

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น และสารเติมแต่ง
นาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ



นายพลรวี วรรณริโก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2560

**PALM BIODIESEL IMPROVING BY DISTILLATION
AND EFFECT OF NANO ZINC OXIDE ADDITIVE
IN LOW SPEED DIESEL ENGINE**

Ponrawee Wanriko



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2017

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น และสารเติมแต่ง
นาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร.เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.การุญ พิงสุวรรณรักษ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร.กิริติ สุตักษณ์)

กรรมการ



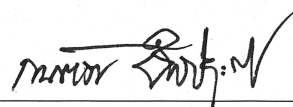
(อ. ดร.ริทิต ดลวิชัย)

กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

พลรวี วรรณริโก : การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น และ
สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ

(PALM BIODIESEL IMPROVING BY DISTILLATION AND EFFECT OF NANO
ZINC OXIDE ADDITIVE IN LOW SPEED DIESEL ENGINE)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.การุญ พังสุวรรณรักษ์, 222 หน้า.

ในการศึกษานี้เป็นการนำน้ำมันปาล์มดิบมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยา
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Trans-esterification) โดยใช้เบสเป็นสารเร่งปฏิกิริยา แล้วนำน้ำมัน
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบนั้นมาปรับปรุงคุณภาพโดยกระบวนการกลั่น และใช้สารเติมแต่ง
นาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) ปริมาณ 0.05 กรัม ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจาก
น้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมัน
ปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) จะถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ
ของน้ำมันภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) ซึ่งคุณสมบัติด้าน
ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว
โดยวิธีการกลั่น (R-B100) จะมีผลจากการทดสอบที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน ASTM ของน้ำมัน
เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ (1.8–8.0 cSt) มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล
จากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) โดยที่ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100)
น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม
(B100+ZnO 0.05 g.) น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น
(R-B100) น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติม
แต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซล
ร้อยละ 121.41, 122.55, 35.71 และ 36.85 ตามลำดับ ความถ่วงจำเพาะมีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน
ASTM (0.81–0.92) แต่ยังมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล 8.02, 8.02, 7.41 และ 8.02 ตามลำดับ ขณะที่ค่า
ดัชนีซีเทนมีค่าที่เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM (≥ 45) แต่ยังมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 28.98,
28.98, 26.72 และ 28.66 ตามลำดับ รวมทั้งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ให้ผลการทดสอบออกมา
ในลักษณะเดียวกับค่าดัชนีซีเทนเช่นเดียวกัน

ในส่วนของการทดสอบการวัดมลพิษไอเสียนั้นจะทดสอบโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ
จำนวน 1 สูบ จากการทดลองในการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำพบว่า น้ำมัน
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติม
แต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.) น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่
ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่

ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ ZnO 0.05 g.) มีการปล่อยมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide) และไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon) ในปริมาณที่มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ขณะที่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากน้ำมันดีเซล จากการทดลองพบว่า การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น (Redistillation Process) สามารถลดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบได้ และยังพบว่า สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) น้ำหนัก 0.05 กรัม ยังให้ผลที่ดีในการลดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำเช่นเดียวกัน น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น รวมถึงการใช้สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) จึงเป็นอีกทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับเป็นพลังงานทางเลือกที่ช่วยลดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์อีกหน้ทางเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลในการนำมาใช้ในอนาคตต่อไป



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อนักศึกษา พชร วรรณวิทย์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา พ.ศ.

PONRAWEE WANLIKO : PALM BIODIESEL IMPROVING BY
DISTILLATION AND EFFECT OF NANO ZINC OXIDE ADDITIVE IN
LOW SPEED DIESEL ENGINE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.
KAROON FANGSUWANNARAK, Ph.D., 222 PP.

BIODIESEL/CRUDE PALM OIL/REPEATED-DISTILLATION/EMISSION

In this work, crude palm oil was produced by the single-step distillation of alkali trans-esterification process to provide pure palm oil biodiesel (POB) fuel. The pure POB fuel was improved by using repeated-distillation process and blended with 50 ppm nano zinc oxide additive (ZnO) in order to apply effