทดสอบค่าอุณหภูมิของการกลั่น

3.4.4 การทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิง

การทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิงใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “Bomb Calorimeter” รุ่น Bomb C5000 ในการดำเนินการทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D240 ในการวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้นจะมีอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบไปด้วย



รูปที่ 3.15 เครื่องมือ Bomb Calorimeter รุ่น Bomb C5000

3.4.4.1 อุปกรณ์ทดสอบ

1) เครื่องมือทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Bomb Calorimeter) ซึ่งในชุดประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ลูก Bomb วิเคราะห์ตัวอย่าง จำนวน 1 ลูก
- ถังบรรจุแก๊สออกซิเจนขนาด 6 คิว แรงดัน 1,950 ปอนด์ จำนวน 1 ชุด
- หัวเกลตทอนความดันสำหรับแก๊สออกซิเจน จำนวน 1 ชุด

- โปรแกรม CALWIN SOFTWARE NETWORK CONNECTION เพื่อใช้ร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์
- หน้าจอแบบ LCD แสดงผลการทำงานของเครื่องวัดค่าความร้อนเชื้อเพลิง
 - เครื่อง Isoperibol Oxygen Bomb Calorimeter เป็นระบบที่ใช้ น้ำสองส่วนแยกกัน คือ สำหรับล้อมรอบลูก Bomb เพื่อรับการถ่ายเทความร้อน (Bucket) และส่วนป้องกันความร้อนจากภายนอก (Jacket)
 - ตัวกรองน้ำ
 - 2) ด้ายสำหรับการจุ่มระเบิด (ใช้ 1 เส้น ต่อการทดสอบ 1 รอบ)
 - 3) คีมจับยึด จำนวน 2 อัน
 - 4) เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับทดสอบ
 - 5) หลอดหยดสาร
 - 6) ถังแก๊สออกซิเจน
 - 7) เครื่องชั่งสารดิจิตอลมีความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
 - 8) ถ้วยบรรจุสารสำหรับทดสอบ (ถ้วยจุ่มระเบิด)

3.4.4.2 วิธีการใช้เครื่องมือทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิง

- 1) เสียบสายปลั๊กไฟเครื่องทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิง และเปิดคอมพิวเตอร์
- 2) เปิดวาล์วออกซิเจน เครื่องมือนี้จะมีระบบเติมออกซิเจนอัตโนมัติ
- 3) เปิดตัวเครื่องมือทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิง และเปิดปั๊มทำความเย็น (Cooling Unit)
- 4) รอให้หน้าจอบนเครื่องมือทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิงขึ้นว่า Stable จึงสามารถทำการทดสอบได้
- 5) เปิดโปรแกรม CALWIN ในคอมพิวเตอร์
- 6) ทำการเลือก Setup > Setting > เลือกระบบการวัดผลที่ต้องการ > OK เลือกการวัดผลแบบ Isoperobol จะใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 22 นาที ซึ่งจะให้การวัดที่แม่นยำกว่าแบบ Adiabatic และ Dynamic
- 7) ทำการเลือก Setup > Setting > Calculation เพื่อใช้เลือกมาตรฐานการทดสอบ ต่อมาเลือกหน่วยที่จะแสดงค่าที่วัดได้ > OK ในการทดสอบ การทดสอบนี้ได้ใช้มาตรฐาน ASTM D240 และเลือกให้วิเคราะห์ค่าความร้อนเชื้อเพลิงออกมาให้หน่วย MJ/kg
- 8) ทำการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิง ด้วยการตวงน้ำมันโดยใช้หลอดหยดสาร บีบน้ำมันลงในภาชนะสำหรับใส่สาร ชั่งบนเครื่องชั่งดิจิตอลให้ได้น้ำหนัก 0.25 กรัม
- 9) กดปุ่ม Printer ที่เครื่องชั่ง โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างสำหรับการนำน้ำหนักของตัวอย่างน้ำมันมาแสดงบนคอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน จากนั้น คลิก OK บนคอมพิวเตอร์
- 10) ใช้คีมดึงเส้นด้ายออกมา 1 เส้น แล้วมัดเส้นด้ายให้ติดกับหลอด
- 11) นำถ้วยที่ใส่น้ำมันซึ่งเป็นตัวอย่างทดสอบวางลงบนแกนอลูมิเนียมของชุดทดสอบ จากนั้น นำปลายของเส้นด้ายที่พันไว้จุ่มลงไปบนน้ำมันในถ้วยจุ่มระเบิด ซึ่งจะใช้เส้นด้ายเป็นเชื้อเพลิงเบื้องต้นสำหรับการเผาไหม้

- 12) ประกอบลูก Bomb โดยการนำสิ่งๆที่เตรียมไว้บรรจุลงไปในกระบอกอลูมิเนียม จากนั้น ทำการกดลงให้สนิทแล้วหมุนเกลียวอลูมิเนียม
- 13) เมื่อประกอบลูก Bomb เสร็จแล้ว นำลูก Bomb เข้าไปติดตั้งในเครื่องทดสอบการวัดค่าความร้อนเชื้อเพลิง ควรใส่ลูก Bomb ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ไม่เอียง ก่อนคลิกที่ Start ทุกครั้ง
- 14) เมื่อติดตั้งลูก Bomb เสร็จแล้ว ที่หน้าจอจะแสดงว่า “Vessel close safty?” “OK” แล้วคลิกที่ OK ที่หน้าจอแสดงผลของเครื่องมือทดสอบความร้อนเชื้อเพลิงหนึ่งครั้ง เพื่อทำการยืนยัน จากนั้น ลูก Bomb บรรจุตัวอย่างน้ำมันจะเลื่อนลงไปใน Vessel ในตัวเครื่องทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิง
- 15) จากนั้น กลับมาสั่งบนโปรแกรม CALWIN โดยทำการเลือก Status bar C5000 แล้วคลิกที่ Start เครื่องจะเริ่มทำงานทันที
- 16) การวัดค่าความร้อนเชื้อเพลิงจะใช้เวลาประมาณ 15-22 นาที เครื่องมือจะสามารถอ่านค่าความร้อนเชื้อเพลิงออกมาได้
- 17) เมื่อเครื่องมืออ่านค่าความร้อนเชื้อเพลิงเสร็จแล้ว ลูก Bomb จะเคลื่อนที่ออกมาจาก Vessel จากนั้น ทำการถอดลูก Bomb ออกมาเช็ดทำความสะอาดให้แห้ง
- 18) ถ้าต้องการทำการทดสอบน้ำมันตัวอย่างอื่นต่อไป สามารถกลับไปทำซ้ำได้ตามขั้นตอนก่อนหน้า
- 19) ก่อนปิดเครื่องมือทุกครั้ง ควรปิดโปรแกรม CALWIN ก่อน
- 20) ทำการปิดเครื่องมือ Bomb Calorimeter โดยกด Exit ที่หน้าจอแสดงผลก่อน แล้วจึงทำการปิดเครื่องมือที่ปุ่มด้านหน้า
- 21) ปิดเครื่อง Cooling Unit ที่ปุ่มด้านหน้าตัวเครื่อง
- 22) ขั้นตอนสุดท้าย ทำการปิดวาล์วถังออกซิเจน

3.4.5 การหาค่าดัชนีซีเทน (Cetane Index)

เนื่องจากว่า การวัดค่าซีเทนนับเบอร์โดยตรงนั้น ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีค่าใช้จ่ายสูงมาก จึงต้องทำการหาค่าดัชนีซีเทนแทน เพื่อเป็นการประมาณค่าซีเทนนับเบอร์โดยคร่าวๆ ซึ่งการหาค่าดัชนีซีเทนนั้น จะมีคำนวณจากค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) แต่จะเป็นมาตรฐานของการหาค่าดัชนีซีเทน ซึ่งก็คือ ASTM D976 โดยที่การหาค่าดัชนีซีเทนคำนวณได้จากความถ่วงจำเพาะ API และจุดเดือดค่ากลาง (Mid-Boiling Point) หรืออุณหภูมิของการกลั่นของน้ำมันตัวอย่างที่ร้อยละ 50 ของปริมาณน้ำมันตัวอย่าง ในขั้นตอนก่อนหน้านี้จะเป็นการวัดหาค่าความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน ASTM D1298 และการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันตามมาตรฐาน ASTM D86 ซึ่งเป็นค่าที่ทราบได้เนื่องจากการวัดออกมาแล้ว จากคุณสมบัติความถ่วงจำเพาะและการกลั่นนั้น ทำให้สามารถนำไปคำนวณหาค่าดัชนีซีเทนได้จาก

$$\text{ดัชนีซีเทน} = -420.34 + 0.016G^2 + 0.192G \log M + 65.01(\log M)^2 - 0.0001809M^2 \quad (3.1)$$

โดย G คือ API Gravity

M คือ จุดที่ปริมาตรร้อยละ 50 อุณหภูมิของการกลั่นของน้ำมันตัวอย่าง (°F)

$$\text{API Gravity} = (141.5/\text{ความถ่วงจำเพาะที่ทราบค่า}) - 131.5 \quad (3.2)$$

รวมไปถึงการแปลงหน่วยอุณหภูมิจากอุณหภูมิองศาเซลเซียสไปเป็นหน่วยอุณหภูมิ องศาฟาเรนไฮต์สามารถหาได้จาก

$$\text{อุณหภูมิองศาฟาเรนไฮต์ (°F)} = [(9/5) \times \text{อุณหภูมิองศาเซลเซียสที่ทราบค่า (°C)}] + 32$$

3.4.6 การทดสอบค่าความบริสุทธิ์หรือมีปริมาณเมทิลเอสเตอ์

การทดสอบค่าความบริสุทธิ์หรือมีปริมาณเมทิลเอสเตอ์จะใช้เครื่องมือเรียกว่า “โครมาโทกราฟี (Chromatography)” ภายใต้มาตรฐาน EN 14103 โดยที่อาคารเครื่องมือ 10 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เครื่องมือที่ใช้วัดจะเป็นแบบแก๊ส (Gas Chromatography, GC) ซึ่งจะเป็นเครื่องมือ Gas Chromatography (GC) รุ่น Agilent 7890A ใช้สำหรับแยกสารผสมที่เป็นแก๊ส โดยมีเฟสเคลื่อนที่เป็นแก๊สเช่นกันแต่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารผสม โดยมีสารละลายเมทิล-เฮปทาดีเคนอเอต (Methylheptadecanoate) ทำหน้าที่เป็นตัวสารผสม ส่วนเฟสอยู่กับที่อาจจะเป็นของแข็งหรือของเหลวที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ เมื่อทั้งตัวพาและสารผสมเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์นี้ เฟสอยู่กับที่ในคอลัมน์จะดึงดูดด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ตามความเป็นขั้วของสารกับโมเลกุลในสารผสมทำให้องค์ประกอบในสารผสมถูกพาไปด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน สารผสมก็จะถูกแยกออกจากกันนั่นเองเครื่องมือ Gas Chromatography (GC) รุ่น Agilent 7890A ประกอบด้วย

- Voltage stabilizer ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้สม่ำเสมอ อุปกรณ์ตัวนี้เป็นตัวที่ต่อตรงเข้ากับระบบจ่ายไฟหลักของอาคาร โดยตัวเครื่อง GC และไมโครคอมพิวเตอร์ (PC) ที่ใช้ควบคุมเครื่องจะต่อตรงเข้ากับตัว Voltage stabilizer นี้
 - เครื่อง Gas Chromatography (GC)-2014 (FPD)
 - ระบบจ่ายแก๊ส ซึ่งประกอบด้วยแก๊ส 3 ชนิด คือ ฮีเลียม (He) ใช้เป็น Carrier Gas, ไฮโดรเจนใช้ในการจุดเปลวไฟ และอากาศใช้ในการจุดเปลวไฟ
 - ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุม ซึ่งประกอบด้วยชุดคอมพิวเตอร์ (PC)
- 1) ภาวะเริ่มต้นของระบบต่างๆ ระบบไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
 - Voltage stabilizer ต่อเข้ากับระบบจ่ายไฟหลักของห้องปฏิบัติการ
 - Voltage stabilizer อยู่ในตำแหน่งปิด
 - ระบบไฟฟ้าของคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ ต่อเข้ากับ Voltage stabilizer
 - อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทุกตัวอยู่ในตำแหน่งปิด
 - ระบบไฟฟ้าของ GC ต่อเข้ากับ Voltage stabilizer

ระบบจ่ายแก๊ส

 - วาล์วหัวท่อแก๊สทุกท่ออยู่ในตำแหน่งปิด
 - Pressure regulator ของท่อแก๊สแต่ละท่ออยู่ในตำแหน่งปิด
 - เครื่อง Gas Chromatography (GC)
 - สวิตช์ Power ของเครื่อง GC อยู่ในตำแหน่งปิด
 - วาล์วปรับความดันแก๊สไฮโดรเจนและอากาศอยู่ในตำแหน่งปิด
 - 2) ลำดับการเปิดอุปกรณ์
 - เปิดฮีเลียมที่ใช้เป็น Carrier Gas > เปิดวาล์วที่หัวท่อแก๊สฮีเลียม > เปิด Pressure Regulator โดยตั้งความดันขาออกไว้ที่ 5 kg/cm² ซึ่งค่าความดันขาออกนี้ต้องตั้งให้สูงพอที่จะทำให้การปรับอัตราการไหลของ Carrier Gas (ปรับจากคอมพิวเตอร์)

ทำได้ง่าย และต้องเพื่อความดันสำหรับการทำงานในกรณีที่คอลัมน์ทำงานที่อุณหภูมิสูงด้วย

- เปิด Voltage stabilizer โดยกดปุ่ม On ที่อยู่เหนือจอด้านหน้าของตัวเครื่อง
- Voltage stabilizer ที่มีอยู่ 2 เครื่องนั้นต่อตรงเข้ากับระบบไฟฟ้าของอาคาร และไฟด้านขาออกของ Voltage stabilizer แต่ละเครื่องต่อเข้ากับเต้ารับที่อยู่ด้านบน
- เปิดเครื่อง Gas Chromatography (GC) โดยกดปุ่ม Power ที่ตัวเครื่อง GC ไปที่ตำแหน่ง ON
- เปิดคอมพิวเตอร์

3) การเตรียมการวิเคราะห์โดยป้อนคำสั่งผ่านคอมพิวเตอร์

- หลังจากเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์แล้ว เปิดโปรแกรม GC solution โดยเลือกที่ GC solution จะปรากฏหน้าต่าง Shimadzu GC Solution ขึ้นมา
- การเปิดโปรแกรม GC Solution จากหน้า Desktop ซึ่งถ้าต้องการเชื่อมต่อกับเครื่อง Gas Chromatography (GC) ให้คลิกที่ Instrument 1
- เมื่อเลือก Instrument 1 แล้วจะปรากฏหน้าต่างสำหรับให้ log in ในช่อง User ID จากนั้นคลิก OK
- หลังจากคลิก OK โปรแกรมจะนำเข้าสู่หน้า GC Real Time Analysis
- จากหน้า GC Real time analysis ให้คลิกที่เมนู Instrument แล้วเลือก System Check หลังจากกด System check แล้ว จะปรากฏหน้าต่าง System check แล้วทำการให้กดปุ่ม Run
- การตั้งภาวะการทำงานของเครื่อง ในกรณีที่มีการบันทึกภาวะการทำงานของเครื่องเอาไว้ Method File แล้ว
- เปิด Method File ที่ต้องการใช้งานโดยเลือก File > Open method file ขึ้นตอนนี้เป็นทางเลือก condition ที่ต้องการทำ
- ในกรณีที่ต้องการตั้งภาวะการทำงานของเครื่องใหม่ คืออุณหภูมิของ Injector port (INJ), Oven (หรือ Column) และ Detector port (FPD) ถ้าหากของเดิมที่มีอยู่ไม่เป็นไปตามต้องการหรือไม่มี ก็ให้ตั้ง condition ใหม่ดังนี้ คือ การตั้ง condition ใหม่ (หรือการตั้งอุณหภูมิใหม่)
- การตั้ง Injector temperature (INJ Temp.) และ Carrier Gas Flow Rate (Flow) จากนั้นเลือก Tab INJ Temp. > สำหรับการวิเคราะห์ SO₂ และ SO₃ จากระบบ DeNOx ในขณะนี้เราตั้งที่ 110 °C
- Flow > สำหรับคอลัมน์ปัจจุบัน เราตั้ง Carrier Gas Flow Rate ไว้ที่ 15 ml/min
- การตั้ง Column temp. และ Equilibrium Time ทำการเลือก Tab Column > Column Temp. > ปัจจุบันใช้ที่ 180 °C คงที่ตลอดการวิเคราะห์ > Equilibrium time > ปัจจุบันตั้งไว้ที่ 3 นาที
- ในความเป็นจริงเครื่องไม่ได้วัดอุณหภูมิของ Column แต่วัดอุณหภูมิของ อากาศใน Oven ในการวิเคราะห์ที่มีการเปลี่ยนอุณหภูมิ (temperature programmed) นั้น อุณหภูมิของ Column จะตามหลังอุณหภูมิของ Oven อยู่ เช่นสมมุติว่าเราวิเคราะห์แบบเพิ่มอุณหภูมิละดับขึ้นเรื่อยๆ เช่นเพิ่มจาก 120 °C เป็น 180 °C พอเสร็จการวิเคราะห์ต้องรอให้อุณหภูมิระบบเย็นตัวลงกลับมาที่ค่าเริ่มต้นใหม่ (120

°C) เมื่ออุณหภูมิอากาศใน Oven เย็นลงมาอยู่ที่ 120 °C อุณหภูมิของ Column จะยังสูงกว่า 120 °C อยู่เล็กน้อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรอให้อุณหภูมิของ Column ไกล่เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิของ Oven ช่วงเวลาที่ต้องรอคอยนี้คือ Equilibrium Time นั้นเอง

- ถ้าไม่รอให้อุณหภูมิเริ่มต้นของ Column เท่ากันทุกครั้ง จะพบว่าเวลาที่พีค (Peak) ออกมาจากคอลัมน์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละครั้งจะมีการเปลี่ยนแปลงไป
- การตั้ง Detector temperature (หรือ FPD Temperature) ทำการเลือก Tab FPD > Temp. > ต้องไม่ต่ำกว่า 100 °C และไม่ควรถ่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยปกติมักจะตั้งไว้ที่อุณหภูมิคอลัมน์ + 20 °C ดังนั้นถ้าหากันตามนี้เมื่อตั้ง Column Temp. ที่ 180 °C จึงควรตั้ง FPD Temp. ไว้ที่ 200 °C แต่เพื่อป้องกันไม่ให้ตัว FPD ร้อนเกินไป จึงตั้งเพียงแค่ 185 °C ก็พอ > Sampling rate > เป็นการตั้งความถี่ในการเก็บข้อมูลว่าถ้าให้เก็บทุกๆ กี่มิลลิวินาที (msec) ถ้าตั้งไว้ที่ค่าเวลาน้อย ๆ (เช่น 10 หรือ 20 msec) ระบบจะเก็บข้อมูลถี่มาก (เหมาะสำหรับพีคที่สูงและแคบ) ซึ่งจะ ทำให้จุดข้อมูลมีจำนวนมาก เท่าที่ผ่านมานั้นเราใช้เพียง 80 msec ก็เพียงพอ > Delay time > เป็นการตั้งเวลาที่จะให้เริ่มเก็บข้อมูลหลังเริ่มกด run สำหรับเราให้ตั้งเป็น 0 min > Subtract Detector > ใช้ในกรณีที่ต้องการนำสัญญาณจาก Detector 2 ตัวมาหักลบกัน ให้ตั้งเป็น None เพราะมีเพียง Detector เดียว

4) การตั้งค่า FPD Temperature Sampling Rate และ Stop Time

- เมื่อตั้งค่า Condition เรียบร้อยแล้ว กด save method File (การตั้งชื่อไฟล์ควรตั้งให้เป็นระบบ เช่นระบบ ปี - เดือน - วัน ของวันที่สร้างไฟล์ และรายละเอียดย่อๆ)
- ส่งค่า Parameter ไปยังเครื่อง Gas Chromatography (GC) โดยเลือก Acquisition > Download Instrument Parameter
- สั่ง System On โดยเลือก Instrument > System On
- เปิดหน้าจอ GC System On โดย > รอจนอุณหภูมิของ FPD ได้ระดับตามต้องการ (ต้องไม่ต่ำกว่า 100°C) > เปิดวาล์วที่หัวท่อไฮโดรเจน > เปิด pressure regulator ที่หัวท่อแก๊สโดยตั้งความดันขาออกไว้ที่ 5 kg/cm² > ปรับความดันไฮโดรเจนเข้าเครื่องโดยการหมุนปุ่มปรับ (อยู่บนผนังด้านบนด้านหลังของตัวเครื่อง)
- โดยตั้งความดันขาออกไว้ที่ 130 kPa > เปิดวาล์วที่หัวท่ออากาศ > เปิด Pressure Regulator ที่หัวท่อแก๊สโดยตั้งความดันขาออกไว้ที่ 5 kg/cm² > ปรับความดันอากาศเข้าเครื่องโดยการหมุนปุ่มปรับ (อยู่บนผนังด้านบนด้านหลังของตัวเครื่อง) โดยตั้งความดันขาออกไว้ที่ 50 kPa
- ความดันด้านขาออกจาก pressure regulator ที่หัวถังควรสูงกว่าความดันที่จะตั้งที่ตัวเครื่องอย่างน้อยประมาณ 0.5 bar ขึ้นไป

5) การจุด Flame FPD

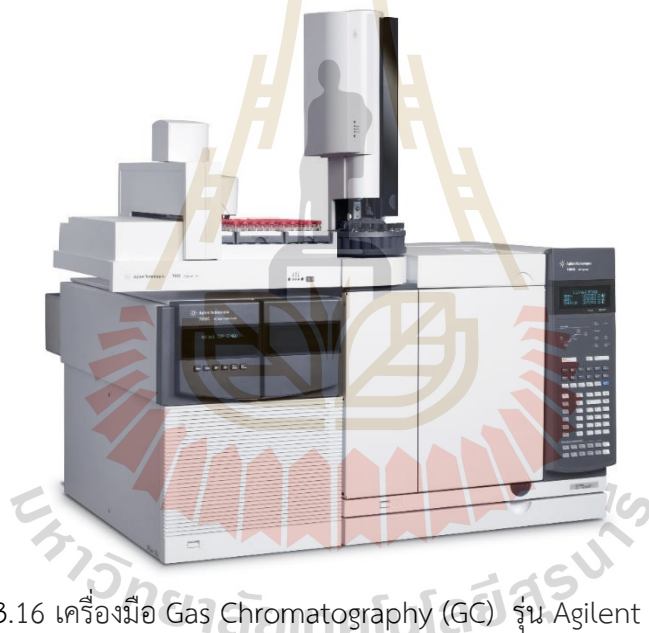
- โดยหลักแล้ว FPD จะใช้แก๊สไฮโดรเจนมากเกินไป (เผาไหม้ไม่หมด) ปรกติแล้วเพื่อให้การจุดไฟทำได้ง่าย เรามักจะใช้ไฮโดรเจนในปริมาณมากและอากาศในปริมาณน้อย เมื่อจุดไฟติดแล้วจึงค่อยลดปริมาณไฮโดรเจนและ/หรือเพิ่มปริมาณอากาศ เพื่อให้เปลวไฟมีสัดส่วนของแก๊สผสมดังต้องการ

ดังนั้นในขั้นตอนี้ควรมีการแทรกเพิ่มเติม (ต้องได้จากการทดลองทำ) ว่า เริ่มต้นนั้นควรเปิดแก๊สไฮโดรเจนและอากาศที่ความดันเท่าใดก่อน และเมื่อ จุดเปลวไฟติดแล้วจึงค่อยปรับความดันแก๊สให้เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ ฟังระลึกว่าความว่องไวของ FPD ขึ้นอยู่กับสัดส่วนไฮโดรเจนต่ออากาศที่ใช้ ในการเผาไหม้ด้วย เครื่องรุ่นที่ใช้จะปรับส่วนผสมระหว่างไฮโดรเจนกับ อากาศโดยใช้การควบคุมความดันที่สั่งจากหน้าจอกอมพิวเตอร์ ส่วนอัตรา การไหลที่แท้จริงนั้นให้อ่านจากกราฟที่ติดอยู่หน้าตัวเครื่อง

- ฟังระลึกว่าเครื่องสามารถปรับความดันแก๊สที่ไหลเข้า detector ได้ในช่วง ความดันที่ไม่สูงเกินกว่าความดันแก๊สที่ไหลเข้าเครื่อง เช่นถ้าเราปรับวาล์ว ความดัน สำหรับอากาศไว้ที่ 50 kPa ถ้าเราป้อนค่าความดันอากาศผ่าน คอมพิวเตอร์ที่ค่าใด ๆ ที่ต่ำกว่า 50 kPa เครื่องก็จะปรับความดันแก๊สให้ เท่ากับค่าความดันที่เราป้อนเข้าไป แต่ถ้าเราป้อนค่าความดันที่สูงกว่าความ ดันขาออกจากรวาล์วปรับความดัน เช่น ตั้งวาล์วไว้ที่ 50 kPa แต่ป้อนค่า 60 kPa ผ่านคอมพิวเตอร์ ความดันแก๊สที่เข้า detector ก็จะมีเพียง 50 kPa เท่านั้น ในระหว่างการจุด flame นั้นอาจต้องทำการปรับค่าความดันผ่าน หน้าจอกอมพิวเตอร์นี้จน flame ติดก่อน จากนั้นจึงค่อย ๆ ปรับค่าความ ดันแก๊สให้ไปอยู่ ณ ตำแหน่งที่ต้องการ
- รอจน detector temperature มีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 100°C
- สั่ง Detector On โดย กดปุ่ม "On" ของ Detector
- สั่งจุด Flame โดย กดปุ่ม "On" ของ Flame ถ้า flame ไม่ติดก็ให้จุดซ้ำ ใหม่
- ถ้า Flame ติดแล้วให้ค่อย ๆ ปรับค่าความดันของไฮโดรเจนและอากาศให้ ไปอยู่ยังค่าที่ต้องการ (ไฮโดรเจน 125 kPa อากาศ 35 kPa) ระหว่างนี้ต้อง คอยสังเกตสัญญาณ FPD ด้วยว่าขาดหายไปหรือไม่ ซึ่งแสดงว่า flame ดับ และต้องจุดใหม่
- เมื่อ flame ติดแล้ว ให้รอจน baseline นิ่ง แล้วสั่ง Zero Adjust โดยคลิก ปุ่ม Zero Adjust ซึ่งอยู่ด้านขวาของ signal display ตรงนี้ไม่แนะนำให้ทำ การปรับ Zero Adjust ให้รอจน Base Line นิ่ง และบันทึกข้อมูลสัญญาณ ด้วยว่า base line ไปนิ่งที่ระดับใด เพราะข้อมูลนี้สามารถใช้ตรวจสอบได้ ว่า Detector มีปัญหาหรือไม่
- สร้าง file เพื่อเก็บข้อมูล > สร้างหรือเลือก Folder เพื่อเก็บ data file โดย คลิก File > Select project (Folder) > เลือก Folder ที่ต้องการ (หรือ คลิก New Folder เพื่อสร้าง Folder ใหม่) > คลิก close
- ในการฉีดสารตัวอย่างนั้น เครื่องนี้ติดตั้งระบบ Sampling Loop สำหรับฉีด สารตัวอย่างที่เป็นแก๊ส (ขนาดปริมาตรของ Loop คือ 0.1 ml ขอให้มีการ ตรวจสอบ) โดยออกแบบมาเพื่อต่อ On-Line กับระบบเครื่องปฏิกรณ์ ด้าน ขาเข้าของคอลัมน์นั้นต่อเข้ากับวาล์วฉีดสารตัวอย่าง ไม่ได้ติดตั้งคอลัมน์ไว้ สำหรับฉีดสารตัวอย่างที่เป็นของเหลว ดังนั้นถ้าเปิด Oven ดูจะเห็นว่าจาก

Injector Port สำหรับฉีดสารโดยใช้ Syringe ที่อยู่ทางด้านบนของตัวเครื่อง Gas Chromatography (GC) นั้น ข้างล่างจะไม่มีคอลัมน์ต่ออยู่

- 6) ขั้นตอนการปิดเครื่อง ซึ่งการสั่งการผ่านระบบคอมพิวเตอร์
- สั่ง Detector OFF โดยคลิกปุ่ม OFF ของ Detector บน Instrument Monitor
 - เปิด Method Cool Down แล้วสั่ง Download > Method Cool Down นี้เป็นโปรแกรมที่ทางผู้ Set Up ระบบเขียนไว้ให้ สามารถปรับแต่งได้
 - รอจนอุณหภูมิของ FPD และ INJ ต่ำกว่า 80 °C และอุณหภูมิของ Column ต่ำกว่า 40 °C
 - สั่ง System OFF โดยเลือกคำสั่ง Instrument > System OFF
 - จะพบว่าไฟ LED indicator หน้าเครื่อง Gas Chromatography (GC) ของ Temp. และ Flow ดับ จึงปิด Software GC Real Time
 - ปิด Power Switch ของเครื่อง Gas Chromatography (GC)
 - ปิดวาล์วที่หัวท่อแก๊สฮีเลียม, ไฮโดรเจน และอากาศที่หัวท่อแก๊สทุกท่อให้ครบ รอจนความดันใน Pressure Regulator ที่หัวท่อแก๊สทุกท่อลดลงเป็นศูนย์ (ทั้งด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำ) จากนั้นจึงปิด Pressure Regulator ทุกตัว



รูปที่ 3.16 เครื่องมือ Gas Chromatography (GC) รุ่น Agilent 7890A

3.5 การทดสอบการวัดมลพิษ

ในส่วนของการวัดการปล่อยมลพิษหลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์รอบต่อนั้น ประกอบไปด้วย ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide, NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide, CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO_2) และไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon, HC) ในการวัดการปล่อยมลพิษที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์หลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์นั้น จะทำการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ จำนวน 1 ชุดที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ที่ภาระกระทำที่ 6 นิวตันเมตร รวมไปถึงทำการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำโดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูญเสียไปในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน เพื่อนำมาใช้คำนวณออกมาเป็นอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก โดยน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการวัดการปล่อยมลพิษมี 6 ประเภท ประกอบด้วย น้ำมัน

ดีเซล, น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการดำเนินการในการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงวิธีการในการทดสอบดังที่จะกล่าวเป็นลำดับต่อไป

3.5.1 เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำสำหรับการทดสอบ

สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำสำหรับการทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษนั้นจะใช้เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำยี่ห้อ KAWAMA รุ่น KWM500D ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ดีเซลที่ผลิตโดยคนไทย และรายละเอียดข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำนี้จะแสดงดังในตารางที่ 3.2

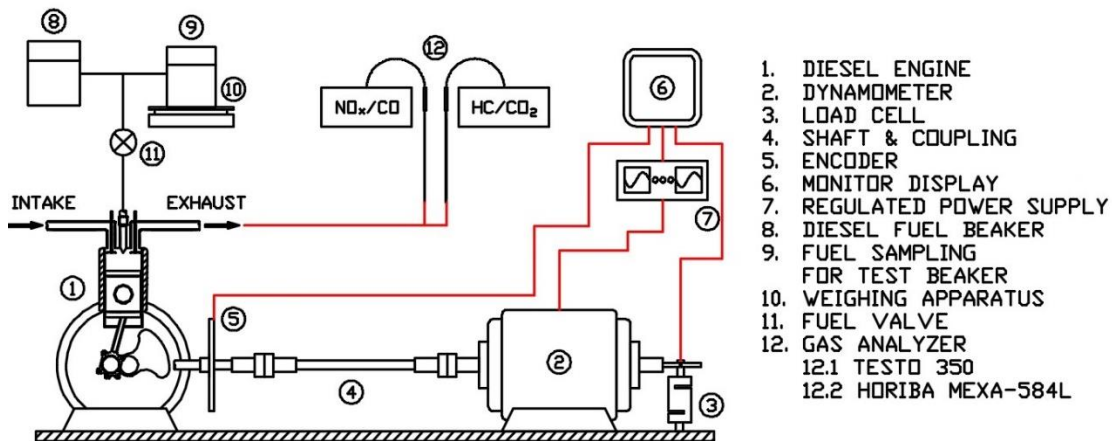
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำยี่ห้อ KAWAMA รุ่น KWM500D

Type Engine	4 Stroke Diesel Engine	Maximum Speed	4,200 RPM
Number of Cylinder	1	Displacement Vol.	169 CC.
Bore	68.0 mm	Compression Ratio	22 : 1
Stroke	54.0 mm	sfc (g/kW-hr)	≤ 280
Maximum Power	3.5 HP at 3,600 RPM	Type of Cooling	Air Cooled
Maximum Power	2.42 kW at 3,600 RPM	Dimension (WxLxH)	37×42×40 cm.

3.5.2 การทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

การทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษหลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำประกอบด้วย ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide, NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide, CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂) และไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon, HC) ในการวัดการปล่อยมลพิษที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์หลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์นั้น จะทำการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ที่ภาระกระทำที่ 6 นิวตันเมตร ดังที่กล่าวไปข้างต้นแล้ว โดยที่การวัดค่าการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ ใช้เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Testo รุ่น 350 ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน ใช้เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Horiba รุ่น Mexa-584L และความสามารถในการวัดการปล่อยมลพิษนั้น ได้แก่ ความสามารถในการวัดการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์สามารถวัดได้ในช่วง 0–500 ppm, ความสามารถในการวัดการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถวัดได้ในช่วง 0–10,000 ppm, ความสามารถในการวัดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สามารถวัดได้ในช่วง 0–50% Vol. และความสามารถในการวัดการปล่อยไฮโดรคาร์บอนสามารถวัดได้ในช่วง 0–500 ppm ขณะที่การวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำนั้นจะทำการวัดโดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูญเสียไปในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน โดยมีหลักการคือ ที่ช่วงเวลาหนึ่งขณะที่เครื่องยนต์ทำงานอยู่ในปั๊มเกอร์ที่เก็บน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์จะมีนำ

หนักอยู่ค่าค่าหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไป 60 วินาที น้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงในบีกเกอร์ก็จะลดลงนั่นเอง โดยในการทดลองนี้จะมีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ดังแผนภาพในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบเครื่องยนต์

จากรูปที่ 3.17 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบเครื่องยนต์ เพื่อการวัดการปล่อยมลพิษ และการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก โดยอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบไปด้วย

- 1) เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำสำหรับการทดสอบ (Diesel Engine)
- 2) ไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Eddy Current Dynamometer) สำหรับใช้ให้ภาระกระทำต่อเครื่องยนต์ดีเซล
- 3) โหลดเซลล์ (Load Cell) สำหรับวัดค่าแรงบิด (Torque)
- 4) เพลา และอุปกรณ์จับเชื่อมให้เพลลาของเครื่องยนต์ดีเซล และเพลลาจากไดนาโมมิเตอร์ให้หมุนร่วมกันได้ (Shaft and Coupling)
- 5) อุปกรณ์วัดความเร็วรอบของการหมุนของเพลลาเครื่องยนต์ (Encoder)
- 6) หน้าจอแสดงผลค่าแรงบิด และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ในที่นี้ใช้คอมพิวเตอร์ (Monitor Display)
- 7) อุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับไดนาโมมิเตอร์ สำหรับสร้างแรงเบรกให้กับเครื่องยนต์ (Regulated Power Supply)
- 8) ถังน้ำมันสำหรับใส่น้ำมันดีเซล (Diesel Fuel Beaker)
- 9) บีกเกอร์สำหรับใส่น้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ (Fuel Sampling For Test Beaker)
- 10) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล สำหรับชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ทดสอบ สำหรับหาอัตราการไหลเชิงมวลในการนำไปใช้คำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกออกมา (Weight Apparatus)
- 11) เครื่องมือวัดการปล่อยมลพิษ (Emission Gas Analyzer) โดยในการวัดการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Testo รุ่น 350 ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน ใช้เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Horiba รุ่น Mexa-584L

จากรูปที่ 3.17 ขั้นตอนในการวัดการปล่อยมลพิษนั้น ประกอบด้วย

- 1) เช็ความเรียบร้อยของอุปกรณ์ต่างๆ และจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆให้มีความพร้อมก่อนทำการทดสอบ
- 2) ทำการติดตั้งสายเซ็นเซอร์ (Sensor) จากโหลดเซลล์ (Load Cell) และอุปกรณ์วัดความเร็วรอบของการหมุนของเพลาเครื่องยนต์ (Encoder) เข้ากับอุปกรณ์แปลงสัญญาณที่ต่อกับหน้าจอแสดงผลค่าแรงบิด และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งในที่นี้ใช้คอมพิวเตอร์ (Monitor Display) และเปิดคอมพิวเตอร์ สำหรับแสดงผล ได้แก่ ค่าแรงบิด และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่วัดได้จากโหลดเซลล์ (Load Cell) และอุปกรณ์วัดความเร็วรอบของการหมุนของเพลาเครื่องยนต์ (Encoder) ตามลำดับ
- 3) ทำการติดตั้งสายไฟฟ้าจากอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้า (Regulated Power Supply) เข้ากับกับไดนาโมมิเตอร์ (Eddy Current Dynamometer) สำหรับสร้างแรงเบรกให้กับเครื่องยนต์
- 4) เปลี่ยนถ่ายน้ำมันสำหรับใช้ในการทดสอบเข้าไปในเครื่องยนต์ดีเซล กรณีที่ไม่ใช้น้ำมันดีเซลจากถังบรรจุน้ำมันของเครื่องยนต์ โดยเปิดวาล์ว (Fuel Value) น้ำมันจากปิกเกอร์ที่ใส่น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับทดสอบให้น้ำมันไหลจากปิกเกอร์เข้าไปไปที่เครื่องยนต์บริเวณปั๊มคูดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์
- 5) เมื่อเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเรียบร้อยแล้ว ทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ให้เครื่องยนต์ทำงาน
- 6) ปรับลิ้นเร่งของเครื่องยนต์ เพื่อเพิ่มรอบการหมุนของเพลาของเครื่องยนต์ให้ได้จำนวนรอบที่ต้องการสำหรับการทดสอบ ค่าความเร็วรอบของเพลาของเครื่องยนต์จะไปแสดงผลที่หน้าจอแสดงผล (Monitor Display)
- 7) เมื่อได้จำนวนรอบที่ต้องการแล้ว จากนั้น สร้างภาระกระทำกับเครื่องยนต์ โดยทำปรับป้อนจ่ายกระแสไฟฟ้าที่อุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้า (Regulated Power Supply) กระแสไฟฟ้าจะถูกจ่ายไปที่ ไดนาโมมิเตอร์ (Eddy Current Dynamometer) แล้วสังเกตที่หน้าจอแสดงผล (Monitor Display) ว่าค่าแรงบิด (Torque) ที่แสดงออกมาจากโหลดเซลล์ (Load Cell) นั้น เป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ เมื่อได้ภาระกระทำในลักษณะของค่าแรงบิด (Torque) ที่ต้องการแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษ
- 8) ก่อนหน้านั้น ระหว่างทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างสำหรับการทดสอบ จะต้องทำการติดตั้งโพรบเซ็นเซอร์ (Sensor) ที่ใช้วัดการปล่อยมลพิษ รวมถึงสายปลั๊กไฟเข้ากับตัวเครื่องมือวัดมลพิษทั้ง 2 เครื่อง ได้แก่ เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Testo รุ่น 350 และเครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Horiba รุ่น Mexa - 584L และเปิดเครื่องมือวัดมลพิษไว้เพื่อรอทำการวัดการปล่อยมลพิษหลังจากที่ทำการปรับความเร็วรอบของเพลาของเครื่องยนต์ และภาระกระทำกับเครื่องยนต์ในรูปของแรงบิดได้แล้ว
- 9) เมื่อปรับความเร็วรอบของเพลาของเครื่องยนต์ และภาระกระทำกับเครื่องยนต์ในรูปของแรงบิดได้ตามที่ต้องการแล้ว ทำการวัดมลพิษโดยการใส่โพรบเซ็นเซอร์ (Sensor) สำหรับใช้วัดการปล่อยมลพิษเข้าไปที่ท่อไอเสียของ

เครื่องยนต์ดีเซล จากนั้น จับเวลา 30 วินาทีในการวัดค่าการปล่อยมลพิษ เมื่อเวลาครบ 30 วินาทีแล้วให้ทำการบันทึกผลการปล่อยมลพิษ

10) เนื่องจากเครื่องมือวัดการปล่อยมลพิษมี 2 เครื่อง จึงต้องทำการวัดการปล่อยมลพิษทีละเครื่อง โดยทำตามวิธีในข้อก่อนหน้านี้ ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกัน

11) ทำการวัดการปล่อยมลพิษ 3 ครั้งเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษ

12) เมื่อทำการวัดมลพิษเสร็จแล้ว ให้ทำการปรับลดภาระที่กระทำกับเครื่องยนต์ลง แล้วดับเครื่องยนต์ จากนั้น ถายน้ำมันดีเซลเข้าไปให้เครื่องยนต์แล้วสตาร์ทเครื่องยนต์ให้ทำงาน เพื่อให้ น้ำมันดีเซลได้เข้าไปล้างน้ำมันเชื้อเพลิงตัวอย่างที่ใช้ทดสอบก่อนหน้านี้ให้หมดไป ก่อนจะทำการดับเครื่องยนต์เพื่อพักเครื่องยนต์สำหรับทำการวัดการปล่อยมลพิษในรอบถัดไป

13) ในรอบถัดมา เปลี่ยนตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบและถายน้ำมันเชื้อเพลิงตัวอย่างใหม่เข้าไปที่เครื่องยนต์ให้เรียบร้อย จากนั้น ดำเนินการทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษตั้งขึ้นตอนที่กล่าวมาก่อนหน้านี้เช่นเดิม

14) เมื่อทำการทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษเสร็จแล้ว ทำการจัดเก็บอุปกรณ์ต่างๆให้เรียบร้อย รวมถึงเช็คเพลลา และอุปกรณ์จับเชื่อมให้เพลลาของเครื่องยนต์ดีเซลและเพลลาจากไดนาโมมิเตอร์ (Shaft and Coupling) ให้มีความยึดติดกันให้แน่นอยู่เสมอ ถ้าเกิดอาการหลวม ก็ให้ทำการขันน็อตสำหรับยึดอุปกรณ์ทั้งสองให้แน่นเช่นเดิม

จากรูปที่ 3.17 ขั้นตอนในการวัดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิง ประกอบด้วย

1) วางเครื่องชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ทดสอบ (Weight Apparatus) ลงที่แท่นสำหรับวางเครื่องชั่งน้ำหนัก แล้วนำปีกเกอร์ที่ใส่น้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นตัวอย่างในการทดสอบวางลงบนเครื่องชั่งน้ำหนัก

2) ติดตั้งท่อทางเดินน้ำมันที่ปีกเกอร์ที่ใส่น้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นตัวอย่างในการทดสอบ แล้ววาล์ว น้ำมัน(Fuel Value) จากปีกเกอร์ที่ใส่น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับทดสอบให้น้ำมันไหลจากปีกเกอร์เข้าไปที่เครื่องยนต์บริเวณปั๊มดูดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

3) จากขั้นตอนในการวัดการปล่อยมลพิษ ในช่วงที่ปรับความเร็วรอบของเพลลาของเครื่องยนต์ และภาระกระทำกับเครื่องยนต์ในรูปของแรงบิดได้ตามที่ต้องการแล้ว ทำการเซ็ต 0 ที่เครื่องชั่งน้ำหนัก แล้วทำการจับเวลา 60 วินาที เมื่อเวลาผ่านไป 60 วินาทีแล้ว ให้ทำการหยุดจับเวลาและดูค่าน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงตัวอย่างที่หายไป ซึ่งจะมีค่าติดลบ (-) เนื่องจากเครื่องชั่งน้ำหนักเป็นแบบดิจิตอลตามที่กล่าวไปแล้วข้างต้น จึงสามารถแสดงผลในรูปตัวเลขที่ติดลบได้ จากนั้นทำการบันทึกผลการทดลอง

4) ทำการทดลอง 3 ครั้งเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบการวัดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิง

- 5) ดำเนินขั้นตอนการวัดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงแทรกเข้าไป ในขณะที่ทำการทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษ เพื่อให้ได้ผลของการทดสอบครบตามประเภทของตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ทดสอบ
- 6) เมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้ว ทำการจัดเก็บอุปกรณ์ เช่นเดียวกับดั่งที่กล่าวไปแล้วในขั้นตอนการวัดการปล่อยมลพิษ



รูปที่ 3.18 เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ ยี่ห้อ KAWAMA รุ่น KWM500D



รูปที่ 3.19 การติดตั้งเพลาเครื่องยนต์ดีเซลและโตนานอิมิตอร์



รูปที่ 3.20 โหลดเซลล์ (Load Cell) สำหรับวัดค่าแรงบิด



รูปที่ 3.21 การติดตั้งเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำกับไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.22 เครื่องมือวัดมลพิษไอเสีย



บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 บทนำ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำน้ำมันปาล์มดิบมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลในห้องปฏิบัติการ ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Trans-esterification) โดยใช้เบสเป็นสารเร่งปฏิกิริยา แล้วนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบนั้นมาปรับปรุงคุณภาพโดยกระบวนการกลั่น และใช้สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 0.05 กรัม ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งน้ำมันที่ใช้ทดสอบหาคุณสมบัติและสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้ใช้น้ำมันเหล่านั้น โดยมีทั้งหมด 6 ชนิด คือ 1. น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) 2. น้ำมันดีเซล 3. น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) 4. น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.) 5. น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) และ 6. น้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันที่ทดสอบได้นำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) ประกอบด้วย ความถ่วงจำเพาะ, ความหนืด, ความหนาแน่น, การกลั่น, ดัชนีซีเทน และค่าความร้อนเชื้อเพลิง รวมทั้งความบริสุทธิ์ รวมถึงผลจากการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ซึ่งผลการทดลอง และการอภิปรายผลกล่าวถึงในลำดับต่อไป

4.2 กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันนั้น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คือ ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นสารตั้งต้นน้ำหนัก 400 กรัม มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยกำหนดเงื่อนไขคือกำหนดให้ใช้เมทานอลหนักร้อยละ 45 ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเมทานอลจะมีน้ำหนัก 180 กรัม โดยอัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันปาล์มดิบต่อเมทานอล คือ 1 : 12 หรือถ้าใช้น้ำมันปาล์มดิบ 1 โมล จะต้องใช้เมทานอล 12 โมล ในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่สมบูรณ์ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) หนักร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบน้ำหนัก 8 กรัม มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และในขั้นตอนการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรอลนั้น เมื่อเกิดการแยกชั้นน้ำมันไบโอดีเซลที่มีความหนาแน่นน้อยกว่ากลีเซอรอลจะลอยอยู่ด้านบนเหนือกลีเซอรอลสามารถมองเห็นการแยกชั้นได้อย่างชัดเจนด้วยตาเปล่า แล้วนำผลผลิตเฉพาะน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมาคำนวณหาเป็นร้อยละของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันภายใต้เงื่อนไขต่างๆ เช่น อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น หรือในที่นี้ตัวแปรต้น คือปริมาณน้ำมันปาล์มดิบซึ่งเป็นสารตั้งต้น, ตัวแปรควบคุมคือเงื่อนไขในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ เช่น ปริมาณเมทานอล, ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์, อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น สุดท้ายตัวแปรตามคือปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตได้ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

การวัดค่าต่างๆ	การทดลอง		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มดิบ (กรัม)	400.23	400.06	400.12
เมทานอล (กรัม)	180.20	180.01	180.18
โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (กรัม)	8.02	8.08	8.11
อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (°C)	62.00	61.00	61.00
เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)	30.00	30.00	30.00
ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (กรัม)	360.94	362.84	361.68
น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (มิลลิลิตร)	423.59	425.63	424.01
ปริมาณกลีเซอริน (กรัม)	28.46	26.33	27.59
ปริมาณที่สูญเสีย (กรัม)	10.83	10.89	10.85
ร้อยละของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซล (%)	90.18	90.70	90.39
ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซล (%)	90.42		

หมายเหตุ ค่าความแปรปรวนจากการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยปฏิกิริยากระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันทั้ง 3 ครั้ง หรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ ± 0.96 กรัม หรือ ± 1.08 มิลลิลิตร

จากตารางที่ 4.1 การคำนวณหาค่าร้อยละของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ จากสมการที่ 4.1 คือ

$$\text{ร้อยละการเกิดน้ำมันไบโอดีเซล} = (W_{\text{น้ำมันไบโอดีเซลปาล์ม}} (g) \times 100) / W_{\text{น้ำมันปาล์มดิบ}} (g) \quad (4.1)$$

ในการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ได้ผลการทดลองออกมาเป็นปริมาณของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในหน่วยของน้ำหนัก มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 360 กรัม แต่ถ้าคิดปริมาณของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในหน่วยของปริมาตร มีค่าอยู่ที่ประมาณ 424 มิลลิลิตร ซึ่งปริมาณของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในหน่วยของปริมาตร หาได้จากสมการที่ 4.2

$$V_{\text{ไบโอดีเซลน้ำมันปาล์มดิบ}} (ml) = (W_{\text{น้ำมันไบโอดีเซลปาล์มดิบ}} (g) \times 1,000 \text{ ml}) / 852 \text{ g} \quad (4.2)$$

เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ 1,000 มิลลิลิตร มีน้ำหนักเท่ากับ 852 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 °C และจากการทดลองนี้ปริมาณของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่สูญเสียไปนั้น สาเหตุเกิดจากการกรองน้ำมันด้วยผ้าขาวบางสำหรับการกรองโดยเฉพาะ ซึ่งปริมาณของน้ำมันที่สูญเสียไปสามารถหาได้จากสมการที่ 4.3

$$V_{\text{ไบโอดีเซลปาล์มดิบที่สูญเสีย}} (g) = W_{\text{น้ำมันปาล์มดิบ}} (g) - (W_{\text{ไบโอดีเซลปาล์มดิบ}} (g) + W_{\text{กลีเซอรอล}} (g)) \quad (4.3)$$

ผลที่วัดได้จากการทดลอง 3 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ มีค่าเท่ากับ 90.42% และพบว่า การกรองน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยผ้าขาวบางจะทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณของน้ำมันไปบางส่วน เนื่องจากผ้าขาวบางที่ใช้กรองจะดูดซับน้ำมันที่ผ่านการกรองไว้บางส่วน ยิ่งถ้ากรองด้วยผ้าขาวบางหลายครั้งส่งผลให้ปริมาณที่สูญเสียไปมีค่าเพิ่มมากขึ้น จึงควรหาอุปกรณ์การกรองที่ไม่ดูดซับน้ำมันไว้ในปริมาณมาก เช่น ตะแกรงลวดสำหรับกรอง ขนาด 1 ไมครอน เป็นต้น

หลังจากได้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยากระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแล้ว รวมถึงการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น (Redistillation Process) ที่จะกล่าวถึงในหัวข้อ 4.3 เป็นลำดับถัดไปนั้น น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ได้มาถูกแบ่งออกเป็นบางส่วนสำหรับนำสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมเข้าไปกับน้ำมันไบโ

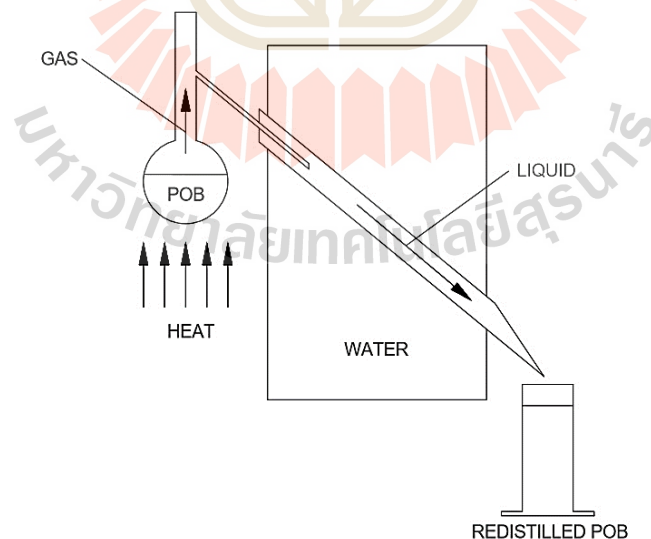
ดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ใช้เครื่องมือเขย่าอัลตราโซนิก (Ultrasonic Shaker) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ละลายเป็นเนื้อเดียวกันเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ จะถูกนำมาใช้ที่ปริมาณน้ำหนัก 0.05 กรัม ต่อน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบปริมาณ 1 ลิตร โดยที่สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ถูกนำมาใช้คิดเป็นร้อยละ 0.005 ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สัดส่วนในการผสมน้ำมันประเภทต่างๆ

ประเภทน้ำมัน เชื้อเพลิง	สัดส่วน (มิลลิลิตร)			
	Diesel	ไบโอดีเซลปาล์ม	สารเติมแต่ง ZnO	รวมเป็น
B100	0.00	1,000.00	-	1,000.00
B100+ZnO	0.00	1,000.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.05
R-B100	0.00	1,000.00	-	1,000.00
R-B100+ZnO	0.00	1,000.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.05

4.3 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น

สำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่นนั้นเป็นการนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ที่ผลิตออกมาในขั้นตอนก่อนหน้านี้มาทำการกลั่น ซึ่งให้ความร้อนแก่น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) จนกระทั่งเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส โดยที่แก๊สที่ระเหยนั้นคือน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (Redistilled B100) ที่ต้องการ โดยใช้เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure ซึ่งตัวแปรต้นจากการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น คือ ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบก่อนการกลั่น, ตัวแปรควบคุม คือ เงื่อนไขในการกลั่น ซึ่งกลั่นให้ได้น้ำมันออกมาที่ปริมาณร้อยละ 90 จากปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ และสุดท้ายตัวแปรตาม คือ ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหลังการกลั่น ดังที่แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น

จากรูปที่ 4.1 น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้รับความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 216 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส แล้วแก๊สที่ระเหยขึ้นมาจากน้ำมันไบโอดีเซลถูกนำกลับมาควบแน่นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้งาน ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ที่นำมากลั่นต่อ

หนึ่งครั้งใช้ที่ปริมาณ 400 มิลลิลิตร และกลั่นออกมาให้ได้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) ในปริมาณร้อยละ 90 หรือต้องกลั่นน้ำมันออกมาให้ได้ในปริมาณ 360 มิลลิลิตร

หลังจากการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่นแล้วนั้น นำมาทดสอบหาค่าความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซล โดยตั้งสมมติฐานว่า น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ 96.5 % โดยมวลของน้ำมันเชื้อเพลิง ตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556 ซึ่งในการทดสอบใช้เครื่องมือเรียกว่า “โครมาโทกราฟี (Chromatography)” ภายใต้มาตรฐาน EN 14103 ซึ่งในการทดลองนี้ โครมาโทกราฟีที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่อาคารเครื่องมือ 10 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นแบบแก๊ส (Gas Chromatography, GC) ใช้สำหรับแยกสารผสมที่เป็นแก๊ส โดยมีเฟสเคลื่อนที่เป็นแก๊สเช่นกันแต่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารผสม โดยมีสารละลายเมทิล-เฮปทาดีเคนอเอต (Methyl-heptadecanoate) ทำหน้าที่เป็นตัวพา (Carrier) สารผสม ส่วนเฟสอยู่กับที่อาจเป็นของแข็งหรือของเหลวที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ เมื่อทั้งตัวพาและสารผสมเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์นี้ เฟสอยู่กับที่ในคอลัมน์ดึงดูดด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์ตามความเป็นขั้วของสารกับโมเลกุลในสารผสมทำให้องค์ประกอบในสารผสมถูกพาไปด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน สารผสมถูกแยกออกจากกันนั่นเอง

ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ มีตัวแปรต้น คือ ประเภทของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งในที่นี้แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100), ตัวแปรควบคุม คือ การวัดค่าความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 2 ประเภทด้วยแก๊ส โครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC) โดยมีเมทิล-เฮปทาดีเคนอเอตเป็นสารละลายที่ใช้ในการวัด และสุดท้ายตัวแปรตาม คือ กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 2 ประเภท ซึ่งส่งผลถึงค่าความบริสุทธิ์ หรือปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 2 ประเภท

สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันประเภทต่างๆเป็นส่วนประกอบหลัก ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

จำนวนคาร์บอน	ชื่อกรดไขมัน
C12 : 0	Lauric Acid
C14 : 0	Myristic Acid
C16 : 0	Palmitic Acid
C18 : 0	Stearic Acid
C18 : 1	Oleic Acid
C18 : 2	Linoleic Acid

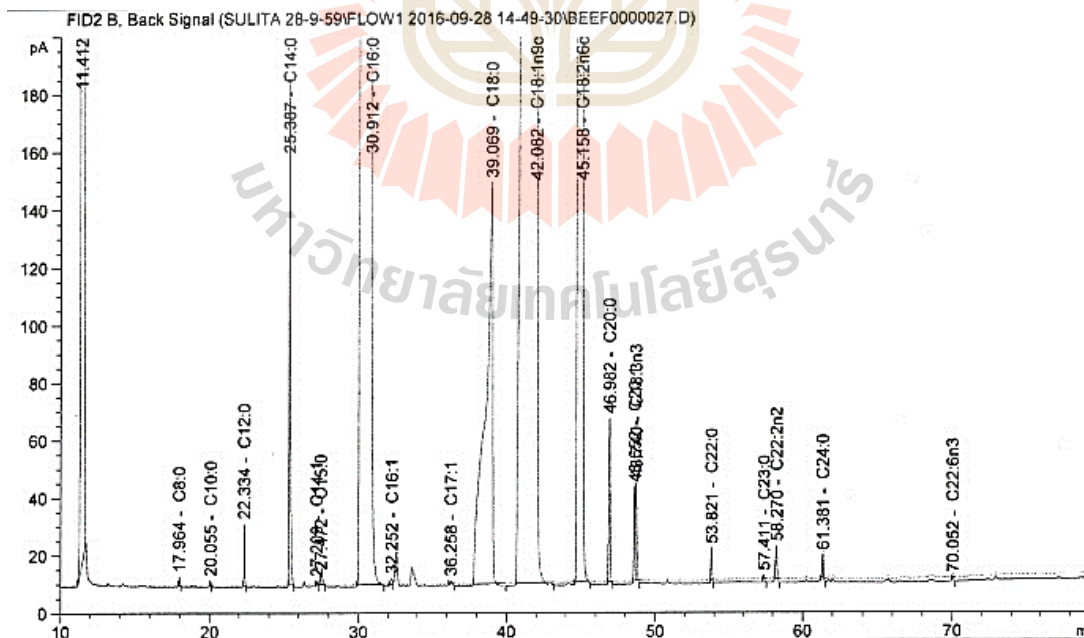
จากกรดไขมันประเภทต่างๆในตารางที่ 4.3 นั้น เมื่อทำการทดลองหาองค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ในหัวข้อ 4.2 และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) ในหัวข้อ 4.3 ข้างต้น ด้วยวิธีการโครมาโทกราฟี ซึ่งเป็นแบบแก๊ส โครมาโทกราฟีพบว่า องค์ประกอบต่างๆ ออกมาในลักษณะเป็นจุดยอดสูงสุดของกราฟ (Peak) แสดงถึงประเภทของกรดไขมันที่แตกต่างกันออกไป ดังในกราฟรูปที่ 4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆใน

น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และรูปที่ 4.3 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100)

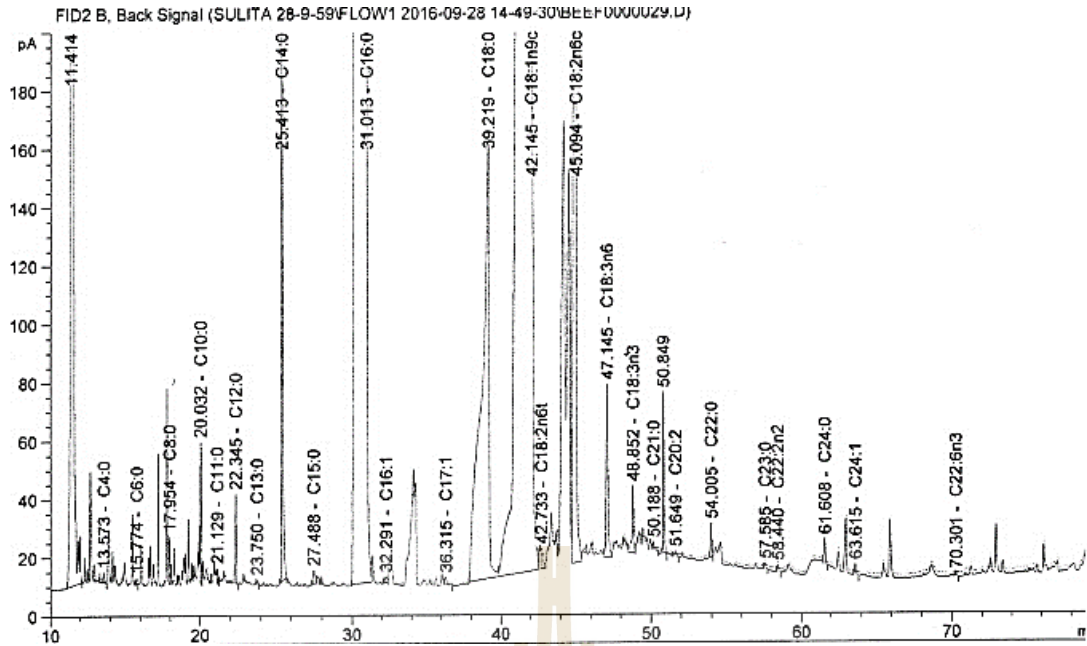
รูปที่ 4.2 และ 4.3 พบว่า องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆ ในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) มีจำนวนจุดยอดสูงสุดของกราฟ (Peak) จำนวนมากกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ซึ่งหมายถึง R-B100 มีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนมากกว่า B100 โดยในทางทฤษฎีนั้น จำนวนจุดยอดสูงสุดของกราฟ (Peak) ของ B100 และ R-B100 ต้องมีจำนวนเท่ากัน

แต่ในทางปฏิบัตินั้น ปัจจัยที่ทำให้ผลการทดลองไม่เป็นไปตามทฤษฎีเนื่องมาจาก กระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการกลั่นนั้น เครื่องมือที่ใช้กลั่นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ คือเครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure หรือเป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาอุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างน้ำมัน เป็นผลพลอยได้หลังจากการทดสอบ ซึ่ง R-B100 มีเสถียรภาพในการเก็บรักษามากกว่า B100 กล่าวคือ เมื่อเก็บรักษาน้ำมันเชื้อเพลิงไว้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง B100 มีการตกตะกอนเกิดขึ้น ในขณะที่ R-B100 ไม่เกิดการตกตะกอน ซึ่งตะกอนที่เกิดขึ้นนั้นส่งผลเสียโดยตรงต่อคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง มีการใช้เครื่องมือนี้ทดสอบกับน้ำมันเชื้อเพลิงหลายประเภท เช่น น้ำมันดีเซล, น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง, น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว เป็นต้น ส่งผลให้ R-B100 เกิดการปนเปื้อนไปกับน้ำมันประเภทอื่น เนื่องจากการทำความสะอาดคือเครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure ที่ไม่ดีพอหลังจากการทดสอบ ส่งผลให้จำนวนจุดยอดสูงสุดของกราฟ (Peak) ของ R-B100 มีองค์ประกอบมากกว่า B100 อย่างที่ไม่ควรจะเป็นนั่นเอง

จากการคำนวณเพื่อหาความบริสุทธิ์ จาก B100 และ R-B100 พบว่ามีความบริสุทธิ์ 92.17 % และ 93.13 % ตามลำดับ ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556



รูปที่ 4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆ ในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100)



รูปที่ 4.3 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่าน กระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100)

4.4 การวัดคุณสมบัติของน้ำมัน

งานวิจัยนี้วัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ โดยมีตัวแปรต้นจากการวัด คือประเภทของน้ำมันที่ทำการวัดคุณสมบัติทั้ง 6 ประเภท ได้แก่ น้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโน ซิงค์ ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) และน้ำมันปาล์มดิบ

ตัวแปรควบคุม คือ การวัดคุณสมบัติของน้ำมัน 5 ประเภทรวมถึงเงื่อนไขจากการวัดคุณสมบัติของน้ำมันในแต่ละประเภท ได้แก่ ความหนืด ทำการวัดความหนืดภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิของน้ำมันตัวอย่างที่ใช้วัดต้องมีอุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส, ความถ่วงจำเพาะ ทำการวัดความถ่วงจำเพาะภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิของน้ำมันตัวอย่างที่ใช้วัดต้องมีอุณหภูมิเท่ากับ 15.6 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบ ทำการวัดอุณหภูมิการกลั่นภายใต้เงื่อนไขตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบจะต้องมีปริมาณ 100 มิลลิลิตร และต้องกลั่นตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบออกมาให้ได้ที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบ หรือปริมาณ 50 มิลลิลิตร, ค่าดัชนีซีเทน เป็นการประมาณค่าออกมาโดยการคำนวณซึ่งใช้ข้อมูลจากการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ และอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบในการช่วยประมาณค่าดัชนีซีเทนออกมา และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ทำการวัดภายใต้เงื่อนไขปริมาณของน้ำมันตัวอย่างมีน้ำหนักอยู่ที่ 0.25 กรัม โดยการวัดคุณสมบัติของน้ำมันทั้ง 5 ประเภทอยู่ภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM)

สุดท้ายตัวแปรตาม คือ ผลลัพธ์จากการวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 5 ประเภท พบว่าคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นไปตามที่แสดงดังตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.4

จากตารางที่ 4.4 พบว่าโดยรวม R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g. มีคุณสมบัติที่ดีกว่า B100, B100+ZnO 0.05 g. แต่ยังคงดีกว่าคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล ซึ่งคุณสมบัติด้านความหนืดของ B100,

B100+ZnO 0.05 g. และน้ำมันปาล์มดิบ มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ขณะที่คุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะของ B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g. นั้น เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ รวมไปถึงค่าดัชนีซีเทนมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ว่าด้วยการกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549 ที่กำหนดไว้ (≥ 45)

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของน้ำมันประเภทต่างๆ

Type	Viscosity	Specific Gravity	Distillation @ 50% recovered	Cetane Index	Heating Value
	(mm ² /s)	-	(°C)	-	(MJ/kg)
	ASTM D445 1.8-8.0	ASTM D1298 0.81-0.92	ASTM D86 (ไม่กำหนด)	ASTM D976 ≥ 45	ASTM D240 (ไม่กำหนด)
Diesel	3.619 ± 0.00	0.810 ± 0.00	300.00 ± 0.00	67.47 ± 0.00	45.424
B100	8.013 ± 0.00	0.875 ± 0.00	328.00 ± 2.00	47.92 ± 2.00	38.592
B100+ZnO 0.05 g.	8.054 ± 0.58	0.875 ± 0.00	328.00 ± 2.00	47.92 ± 2.00	37.954
R-B100	4.912 ± 0.58	0.870 ± 0.00	330.00 ± 2.00	49.44 ± 2.00	39.058
R-B100+ZnO 0.05 g.	4.953 ± 0.58	0.875 ± 0.00	332.00 ± 2.00	48.13 ± 2.00	38.420
Palm Oil	38.97 ± 0.58	-	-	-	-

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบร้อยละการเพิ่มขึ้น-ลดลงของคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมัน เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล (ใช้น้ำมันดีเซลเป็นมาตรฐาน)

Type	Viscosity	Specific Gravity	Distillation @ 50% recovered	Cetane Index	Heating Value
	(mm ² /s)	-	(°C)	-	(MJ/kg)
	ASTM D445 1.8-8.0	ASTM D1298 0.81-0.92	ASTM D86	ASTM D976 ≥ 45	ASTM D240
Diesel (Standard)	3.619	0.810	300.00	67.47	45.424
B100	+121.41%	+8.02%	+9.33%	-28.98%	-15.04%
B100+ZnO 0.05 g.	+122.55%	+8.02%	+9.33%	-28.98%	-16.45%
R-B100	+35.71%	+7.41%	+10.00%	-26.72%	-14.01%
R-B100+ZnO 0.05 g.	+36.85%	+8.02%	+10.67%	-28.66%	-15.42%
Palm Oil	+976.82	+X	+X	-X	-X

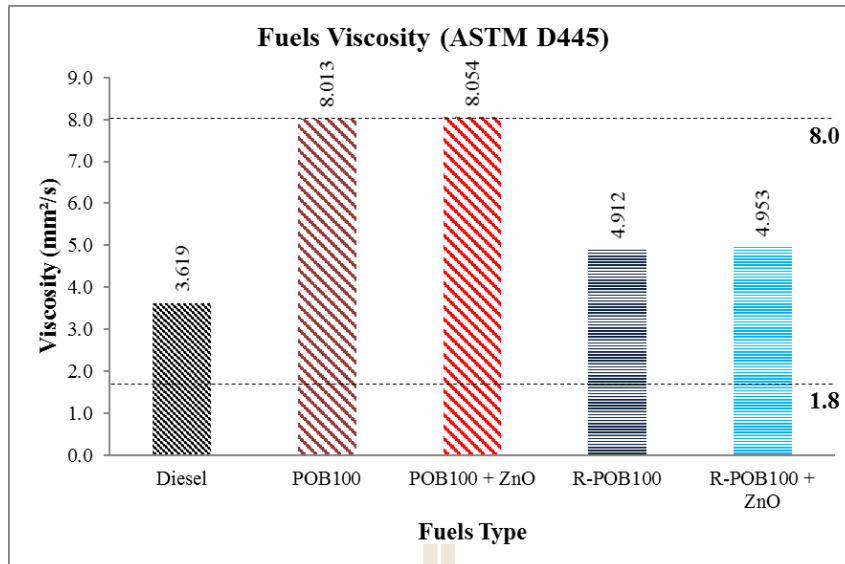
หมายเหตุ + คือ เพิ่มขึ้น - คือ ลดลง และ X คือ ไม่ทดสอบ

4.4.1 ความหนืด (Viscosity)

การวัดค่าความหนืดภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) D445 โดยนำน้ำมันมาวัดหาค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้หลอดทดลองวัดความหนืดขนาด 300 และมีค่าคงที่ของหลอดทดลองเท่ากับ 0.2585 mm²/s² ทำการวัดโดยการจับเวลาเพื่อสังเกตว่า น้ำมันไหลจากจุดอ้างอิงเริ่มต้นจนไปถึงจุดอ้างอิงสุดท้ายของหลอดทดลองวัดความหนืดที่เวลาที่วินาที จากนั้นจึงนำเวลาที่ได้นี้มาคำนวณหาค่าความหนืดด้วยสมการ

$$\text{Viscosity (cSt)} = T_{\text{การไหลของน้ำมัน}} (\text{s}) \times 0.2585 (\text{mm}^2/\text{s}^2) \quad (4.5)$$

ซึ่งจากการทดลองวัดค่าความหนืด ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.4 ค่าความหนืดที่วัดได้จากน้ำมันประเภทต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM D445

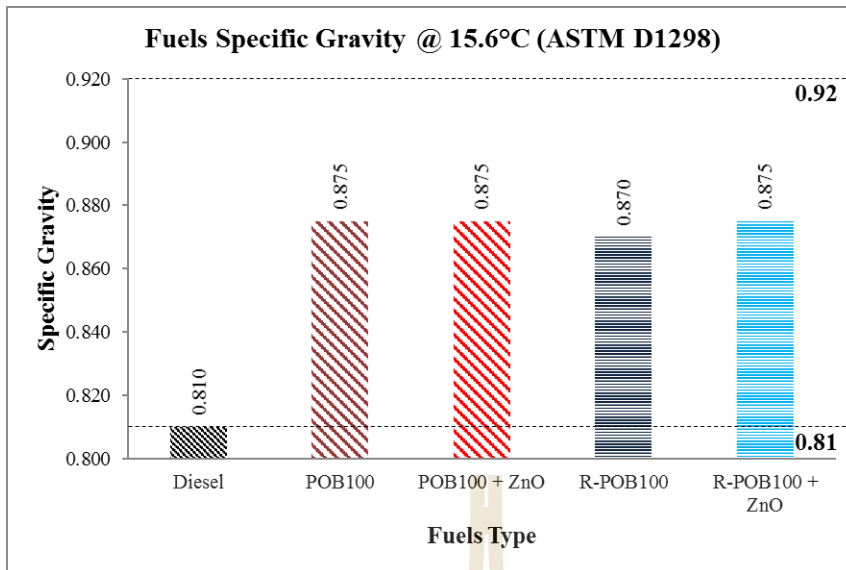


รูปที่ 4.4 ค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 ผลการทดลองพบว่า คุณสมบัติด้านความหนืดของ B100, B100 + ZnO 0.05 g., R - B100, และ R-B100+ZnO 0.05 g. มีค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซล 121.41%, 122.55%, 35.71% และ 36.85% ตามลำดับ โดยค่าความหนืดของน้ำมัน R - B100, และ R-B100+ZnO 0.05 g. มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและอยู่ภายใต้มาตรฐาน ขณะที่ความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบนั้นมีค่าความหนืดมากที่สุดที่ 38.97 mm²/s ซึ่งมากกว่าน้ำมันดีเซลถึง 976.82 % โดยที่ความหนืดนั้นมีผลต่อการกระจายตัวเป็นละอองฝอยของน้ำมันเมื่อถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความหนืดที่น้อยจะส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของน้ำมันได้ดี ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

4.4.2 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

การวัดค่าความถ่วงจำเพาะภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) D1298 โดยนำน้ำมันมาวัดหาค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ในการวัดหาค่าความถ่วงจำเพาะ ซึ่งไฮโดรมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดนั้น มีความละเอียดในการวัดอยู่ที่ 0.005 และเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย ใช้วิธีในการวัดโดยใส่ไฮโดรมิเตอร์ลงในน้ำมันที่ถูกใส่ไว้ในกระบอกตวงก่อนหน้านั้น แล้วสังเกตสเกล (Scale) อ่านค่าของไฮโดรมิเตอร์ที่ลอยอยู่ตรงกับระดับผิวของน้ำมัน และทำการอ่านค่าที่วัดได้จากน้ำมันประเภทต่างๆ ซึ่งจากการทดลองวัดค่าความถ่วงจำเพาะนั้น ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5

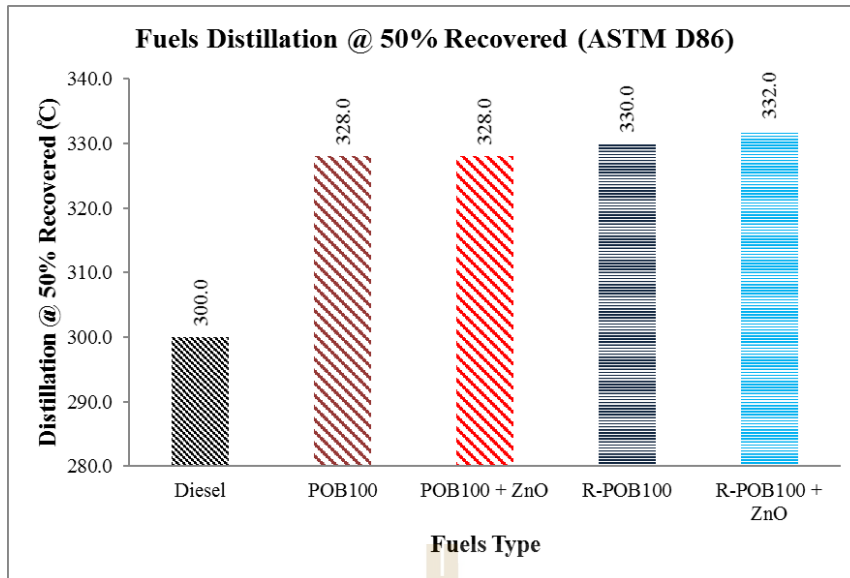


รูปที่ 4.5 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 ผลการทดลองพบว่า คุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะของน้ำมันทุกประเภท อยู่ภายใต้มาตรฐาน ซึ่งน้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g. มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำมันดีเซล 8.02%, 8.02%, 7.41% และ 8.05% ตามลำดับ ความถ่วงจำเพาะมากขึ้นทำให้ค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำมันลดลงไป รวมไปถึงทำให้ดัชนีซีเทนลดลงทำให้การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และถ้าความหนาแน่นของน้ำมันสูง อัตราการไหลโดยมวลของน้ำมันก็จะสูงขึ้น ส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่มากขึ้นตามไปด้วย

4.4.3 อุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างน้ำมัน (Distillation at 50% recovered)

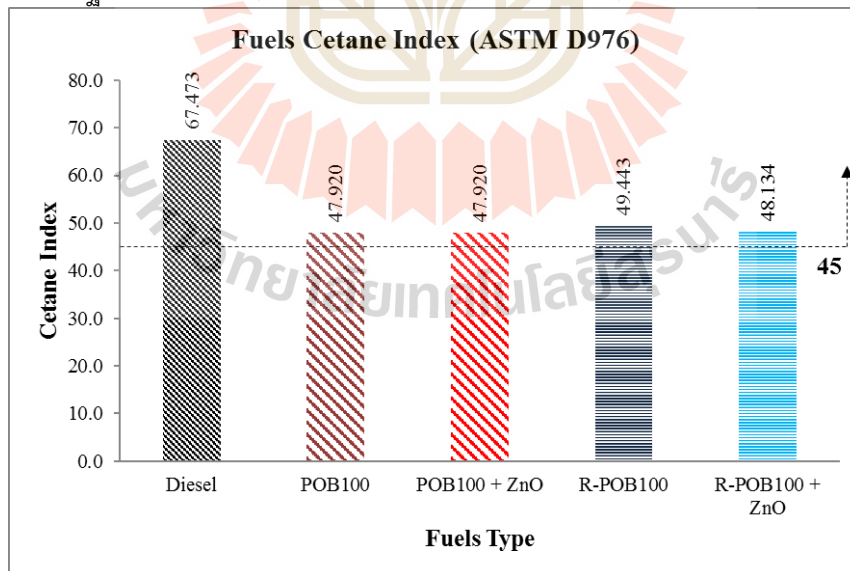
การวัดอุณหภูมิการกลั่นภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) D86 ซึ่งเป็นการวัดอุณหภูมิของการกลั่นของน้ำมันตัวอย่างที่ร้อยละ 50 ของปริมาณน้ำมันตัวอย่าง โดยใช้ น้ำมันตัวอย่างในการทดสอบที่ 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่น้ำมันตัวอย่างเริ่มกลั่นตัว ในการทดสอบมีการกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบคือ อัตราการไหลของน้ำมันที่กลั่นออกมาได้ มีค่าอยู่ระหว่าง 4-5 มิลลิลิตร/นาที่โดยในการทดสอบนั้น ทำการจับเวลาในการกลั่นน้ำมันในแต่ละช่วง ได้แก่ การกลั่นจนได้น้ำมันหยดแรกไปจนถึงกลั่นได้น้ำมันปริมาณ 10 มิลลิลิตร, กลั่นได้น้ำมันปริมาณ 10 มิลลิลิตร จนถึง 20 มิลลิลิตร, กลั่นได้น้ำมันปริมาณ 20 มิลลิลิตร จนถึง 30 มิลลิลิตร, กลั่นได้น้ำมันปริมาณ 30 มิลลิลิตร จนถึง 40 มิลลิลิตร และกลั่นได้น้ำมันปริมาณ 40 มิลลิลิตร จนถึง 50 มิลลิลิตร ซึ่งแต่ละช่วงของการกลั่นต้องควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันที่กลั่นออกมาด้วยการจับเวลาให้อยู่ในช่วง 2-2.30 นาที และทำการอ่านค่าอุณหภูมิในแต่ละช่วงจากเทอร์โมมิเตอร์ แล้วบันทึกค่าอุณหภูมิที่วัดได้ ซึ่งผลที่ได้จากการวัดแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 อุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ จากตารางที่ 4.5 และ 4.5 ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของน้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g. มีค่าอุณหภูมิการกลั่นที่ 50% มากกว่าน้ำมัน ดีเซล 9.33%, 9.33%, 10.00% และ 10.67% ตามลำดับ อุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันนั้น ส่งผลต่อสมรรถนะ ของเครื่องยนต์ การกลั่นที่ร้อยละ 50 เป็นส่วนที่ระเหยได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อให้เครื่องยนต์ร้อนขึ้นได้ เร็ว มีการกระจายตัวของน้ำมันไปยังสูบต่างๆ ได้สม่ำเสมอขึ้นช่วยให้แรงเครื่องได้เรียบ

4.4.4 ดัชนีซีเทน (Cetane Index)

การหาค่าดัชนีซีเทนภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) D976 โดยวัดค่าความถ่วงจำเพาะ API ตามมาตรฐาน ASTM D1298 และอุณหภูมิการกลั่นของน้ำมัน ที่ร้อยละ 50 ตามมาตรฐาน ASTM D86 ทำให้สามารถนำไปคำนวณหาค่าดัชนีซีเทน แสดงดังรูปที่ 4.7



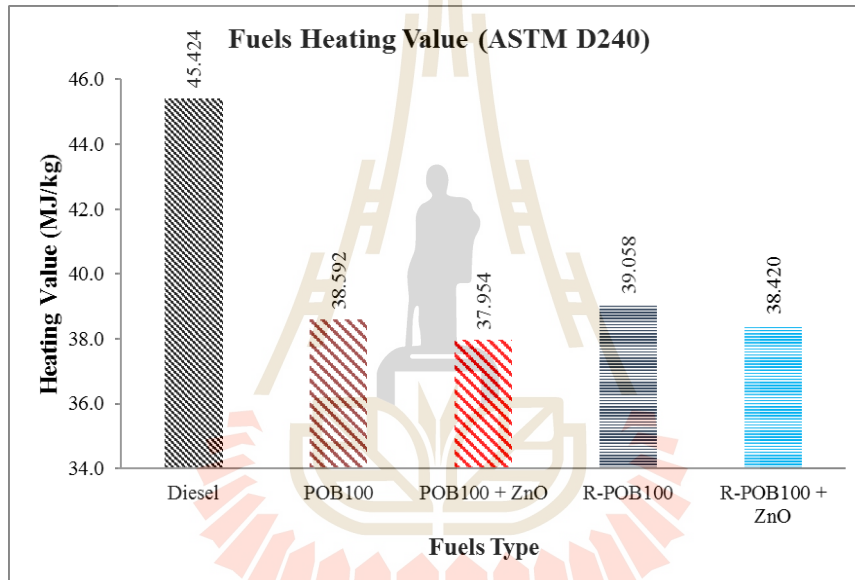
รูปที่ 4.7 ค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 ผลการทดลองพบว่าค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันทุกประเภทอยู่ภายใต้ มาตรฐานว่า ซึ่งน้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g. มีค่าดัชนีซีเทนน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 28.98%, 28.98%, 26.72% และ 28.66% ตามลำดับ ค่าดัชนีซีเทนบอกถึงความสามารถในการผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง ซึ่งหมายถึงคุณภาพการจุดติดไฟของน้ำมันนับตั้งแต่ น้ำมันเริ่มถูกฉีด เข้าสู่ห้องเผาไหม้ จนกระทั่งเกิดเปลวไฟขึ้น ช่วงระยะเวลานี้เรียกว่า “ความล่าช้าในการจุดติดไฟ” (Ignition

Delay) น้ำมันที่ทำให้เกิดช่วงระยะเวลาสั้นจะมีค่าดัชนีซีเทนที่สูง ทำให้สามารถจุดติดไฟได้ง่าย, เครื่องยนต์สตาร์ทติดได้ง่ายในขณะที่มีอุณหภูมิต่ำหรืออยู่ในช่วงฤดูหนาว, เครื่องยนต์ร้อนได้เร็วขึ้นโดยไม่เกิดควันขาว แต่ในขณะเดียวกันถ้าดัชนีซีเทนสูงเกินไปก็ส่งผลให้เครื่องยนต์ไม่มีกำลัง และค่าดัชนีซีเทนที่สูงจะส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง

4.4.5 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value)

การวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) D240 ใช้เครื่องมือบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ซึ่งค่าความร้อนเชื้อเพลิงหมายถึงปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้นๆ 1 หน่วยมวลสำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและของเหลว หรือ 1 หน่วยปริมาตรสำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นแก๊ส เมื่อเผาไหม้หมดอย่างสมบูรณ์ สำหรับการเปรียบเทียบว่าเชื้อเพลิงชนิดใดให้พลังงานความร้อนได้มากกว่ากันสามารถทำได้โดยนำเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมาต้มน้ำในปริมาตรเท่ากัน ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากัน เชื้อเพลิงชนิดใดใช้หมดไปน้อยที่สุด เชื้อเพลิงนั้นจะมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงมากแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 ผลการทดลองพบว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงของ B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 15.04%, 16.45%, 14.01% และ 15.42% ตามลำดับ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงบ่งชี้ถึงพลังงานที่ได้รับจากเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ ในปริมาณหนึ่งหน่วยเท่ากันเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน โดยที่น้ำมันที่มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมากส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง

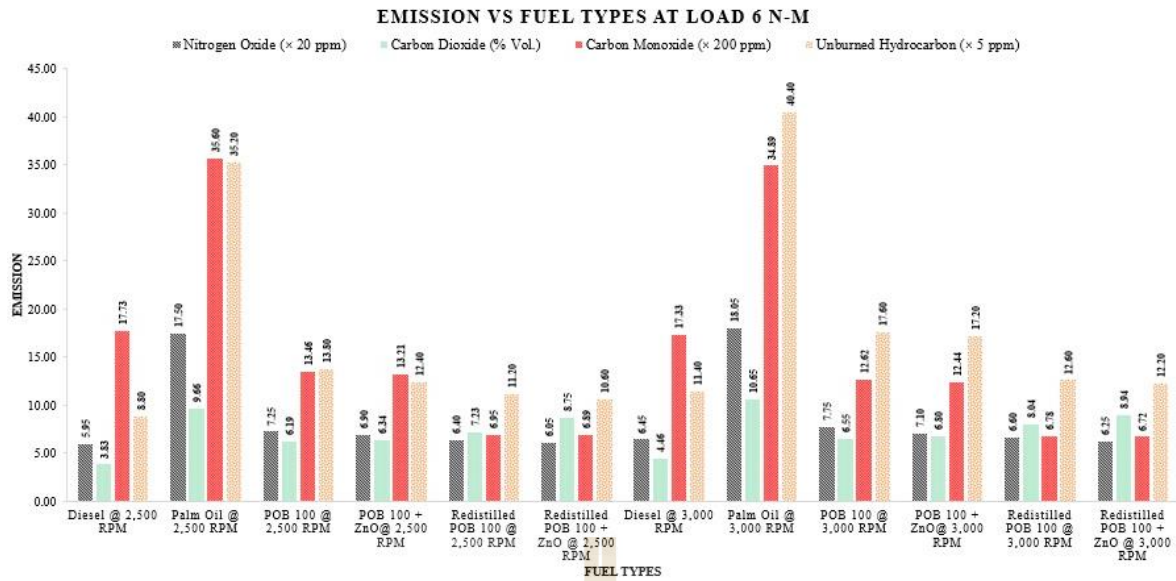
4.5 การทดสอบการปล่อยมลพิษ

งานวิจัยนี้ทำการวัดการปล่อยมลพิษหลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์ ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์, คาร์บอนมอนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน โดยทำการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ที่ 6 นิวตันเมตร ซึ่งวัดค่าการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Testo รุ่น 350 ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรคาร์บอนใช้เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Horiba รุ่น Mexa-584L

ซึ่งการทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษนั้น ตัวแปรต้นจากการทดสอบ คือ ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง 6 ประเภท ได้แก่ น้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) และน้ำมันปาล์มดิบ ในขณะที่ตัวแปรควบคุม คือ เงื่อนไขในการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ที่ภาระกระทำที่ 6 นิวตันเมตร และใช้เวลาในการวัดการปล่อยมลพิษที่ 30 วินาที ในส่วนสุดท้ายตัวแปรตาม คือ ปริมาณการปล่อยมลพิษทั้ง 4 ประเภทที่วัดออกมาได้ ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์, คาร์บอนมอนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่ามลพิษของน้ำมันประเภทต่างๆที่วัดได้

Engine Speed	Type	NO _x (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (% Vol.)	HC (ppm)
2,500	Diesel (Standard)	119 ± 1.00	3546 ± 3.79	3.83 ± 0.01	44 ± 1.53
	B100	145 ± 2.00	2692 ± 3.00	6.19 ± 0.08	69 ± 20.8
	B100+ZnO 0.05 g.	138 ± 2.00	2642 ± 2.52	6.34 ± 0.01	62 ± 2.08
	R-B100	128 ± 1.53	1390 ± 4.04	7.23 ± 0.06	56 ± 0.58
	R-B100+ZnO 0.05 g.	121 ± 1.53	1378 ± 2.08	8.75 ± 0.05	53 ± 2.52
	Palm Oil	350 ± 1.00	7120 ± 1.53	9.66 ± 0.03	176 ± 2.52
3,000	Diesel (Standard)	129 ± 2.00	3466 ± 1.53	4.46 ± 0.01	57 ± 1.15
	B100	155 ± 2.52	2523 ± 2.52	6.55 ± 0.06	88 ± 1.53
	B100+ZnO 0.05 g.	142 ± 1.00	2488 ± 1.53	6.80 ± 0.02	86 ± 2.08
	R-B100	132 ± 2.00	1356 ± 3.51	8.04 ± 0.06	63 ± 2.00
	R-B100+ZnO 0.05 g.	125 ± 1.00	1344 ± 3.61	8.94 ± 0.04	61 ± 1.00
	Palm Oil	361 ± 0.58	6978 ± 2.00	10.65 ± 0.03	202 ± 2.00



รูปที่ 4.9 การปล่อยมลพิษของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

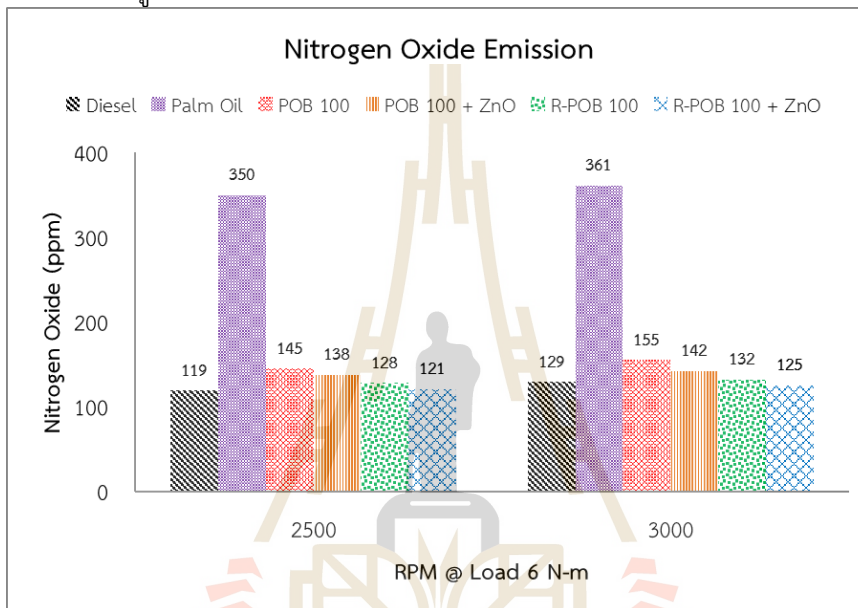
ตารางที่ 4.7 ร้อยละการเพิ่มขึ้น-ลดลงของมลพิษของน้ำมัน เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

Engine Speed	Type	NO _x (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (% Vol.)	HC (ppm)
2,500	Diesel Standard)	119	3546	3.83	44
	B100	+21.85%	-24.08	+61.62	+56.82
	B100+ZnO 0.05 g.	+15.97%	-25.49	+65.54	+40.91
	R-B100	+7.56%	-60.80	+88.86	+27.27
	R-B100+ZnO 0.05 g.	+1.68%	-61.14	+128.46	+20.45
	Palm Oil	+194.12%	+100.79	+152.31	+300.00
3,000	Diesel (Standard)	129	3466	4.46	57
	B100	+20.16%	-27.21	+46.94	+54.39
	B100+ZnO 0.05 g.	+10.08%	-28.22	+52.54	+50.88
	R-B100	+2.33%	-60.88	+80.19	+10.53
	R-B100+ZnO 0.05 g.	+3.10%	-61.22	+100.45	+7.02
	Palm Oil	+179.84%	+101.33	+138.86	+254.39

หมายเหตุ + คือ เพิ่มขึ้น และ - คือ ลดลง

4.5.1 ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide)

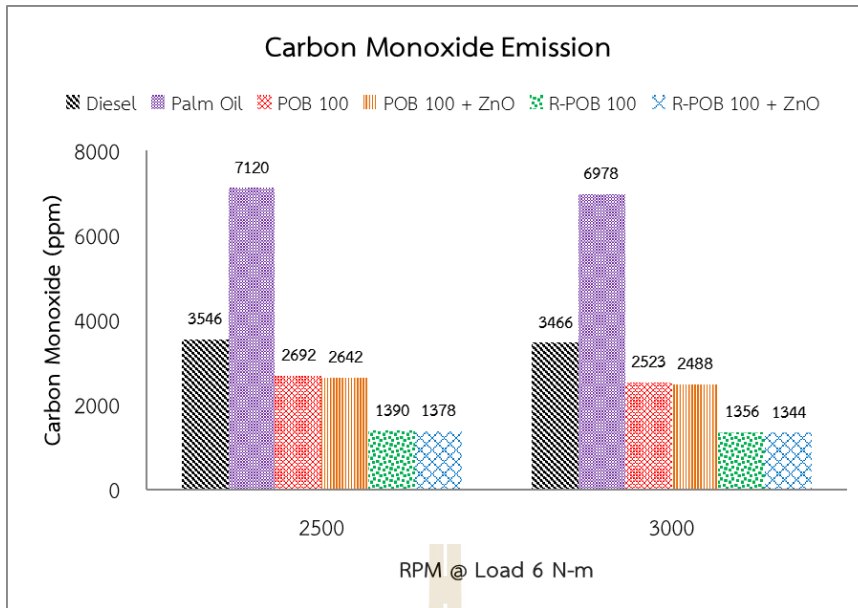
จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 ผลการทดลองพบว่า การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g. และน้ำมันปาล์มดิบ มีการปล่อย NO_x มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 21.85%, 15.97%, 7.56% 1.68% และ 194.12 % ตามลำดับ โดยเฉพาะน้ำมัน R-B100+ ZnO 0.05 g. ให้การปล่อย NO_x ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลซึ่งน้อยกว่าเพียง 1.68 %. ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g. และน้ำมันปาล์มดิบนั้น พบว่ามีการปล่อย NO_x มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 20.16%, 10.08%, 2.33%, 3.10% และ 179.84% ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.10 และที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น การปล่อย NO_x เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงขึ้นส่งผลต่อการปล่อย NO_x ของเครื่องยนต์สูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.10 การปล่อยมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide)

4.5.2 คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide)

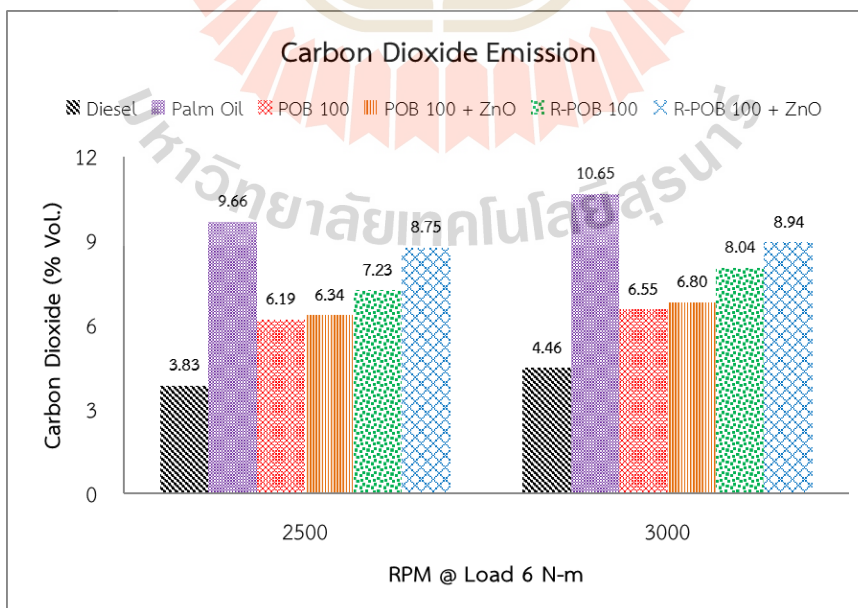
จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 ผลการทดลองพบว่า การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และน้ำมัน R-B100+ZnO 0.05 g. มีการปล่อย CO ลดน้อยลงจากน้ำมันดีเซล 24.08%, 25.49%, 60.80% และ 61.14% ตามลำดับ โดยเฉพาะน้ำมัน R-B100 และ R-B100+ ZnO 0.05 g. ให้การปล่อย CO น้อยกว่าน้ำมันดีเซลถึง 60.80% และ 61.14% ในขณะที่น้ำมันปาล์มดิบนั้น มีการปล่อย CO มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 100.79% และ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. พบว่ามีการปล่อย CO ลดน้อยลงจากน้ำมันดีเซล 27.21%, 28.22%, 60.88% และ 61.22% ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันปาล์มดิบนั้น มีการปล่อย CO มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 101.33% ดังรูปที่ 4.11 และที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น การปล่อย CO ลดลง เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้นในห้องเผาไหม้ ซึ่งเกิดจากสัดส่วนหรืออัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศเป็นแบบส่วนผสมบาง คือน้ำมันปริมาณน้อย อากาศปริมาณมาก ส่งผลให้ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง



รูปที่ 4.11 การปล่อยมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide)

4.5.3 คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide)

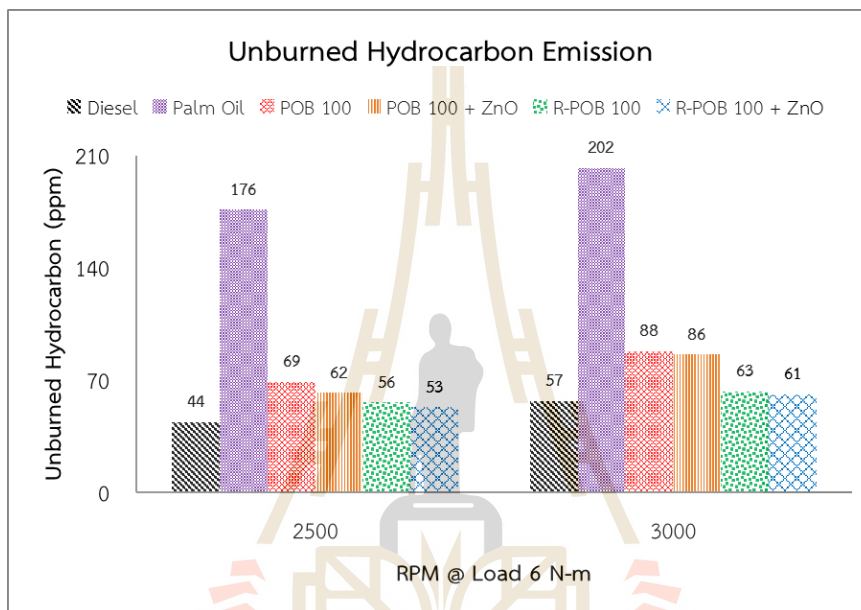
จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 ผลการทดลองพบว่า การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g. และน้ำมันปาล์มดิบ พบว่ามีการปล่อย CO₂ มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 61.62%, 65.54%, 88.86%, 128.46% และ 152.31% ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g. และน้ำมันปาล์มดิบ พบว่า มีการปล่อย CO₂ มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 46.94%, 52.54%, 80.19%, 100.45% และ 138.86% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น การปล่อย CO₂ เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์สามารถเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากขึ้น



รูปที่ 4.12 การปล่อยมลพิษคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide)

4.5.4 ไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon)

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 ผลการทดลองพบว่า การปล่อยไฮโดรคาร์บอน (HC) ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g. และน้ำมันปาล์มดิบ พบว่าการปล่อย HC มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 56.82%, 40.91%, 27.27%, 20.45% และ 300.00% ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g. และน้ำมันปาล์มดิบ พบว่าการปล่อย HC มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 54.39%, 50.88%, 10.53%, 7.02% และ 254.39% ตามลำดับ โดยเฉพาะน้ำมัน R-B100+ ZnO 0.05 g. ให้การปล่อย HC มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลเพียง 7.02%. ดังรูปที่ 4.13 ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น การปล่อย HC ลดลง เนื่องจากอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศเป็นแบบส่วนผสมบาง



รูปที่ 4.13 การปล่อยมลพิษไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon)

4.6 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption)

การวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่อนั้น ทำการวัดที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ 6 นิวตันเมตร ในการวัดทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูญเสียไปในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน โดยมีหลักการคือ ในช่วงเวลาหนึ่งขณะที่เครื่องยนต์ทำงานอยู่ในปีเกอร์ที่เก็บน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์จะมีน้ำหนักอยู่ค่าหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไปการทดลองนี้ทำการจับเวลาที่ 60 วินาที น้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงในปีเกอร์ก็จะลดลง สามารถหาอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆออกมาได้ และคำนวณอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

ซึ่งตัวแปรต้นจากการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก คือ ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง 6 ประเภท ได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันดีเซล รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบ ในขณะที่ตัวแปรควบคุม คือ เงื่อนไขในการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่าซึ่งทำการที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระ

กระทำกับเครื่องยนต์ที่ 6 นิวตันเมตร และใช้เวลาในการวัดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ 60 วินาที

ในส่วนสุดท้ายตัวแปรตาม คือ ปริมาณอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงซึ่งส่งผลไปสู่ปริมาณอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ ดังตารางที่ 4.8 แสดงอัตราการไหลเชิงมวล และ ตารางที่ 4.9 แสดงอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption, bsfc) ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ

ตารางที่ 4.8 อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ

อัตราการไหลเชิงมวล (g/s)						
Engine Speed	Diesel	Palm Oil	B100	B100 + ZnO	R-B100	R-B100+ ZnO
2,500	0.2044 ± 0.21	0.4550 ± 0.72	0.3244 ± 0.25	0.3283 ± 0.60	0.2350 ± 0.20	0.2356 ± 0.31
3,000	0.2494 ± 0.31	0.5017 ± 0.96	0.3561 ± 0.50	0.3589 ± 0.15	0.3011 ± 0.25	0.3017 ± 0.40

ตารางที่ 4.9 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ

อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) (kg/kW.hr)						
Engine Speed	Diesel	Palm Oil	B100	B100 + ZnO	R-B100	R-B100+ ZnO
2,500	0.4686 ± 0.21	1.0428 ± 0.72	0.7436 ± 0.25	0.7525 ± 0.60	0.5386 ± 0.20	0.5399 ± 0.31
3,000	0.4764 ± 0.31	0.9581 ± 0.96	0.6801 ± 0.50	0.6854 ± 0.15	0.5751 ± 0.25	0.5761 ± 0.40

จากตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 นั้น อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ สามารถนำมาคำนวณออกมาเป็นอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกได้จากสมการต่อไปนี้ คือ

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \quad (4.6)$$

โดยที่ bsfc คือ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก หน่วยเป็น (kg/kW-hr)

\dot{m}_f คือ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง หน่วยเป็น (kg/s)

P_b คือ กำลังเบรก (Brake Power) หน่วยเป็น Watt (W)

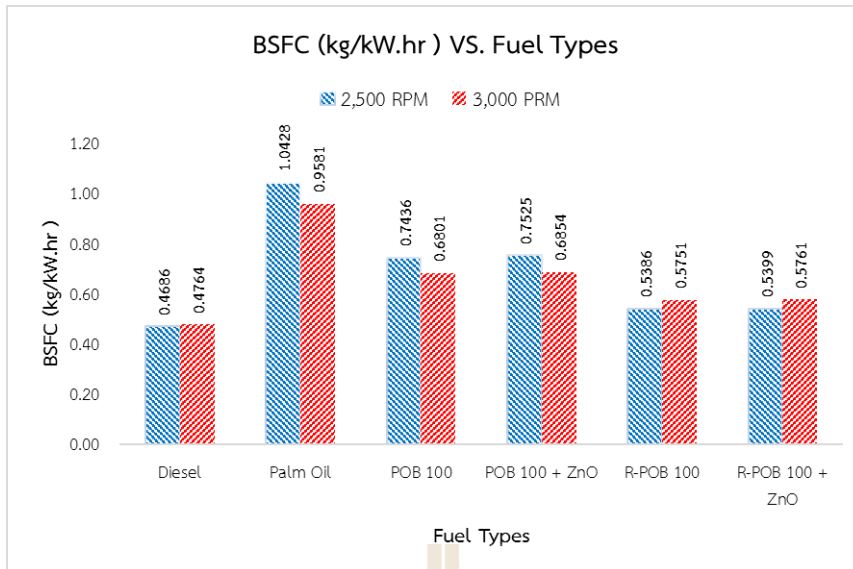
และกำลังเบรานั้น สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_b = 2\pi NT \quad (4.7)$$

โดยที่ T คือ แรงบิด (Torque) หน่วยเป็น (N-m)

N คือ จำนวนรอบการหมุนของเครื่องยนต์ หน่วยเป็น รอบ/นาที (RPM)

จากการคำนวณอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกในตารางที่ 4.9 ข้างต้นนั้น สามารถนำมาแสดงในรูปที่ 4.14 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกประเภทต่างๆที่รอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที



รูปที่ 4.14 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

จากรูปที่ 4.14 ผลการทดลองพบว่า ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบ/นาที อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันปาล์มดิบ, B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. มีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล 122.55%, 58.70%, 60.60%, 14.95% และ 15.22% ตามลำดับ โดยเฉพาะ R-B100 มากกว่าน้ำมันดีเซลเพียง 14.95% และที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ที่ 3,000 รอบ/นาที อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันปาล์มดิบ, B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. มีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล 101.11%, 42.76%, 43.88%, 20.71% และ 20.94% ตามลำดับ เนื่องจากค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซล โดยที่ความหนืดมีผลต่อการกระจายตัวเป็นละอองฝอยของน้ำมันเมื่อถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความหนืดที่น้อยส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของน้ำมันได้ดี ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น แต่ถ้าความหนืดมีค่าสูงมากจะส่งผลต่อการกระจายตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่ดีเท่าที่ควร ส่งผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ รวมไปถึงการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากขึ้นตามไปด้วย และค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล

4.7 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

4.7.1 ต้นทุนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ รวมถึงข้อดี ข้อเสียของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์นี้ เป็นการเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งในที่นี้การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบเป็นไปตามเงื่อนไขขอบเขตของงานวิจัยนี้ คือ ใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน ในรูปแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยคิดเป็นต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบเปรียบเทียบกับราคาของน้ำมันดีเซลที่ขายทั่วไปตามท้องตลาด รวมถึงการแสดงผลข้อดีและข้อเสียของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งการอภิปรายผลการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมา ในหัวข้อก่อนหน้า เพื่อเป็นการบ่งชี้ถึงผลที่ได้รับจากงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิง 6 ประเภท ได้แก่ น้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) และน้ำมันปาล์มดิบ โดยต้นทุนของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 6 ประเภทเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล คิดออกมาในหน่วยราคาต่อปริมาณ 1 ลิตร ซึ่งผลที่ได้จาก

การคิดราคาต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลเป็นไปดังตารางที่ 4.10 แสดงต้นทุนของน้ำมันปาล์มดิบและสารเคมีสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มปริมาณ 1 ลิตร

ตารางที่ 4.10 ต้นทุนของน้ำมันปาล์มดิบและสารเคมีสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มปริมาณ 1 ลิตร

ต้นทุนของน้ำมันปาล์มดิบและสารเคมี				
สารตั้งต้นหรือสารเคมี	ปริมาณต่อหน่วย (ml หรือ g)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ปริมาณที่ใช้จริง (ml หรือ g)	ต้นทุน (บาท)
น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil)	1,000	21.80	1,000	21.80
เมทานอล (Methanol)	2,500	280	450	50.40
สารเร่งปฏิกิริยา (Potassium Hydroxide)	1,000	700	20	41.00
สารเติมแต่งนาโน ซิงค์ ออกไซด์ (Nano - Zinc Oxide, ZnO)	500	1,100	0.05	0.11

นอกจากต้นทุนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มในส่วนน้ำมันปาล์มดิบและสารเคมี รวมถึงสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์แล้ว ทั้งนี้ต้องมีการคำนวณต้นทุนด้านค่าไฟฟ้าในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มจากการสิ้นเปลืองไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆรวมด้วย โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลปาล์ม ได้แก่ เครื่องกวนผสมสารขนาด 550 วัตต์, เครื่องเขย่าสารขนาด 500 วัตต์ และเครื่องกลั่นน้ำมันคือ เครื่องวัดอุณหภูมิการกลั่นขนาด 1,250 วัตต์ ซึ่งต้นทุนค่าไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ไฟฟ้า โดยพิจารณาจากการสิ้นเปลืองไฟฟ้า และเวลาที่ใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ต้นทุนค่าไฟฟ้าคิดในอัตราค่าไฟฟ้าในประเภทบ้านที่อยู่อาศัย ดังแสดงในตารางที่ 4.11 แสดงต้นทุนค่าไฟฟ้าในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

จากตารางที่ 4.10 และ ตารางที่ 4.11 พบว่าเมื่อนำต้นทุนทั้งจากต้นทุนของน้ำมันปาล์มดิบ สารเคมี และต้นทุนค่าไฟฟ้าในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมาคิดเป็นต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 5 ประเภท ได้แก่ B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g. และน้ำมันปาล์มดิบ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับราคาน้ำมันดีเซลที่ขายทั่วไป ผลจากการเปรียบเทียบที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ต้นทุนค่าไฟฟ้าในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบปริมาณ 1 ลิตร

ต้นทุนค่าไฟฟ้าในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ				
อุปกรณ์ในการผลิต	การสิ้นเปลืองไฟฟ้า (วัตต์)	เวลาที่ใช้งาน (ชั่วโมง)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (หน่วย)	ต้นทุน (บาท)
เครื่องกวนผสมสาร (Magnetic Stirrer)	550	4	2.20	2.99
เครื่องเขย่าสาร (Ultrasonic Shaker)	500	4	2.00	2.72
เครื่องกลั่นน้ำมัน (Distillation at Atmospheric Pressure)	1,250	5	6.25	8.49

หมายเหตุ ต้นทุนค่าไฟฟ้าคิดในอัตราค่าไฟฟ้าในประเภทบ้านที่อยู่อาศัย ซึ่งมีราคา 1.3576 บาทต่อหน่วย

ตารางที่ 4.12 ต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบแต่ละประเภทเทียบกับน้ำมันดีเซล

ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง	ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง (บาทต่อลิตร)
น้ำมันดีเซล	26.19 (เดือนมกราคม 2561)
น้ำมันปาล์มดิบ	21.80 (ถูกกว่าดีเซล 16.67%)
น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100)	89.19 (แพงกว่าดีเซล 240.93%)
B100+ZnO 0.05 g.	92.01 (แพงกว่าดีเซล 251.73%)
R-B100	97.67 (แพงกว่าดีเซล 273.36%)
R-B100+ZnO 0.05 g.	100.80 (แพงกว่าดีเซล 284.16%)

จากตารางที่ 4.12 พบว่าราคาน้ำมันปาล์มดิบที่ยังไม่ผ่านกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยากระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมีราคาถูกกว่าน้ำมันดีเซลตามท้องตลาดทั่วไป แต่น้ำมันไบโอดีเซลอีก 4 ประเภท ได้แก่ น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. มีราคาสูงขึ้นจากน้อยไปหามากที่สุด ตามลำดับ เมื่อเทียบกับราคาน้ำมันดีเซล สาเหตุเนื่องมาจากการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเป็นการผลิตในรูปแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการตามขอบเขตของงานวิจัย ซึ่งเป็นการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในปริมาณน้อย ส่งผลไปถึงราคาขายปลีกของต้นทุนของสารตั้งต้น และสารเคมีที่ซื้อเข้ามาใช้ในปริมาณน้อยนั้นมีราคาต้นทุนที่สูงมาก โดยเฉพาะราคาสารเคมีที่มีราคาสูงมากเป็นพิเศษ เนื่องจากสารเคมีเป็นเกรดที่ใช้สำหรับการทดลองในงานวิจัยซึ่งมีราคาสูงอยู่แล้ว ในขณะที่การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลทั่วไปจะใช้สารเคมีในเกรดที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมซึ่งมีราคาที่ถูกลงกว่า ตลอดจนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในรูปแบบการทดลองนี้ ไม่มีกระบวนการบำบัดสารเคมีที่ใช้ไปแล้วให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งได้เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตดังเช่นในกระบวนการทางอุตสาหกรรม จึงส่งผลให้ราคาต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลสูงกว่าน้ำมันดีเซลตามท้องตลาดทั่วไป รวมถึงน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการต่างๆ มากขึ้น ได้แก่ การเติมสารเติมแต่ง และนำไปปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการกลั่น ส่งผลต่อราคาต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลที่สูงมากขึ้นยิ่งไปอีกตามกระบวนการที่เพิ่มขึ้นมาเพื่อให้ได้เป็นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในประเภทนั้นๆ นั้นเอง ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบจึงต้องมีการตกลงรายซื้อ-ขายกับแหล่งที่ทำการขายน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อตกลงราคาน้ำมันปาล์มดิบให้มีต้นทุนที่ถูกลงโดยการซื้อน้ำมันปาล์มดิบในปริมาณที่มากขึ้น รวมไปถึงการเลือกใช้สารเคมีตามเกรดสำหรับงานทางอุตสาหกรรมที่มีราคาที่ถูกกว่า และมีการบำบัดสารเคมีที่ใช้แล้วให้นำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งได้ จะทำให้ต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบลดลงได้ และมีราคาที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลตามท้องตลาดทั่วไปมากยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน, การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ด้วยวิธีการกลั่น, การเติมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งก่อน และหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น รวมถึงผลจากการวัดค่าคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันเชื้อเพลิงภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) ตลอดจนจากการศึกษาผลกระทบจากน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่มีต่อการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ และผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ พบทั้งข้อดี-ข้อเสียจากน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ได้แก่

ข้อดีของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ และการใช้สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เห็นได้อย่างชัดเจนจากงานวิจัยนี้ คือ

- เป็นการแปรรูปทรัพยากรที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศมาเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ลดการนำเข้าน้ำมันดีเซลจากต่างประเทศ

- น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบสามารถลดการปลดปล่อยมลพิษ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก
- สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบสามารถช่วยลดการปล่อยมลพิษ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ได้ดียิ่งขึ้น
- เป็นพลังงานทางเลือกในอนาคตสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ หรือ เครื่องจักรทางการเกษตร

ในขณะที่ข้อเสียของน้ำมันดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ และการใช้สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เห็นได้อย่างชัดเจนจากงานวิจัยนี้ คือ

- ต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบยังสูงอยู่เมื่อเทียบกับราคาน้ำมันดีเซล
- การผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์เข้ากับน้ำมันเชื้อเพลิงใช้เวลานาน เพื่อให้ให้นาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารกลุ่มโลหะสามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้
- น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบไม่สามารถลดการปล่อยมลพิษ คือ ไนโตรเจนออกไซด์ และ ไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกเป็นอย่างมาก
- น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมากกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

ในส่วนของหัวข้อนี้เป็นการสรุปผลจากการทดลองทั้งหมด โดยได้ศึกษาการนำน้ำมันปาล์มดิบมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลในห้องปฏิบัติการ ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Trans-esterification) โดยใช้เบสเป็นสารเร่งปฏิกิริยา แล้วนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบนั้นมาปรับปรุงคุณภาพโดยกระบวนการกลั่น และใช้สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ปริมาณ 0.05 กรัม ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยมีทั้งหมด 6 ชนิด คือ 1. น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) 2. น้ำมันดีเซล 3. น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) 4. น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.) 5. น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) และ 6. น้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งนำน้ำมันทดสอบไปหาคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials โดยพิจารณาตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ว่าด้วยการกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549 และการวัดความบริสุทธิ์ของน้ำมัน โดยพิจารณาตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556, การปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ และผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก จากการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คือ น้ำมันปาล์มดิบเป็นสารตั้งต้นน้ำหนัก 400 กรัม มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยกำหนดเงื่อนไขคือ ใช้เมทานอลหนัก 45% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเมทานอลมีน้ำหนัก 180 กรัม โดยอัตราส่วนโดยมวล (Molar Ratio) ของน้ำมันปาล์มดิบต่อเมทานอล คือ ใช้ น้ำมันปาล์มดิบ 1 โมล ใช้เมทานอล 12 โมล ในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สมบูรณ์ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) หนัก 2% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ มีน้ำหนัก 8 กรัม มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบได้ 90.42 %

5.1.2 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการกลั่นใช้เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure ใช้ทดสอบหาอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 โดยที่น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ที่นำมากลั่นต่อหนึ่งครั้งใช้ปริมาณ 400 มิลลิลิตร และกลั่นออกมาให้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) ในปริมาณ 90% คือ ต้องกลั่นน้ำมันออกมาให้ได้ในปริมาณ 360 ลำดับถัดมาในส่วนของ การวัดคุณสมบัติด้านความบริสุทธิ์ของน้ำมันใช้วิธีการโครมาโทกราฟี ซึ่งเป็นแบบแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่า B100 และ R-B100 มีความบริสุทธิ์ 92.17% และ 93.13% ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 96.5% ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556 เนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำมันปาล์มดิบไปกับน้ำมันประเภทอื่น จากการใช้เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure

5.1.3 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

จากการการวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น การวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงจะอยู่ภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ความหนืด (Viscosity)

การวัดค่าความหนืดภายใต้มาตรฐานของ ASTM D445 พบว่าน้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. มีค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซล 121.41%, 122.55%, 35.71% และ 36.85% ตามลำดับ

2) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

การวัดค่าความถ่วงจำเพาะภายใต้มาตรฐานของ ASTM D1298 พบว่าน้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำมันดีเซล 8.02%, 8.02%, 7.41% และ 8.02% ตามลำดับ

3) อุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างน้ำมัน (Distillation at 50% recovered)

การวัดอุณหภูมิการกลั่นภายใต้มาตรฐานของ ASTM D86 พบว่าน้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. มีค่าอุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างน้ำมันมากกว่าน้ำมันดีเซล 9.33%, 9.33%, 10.00% และ 10.67% ตามลำดับ

4) ดัชนีซีเทน (Cetane Index)

การหาค่าดัชนีซีเทนภายใต้มาตรฐานของ ASTM D976 โดยที่การหาค่าดัชนีซีเทนคำนวณได้จากความถ่วงจำเพาะ API และจุดเดือดค่ากลาง (Mid - Boiling Point) พบว่าค่าดัชนีซีเทนของน้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. มีค่าดัชนีซีเทนน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 28.98%, 28.98%, 26.72% และ 28.66% ตามลำดับ

5) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value)

การวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงภายใต้มาตรฐานของ ASTM D240 พบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงของน้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 15.04%, 16.45%, 14.01% และ 15.42% ตามลำดับ

จากการวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงจากข้างต้น พบว่าน้ำมัน R-B100 มีคุณสมบัติที่ดีกว่า B100 แต่ยังคงดีกว่าคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล ขณะที่คุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g. เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ และค่าดัชนีซีเทนมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ว่าด้วยการกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549 ที่กำหนดไว้ (≥ 45)

5.1.4 การทดสอบการปล่อยมลพิษ

จากการวัดการปล่อยมลพิษหลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์ ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide, NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide, CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO_2) และไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon, HC) ในการวัดการปล่อยมลพิษที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์หลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์นั้น ทำการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำที่ความเร็วรอบคงที่ที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ที่ 6 นิวตันเมตร ผลจากการวัดมลพิษ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide, NO_x)

จากการทดสอบวัดการปล่อยมลพิษ พบว่าการปล่อย NO_x ของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g.

และน้ำมันปาล์มดิบ พบว่ามีการปล่อย NO_x มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 21.85%, 15.97%, 7.56%, 1.68% และ 194.12% ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100, R-B100+ZnO 0.05 g. และน้ำมันปาล์มดิบ พบว่ามีการปล่อย NO_x มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 20.16%, 10.08%, 2.33%, 3.10% และ 179.84% ตามลำดับ

2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide, CO)

จากการทดสอบวัดการปล่อยมลพิษ พบว่าการปล่อย CO ของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. พบว่ามีการปล่อย CO ลดน้อยลงจากน้ำมันดีเซล 24.08%, 25.49%, 60.80% และ 61.14% ตามลำดับ และน้ำมันปาล์มดิบ มีการปล่อย CO มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 100.79% และขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. พบว่า มีการปล่อย CO ลดน้อยลงจากน้ำมันดีเซล 27.21%, 28.22%, 60.88% และ 61.22% ตามลำดับ และน้ำมันปาล์มดิบ มีการปล่อย CO มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 101.33%

3) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO_2)

จากการทดสอบวัดการปล่อยมลพิษ พบว่าการปล่อย CO_2 ของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. พบว่ามีการปล่อย CO_2 มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 61.62%, 65.54%, 88.86%, 128.46% และ 152.31% ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. พบว่ามีการปล่อย CO_2 มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 46.94%, 52.54%, 80.19%, 100.45% และ 138.86% ตามลำดับ

4) ไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon, HC)

จากการทดสอบวัดการปล่อยมลพิษ พบว่าการปล่อย HC ของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. พบว่ามีการปล่อย HC มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 56.82%, 40.91%, 27.27%, 20.45% และ 300.00% ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g. พบว่ามีการปล่อย HC มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล 54.39%, 50.88%, 10.53%, 7.02% และ 254.39% ตามลำดับ

5.1.5 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption, bsfc)

สำหรับการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่อนั้น ทำการวัดโดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูญเสียไปในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน โดยมีหลักการ คือที่ช่วงเวลาหนึ่งขณะที่เครื่องยนต์ทำงานอยู่ในปีกเกียร์ที่เก็บน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์มีน้ำหนักอยู่ค่าหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไป 60 วินาที น้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงในปีกเกียร์ก็จะลดลง จากผลการทดสอบพบว่าที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมันปาล์มดิบ, น้ำมัน B100, B100+ZnO 0.05 g., R-B100 และ R-B100+ZnO 0.05 g มีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล โดยปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ที่มากขึ้นกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องมาจากค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซล โดยที่ความหนืดมีผลต่อการกระจายตัวของน้ำมันเมื่อถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความหนืดที่น้อยจะส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของน้ำมันได้ดี ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น แต่ถ้าความหนืดมีค่าสูงมากจะส่งผลต่อการกระจายตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่ดีเท่าที่ควรส่งผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ รวมไปถึงการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากขึ้นตามไปด้วย ในส่วนของค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้นจะเป็นค่าที่บ่งชี้

ถึงพลังงานที่จะได้รับจากเชื้อเพลิงประเภทนั้นๆ ในปริมาณหนึ่งหน่วยเท่ากันเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน โดยที่น้ำมันที่มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมากจะส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง ดังนั้นน้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่น้อยที่สุดจากน้ำมันทั้ง 6 ประเภท

5.1.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (ต้นทุนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล)

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ การเปรียบเทียบต้นทุนของการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบเทียบกับราคาน้ำมันดีเซลตามท้องตลาด พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบจะมีราคาที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลเป็นอย่างมาก สาเหตุเนื่องมาจากการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเป็นการผลิตในรูปแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในปริมาณน้อย ส่งผลไปถึงราคาขายปลีกของต้นทุนของสารตั้งต้นและสารเคมีที่ซื้อเข้ามาใช้ในปริมาณน้อยนั้นมีราคาต้นทุนที่สูงมาก โดยเฉพาะราคาสารเคมีที่มีราคาสูงมากเป็นพิเศษ เนื่องจากสารเคมีเป็นเกรดที่ใช้สำหรับการทดลองในงานวิจัยซึ่งมีราคาสูงอยู่แล้ว ในขณะที่การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลทั่วไปใช้สารเคมีในเกรดที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมซึ่งมีราคาที่ถูกลงกว่า ตลอดจนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในรูปแบบการทดลองนี้จะไม่มีการบวนการบำบัดสารเคมีที่ใช้ไปแล้วให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งได้เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตดังเช่นในกระบวนการทางอุตสาหกรรม จึงส่งผลให้ราคาต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลสูงกว่าน้ำมันดีเซลตามท้องตลาดทั่วไป รวมถึงน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการต่างๆ มากขึ้น ได้แก่ การเติมสารเติมแต่ง และนำไปปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการกลั่น ส่งผลต่อราคาต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลที่สูงมากขึ้นยิ่งไปอีกตามกระบวนการที่เพิ่มขึ้นมาเพื่อให้ได้เป็นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในประเภทนั้นๆ

5.1.7 ข้อดี-ข้อด้อยของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

จากงานวิจัย สามารถสรุปข้อดีและข้อด้อยจากน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล รวมถึงการใช้สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ ได้แก่

- เป็นการแปรรูปทรัพยากรที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศมาเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ลดการนำเข้าน้ำมันดีเซลจากต่างประเทศ
- น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบสามารถลดการปล่อยมลพิษ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก
- สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบสามารถช่วยลดการปล่อยมลพิษ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ได้ดียิ่งขึ้น
- เป็นพลังงานทางเลือกในอนาคตสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำหรือเครื่องจักรทางการเกษตร

ข้อด้อยของน้ำมันดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ รวมถึงการใช้สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ ได้แก่

- ต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบยังสูงอยู่เมื่อเทียบกับราคาน้ำมันดีเซล
- การผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์กับน้ำมันเชื้อเพลิงใช้เวลานาน เพื่อทำให้นาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารกลุ่มโลหะสามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้
- น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบไม่สามารถลดการปล่อยมลพิษ คือ ไนโตรเจนออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกเป็นอย่างมาก
- น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค มากกว่าน้ำมันดีเซล หรือมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองมากกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก

ในส่วนของคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบนั้น ในด้านของต้นทุนในการผลิต น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ถ้ามีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในปริมาณมากๆ และมีการใช้เทคโนโลยีทางอุตสาหกรรม รวมไปถึงใช้สารเคมีในเกรดสำหรับงานทางอุตสาหกรรม จะทำให้สามารถลดต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบได้มากขึ้น และในด้านการปล่อยมลพิษ รวมถึงอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมีมากกว่าน้ำมันดีเซลนั้น เนื่องจากไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำให้เหมาะสมกับการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ถ้าเพิ่มการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิงที่ใช้ จะส่งผลให้การปล่อยมลพิษลดลง รวมถึงอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่ลดลงเช่นกัน

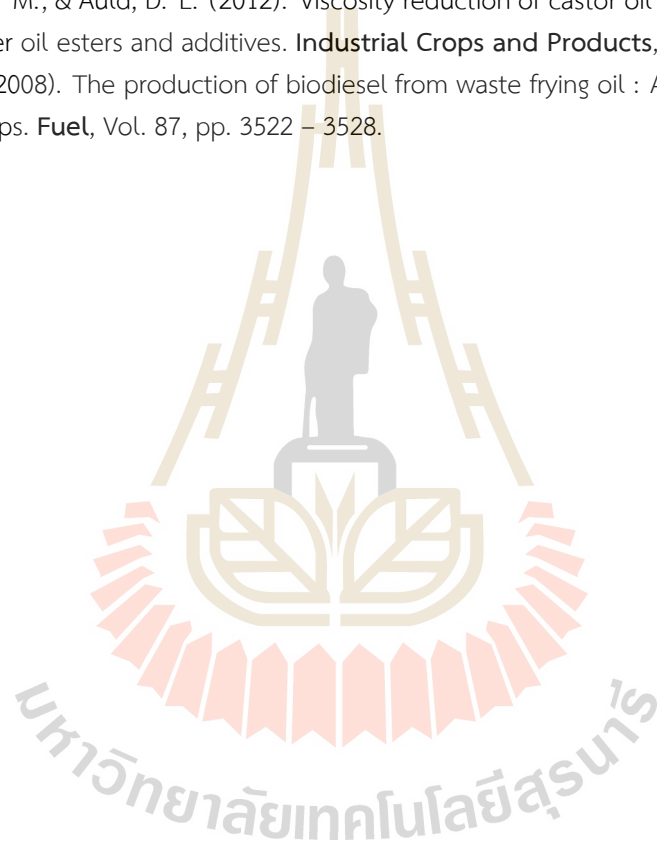
5.2 ข้อเสนอแนะ

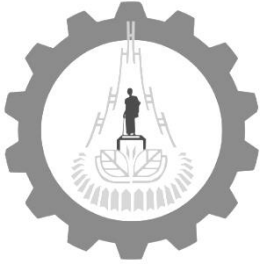
ในกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยากระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Trans-esterification) นั้นพบว่า การกรองน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยผ้าขาวบางทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณของน้ำมันไปบางส่วน เนื่องจากผ้าขาวบางที่ใช้กรองจะดูดซับน้ำมันที่ผ่านการกรองไว้บางส่วน ยิ่งถ้ากรองด้วยผ้าขาวบางหลายครั้งจะส่งผลให้ปริมาณที่สูญเสียไปมีค่าเพิ่มมากขึ้นจึงควรหาอุปกรณ์การกรองที่ไม่ดูดซับน้ำมันไว้ในปริมาณมาก เช่น ตะแกรงลวดสำหรับกรองขนาด 1 ไมครอน เป็นต้น และในการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น (Redistillation Process) นั้น ในการใช้เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure ในการกลั่นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบสำหรับนำไปใช้งาน ควรจะต้องมีการถอดอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องมือชิ้นนี้ออกมาทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ (Alcohol) บางประเภทที่สามารถใช้ในการทำความสะอาดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ เช่น ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol, C_3H_8O) เกรด AR สำหรับใช้ในงานวิจัย เป็นต้น เพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำมันชนิดอื่นในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ที่จะส่งผลต่อค่าความบริสุทธิ์ หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) ที่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 96.5% โดยมวลของน้ำมันเชื้อเพลิง ตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556

บรรณานุกรม

- การุญ พิงสุวรรณรักษ์. (2556). รายงานการวิจัย การศึกษาผลของการเติมสารเร่งในน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล. การุญ พิงสุวรรณรักษ์. (2554). ผลกระทบของการเติมสารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่อสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7. หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต.
- กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย และคณะ. (2551). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ การใช้น้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์รอบต่ำ. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน : กรุงเทพมหานคร.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). สถานการณ์น้ำมันปาล์มดิบซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลของประเทศไทย. กระทรวงพลังงาน.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). กระทรวงพลังงานเร่งแก้ปัญหาปาล์มน้ำมันผันผวน. กระทรวงพลังงาน.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2015). กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.
- วิษณีย์ ออมทรัพย์สิน และคณะ. (2549). การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ. สุราษฎร์ธานี: สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 7 ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี.
- ธัญญธร อิศราชีวะ. (2548). ผลกระทบของสาร Oxygenated Additive ในลักษณะทางอิมัลชันของการผสมน้ำมันดีเซลกับเอทานอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. คณะวิทยาศาสตร์ปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทวิช จิตรสมบูรณ์. (2544). โอกาสและปัญหาจากการใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซลในประเทศไทย. เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15. เล่มที่ 1. หน้า 20-29 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพมหานคร.
- สมรัฐ เกิดสุวรรณ. (2549). การเผาไหม้และการควบคุมมลพิษ. ปทุมธานี: สำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สุภัทรา มั่นสกุล และ พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล. (2524). แนวคิดและความก้าวหน้าของการใช้น้ำมันพืชเป็นพลังงานทดแทนกับเครื่องยนต์ดีเซล. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. ฉบับที่ 14. หน้า 157-163. กรุงเทพมหานคร.
- สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา. (2544). ผลกระทบของการใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืชต่อเครื่องยนต์และมลพิษทางอากาศ. เอกสารการประชุมระดมความคิดเรื่องแนวทางการวิจัยและพัฒนา ไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์. หน้า 1-7. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ: กรุงเทพมหานคร.
- Alamu, O. J., Waheed, M. A., & Jekayinfa, S. O. (2007). Biodiesel production from Nigerian palm kernel oil: effect of KOH concentration on yield. *Energy for Sustainable Development*, Vol. 11, No. 3.
- Ana Cualovic, Jean – Christophe M. Monbaliu, Yves Eeckhout, Camelia Echim, Roland Verhé, Geraldine Heynderickx, Christian V. Stevens. (2013). Development, optimization and scale-up of biodiesel production from crude palm oil and effective use in developing countries. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 56, pp. 62 – 69.
- Benjumea, P., Agudelo, J., & Agudeelo, A. (2008). Basic properties of palm oil biodiesel-diesel blends. *Fuel*, Vol. 87, pp. 2069-2075.
- Caye, M. D., Nghiem, P. N., & Terry H. W. (2008). *Biofuel Engineering Process Technology*, 1st edition, McGraw-Hill Professional, New York, pp. 197 – 200 & 202 - 204.
- Chen, K. S., Lin, Y. C., Hsieh, L. T., Lin, L. F., & Wu, C. C. (2011). Saving energy and reducing Pollution by use of emulsified palm – biodiesel blends with bio-solution additive. *Energy*, Vol. 35, pp. 2043-2048.
- Choo, Y. M., & Ma, A. N. (1983). Performance Test on Engine Fueled by Methyl Ester (Palm Oil Diesel). *Palm Oil Research Institute of Malaysia annual research report*. pp 614.
- Hanumantha Rao, Y. V., Ram Sudheer Voleti, Sitarama Raju, A.V., & Nageswara Reddy, P. (2009). Experimental investigations on jatropha biodiesel and additive in diesel engine. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol.2, No 4.
- Jawad, N., Syed Khaleel, A., & Farrukh, N. (2008). Palm Biodiesel an Alternative Green Renewable Energy for the Energy Demands of the Future. *International Conference on Construction and Building Technology (ICCBT)*, Vol. 7, pp. 79 - 94.

- Karthikeyan S., Elango A. and Prathima A. (2014). Performance and Emission Study on Zinc Oxide Nano Particles Addition with Pomolion Stearin Wax Biodiesel of CI Engine. **Journal of Scientific & Industrial Research**, Vol. 73, pp. 187 – 190.
- Nduwayezu, J. B., Ishimwe, T., Niyibizi, A. & Munyentwali, A. (2015). Biodiesel Production from Unrefined Palm Oil on Pilot Plant Scale, **International Journal of Sustainable and Green**.
- Lapuerta, M., Armas, O., & Rodríguez-Fernández, J. (2008). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. **Progress in Energy and Combustion Science**, Vol.34, pp. 198-223.
- Shahabuddin, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Mofijur, M., & Hazrat. M. A. (2012). Effect of Additive on Performance of C.I. Engine Fuelled with Bio Diesel. **Energy Procedia**, Vol. 14, pp. 1624 - 1629.
- Schumacher, L. G., Wetherell, W., & Fischer, J. A. (1999). Cold flow properties of biodiesel and it is Blend with diesel fuel. **Proceedings of the American Society of Agricultural Engineers International Meeting**. Toronto, Ontario, Canada.
- Thimas, T. P., Birney, D. M., & Auld, D. L. (2012). Viscosity reduction of castor oil esters by the addition of diesel, safflower oil esters and additives. **Industrial Crops and Products**, Vol. 36, pp. 267-270.
- Zlatica J. Predojević. (2008). The production of biodiesel from waste frying oil : A comparison of different purification steps. **Fuel**, Vol. 87, pp. 3522 – 3528.





แบบประวัติส่วนตัว

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 044-224311 โทรสาร 0 44-224613



karoon@sut.ac.th

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.การุณ ฟังสุวรรณรักษ์
Assist. Prof. Dr.Karoon Fangsuwannarak

การศึกษา/คุณวุฒิ

พ.ศ. 2557 ปร.ด. (วิศวกรรมเครื่องกล), มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2544 วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล), มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2536 วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล), มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล (หลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์)
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2558-2560 กรรมการสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ. 2551-ปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล (หลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
พ.ศ. 2551 ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
พ.ศ. 2536-2550 อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
พ.ศ. 2545-2550 หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

งานวิจัย

- พ.ศ. 2560 การพัฒนาและวัดผลทางคลินิกของเครื่องพยุงน้ำหนักตัวระยะที่ 2 ของคนไข้ขณะเดิน (Development and Clinical Outcome Evaluation of Walking Support) แหล่งทุน: ที่ประชุมอธิการแห่งประเทศไทย (ทปอ.)
- พ.ศ. 2560 การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาซิงค์ออกไซด์ระดับนาโนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ
- พ.ศ. 2559 4-Zone Fast Firing สำหรับพัฒนาการผลิตในปริมาณมากของเซลล์แสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูงโครงสร้าง Rear Locally Passivated Cells แหล่งทุน: วช.
- พ.ศ. 2558 โครงการให้คำปรึกษาทางวิศวกรรมแก่ SMS ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากกระทรวงอุตสาหกรรม
- พ.ศ. 2556 โครงการวิจัยการศึกษาผลของการเติมสารเร่งในน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

6. พ.ศ. 2548-2549 โครงการให้คำปรึกษา แนะนำเพื่อยกระดับผลิตภัณฑ์ผ้าไหมให้ได้มาตรฐาน (ภายใต้โครงการยกระดับคุณภาพมาตรฐานไหมไทยเพื่อก้าวสู่เมืองแฟชั่น)

ผลงานวิชาการ

1. เอกสารประกอบการสอนวิชาการถ่ายเทความร้อน

2. บทความวิชาการ

2.1 การรณู พิงสุวรรณรค์ “เครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ กรณีศึกษาการต่อท่อจูนนิ่งคอลัมน์แบบกระบอกสูบรวมและกระบอกสูบแยก” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16, 2545, จังหวัดภูเก็ต

2.2 การรณู พิงสุวรรณรค์ “การศึกษารีเจนเนอเรเตอร์สำหรับเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ กรณีต่อท่อจูนนิ่งคอลัมน์แบบกระบอกสูบรวม” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17, 2546, จังหวัดปราจีนบุรี

2.3 การรณู พิงสุวรรณรค์ ,ปกรณวิศว์ ปัตถา “ การศึกษาต่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนโดยการทดลอง” การประชุมวิชาการวิศวะ มอ. วิชาการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2546, จังหวัดสงขลา

2.4 การรณู พิงสุวรรณรค์ ,รักพงษ์ ชันธวิธิ “ การสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยหลักการซาเวรี ”วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยยางษ์ชวลิตกุล, 2546

2.5 การรณู พิงสุวรรณรค์ “ความถี่กำธรของระบบการเคลื่อนที่ของลำน้ำในท่อดิสเพลสเซอร์รูปตัว U สำหรับการใช้งานเพื่อสูบน้ำ” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23, 4-7 พฤศจิกายน 2552, จังหวัดเชียงใหม่

2.6 การรณู พิงสุวรรณรค์ “การศึกษาผลของการเติมสารเร่งผสมในน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถจักรยานยนต์” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม 2553, จังหวัดอุบลราชธานี

2.7 การรณู พิงสุวรรณรค์ “ผลกระทบของการเติมสารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่อสมรรถนะเครื่องยนต์” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7, 3-5 พฤษภาคม 2554, จังหวัดภูเก็ต

2.8 K. Fangsuwannarak and T. Fangsuwannarak “ Tricycle Drive by Solar Cells and Manpower” 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition CCH Congress Centre and International Fair Hamburg Germany,p.4161-4163, 5-9 September 2011, Hamburg Germany

2.9 K. Fangsuwannarak, and K. Triratanasirichai, “ Comparative engine performance of DI pick-up diesel engine tested by mixing metal oxide and bio-solution additives in diesel fuel and palm biodiesel blends(B5)”, International Conference on Application and Design in Mechanical Engineering, 27-28 February, 2012, Penang, Malaysia.

2.10 K. Fangsuwannarak, and K. Triratanasirichai, “ Influence of TiO₂ and Bio-Solution Based Additives on Exhaust Emissions of a DI Diesel Engine” , International Conference on Materials and Products Manufacturing Technology, 22-23 September, 2012, Guangzhou, China.”

2.11 K. Fangsuwannarak, K. Triratanasirichai “Influence of TiO₂ and bio-solution based additives on exhaust emissions of a DI diesel engine” Advanced Materials Research Vols. 602-604 (2013) pp 1054-1058

2.12 **K. Fangsuwannarak**, K. Triratanasirichai, “Effect of Metalloid Compound and Bio-Solution Additives on Biodiesel Engine Performance and Exhaust Emissions” American Journal of Applied Sciences, 10(10) (2013), pp 1201-1213.

2.13 **K. Fangsuwannarak**, K. Triratanasirichai, “Improvements of Palm Biodiesel Properties by Using Nano-TiO₂ Additive Exhaust Emission and Engine Performance” The Romanian Review Precision Mechanics Optics & Mechatronics, 43 (2013), pp 111-118.

2.14 **K. Fangsuwannarak**, K. Triratanasirichai “Effect of Nano-TiO₂ Additives Blended in Palm Biodiesel on Engine Performance” The 27th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand, Chonburi, (2013). Thailand.

2.15 **K. Fangsuwannarak**, K. Triratanasirichai “Effect of Nano-Titanium Dioxide Based Additives on Exhaust Emissions of and Indirect Injection Diesel Engine” Grand Renewable Energy 2014 International Conference and Exhibition, Tokyo, Japan.

2.16 **K. Fangsuwannarak** “Effect of organic solution based additive on exhaust emissions of an indirect injection diesel engine” The Asian Conference on Sustainability, Energy and the Environment 2015, Kobe, Japan

2.17 **การุญ ฟังสุวรรณรักษ์ และพลรวี วรณริโก** “การเปรียบเทียบคุณสมบัติ และการปลดปล่อยมลพิษของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12, 8 - 10 มิถุนายน พ.ศ. 2559 ณ โรงแรมวังจันทร์ ริเวอร์วิว จ.พิษณุโลก

2.18 **K. Fangsuwannarak**, P. Wanriko, T. Fangsuwannarak “Effect of bio-polymer additive on the fuel properties of palm biodiesel and on engine performance analysis and exhaust emission” 3rd International Conference on Power and Energy Systems Engineering, CPSE 2016, 8-12 September 2016, Kitakyushu, Japan

2.19 **การุญ ฟังสุวรรณรักษ์ และพลรวี วรณริโก** “การปล่อยมลพิษของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการกลั่นซ้ำในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

2.20 **การุญ ฟังสุวรรณรักษ์ และพลรวี วรณริโก** “การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยกระบวนการกลั่นซ้ำ” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

2.21 **K. Fangsuwannarak**, P. Wanriko “Exhaust Emission Reduction from Compression Ignition Engine by Using Palm Biodiesel Blended with Nano Zinc Oxide Additive” 5th Asia Conference on Mechanical and Materials Engineering, ACMME 2017, 9-11 June, 2017, Tokyo, Japan

2.22 **K. Fangsuwannarak**, T. Fangsuwannarak, S. Junpirom, P. Wanriko and Y. Khotbut “EMISSION REDUCTION FOR HIGH-SPEED DIESEL ENGINE USING PALM OIL BIODIESEL BY REPEATED-DISTILLATION PROCESS” Grand Renewable Energy 2018 International Conference and Exhibition, 17 - 22 June, 2018, Yokohama, Japan

2.23 **การุญ ฟังสุวรรณรักษ์, ยงศธร โคตบุตร, และพลรวี วรณริโก** “การลดมลพิษจากเครื่องยนต์อัดระเบิดโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลปาล์มผสมกับสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14, 13-15 มิถุนายน 2561 ณ โนวาเทล จ.ระยอง

2.24 **การุญ ฟังสุวรรณรักษ์, เมธัส พันธุ์ต่วน, ยงศธร โคตบุตร, และสุริยา พันธุ์โกศล** “ผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะและสารมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15, 21-24 พฤษภาคม 2562, เดอะ กรีนเนอร์ รีสอร์ท เขาใหญ่ จ.นครราชสีมา

2.25 การุญ ฟังสุวรรณรักษ์, ยงศธร โคตรบุตร, เมธีส พันธุ์ต่วน, และสุริยา พันธุ์โกศล “ผลกระทบของไบโอดีเซลปาล์มต่อสมรรถนะและคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยวที่มีการปรับอัตราส่วนกำลังอัด” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15, 21-24 พฤษภาคม 2562, เดอะ กรีนเนอร์ รีสอร์ท เขาใหญ่ จ.นครราชสีมา

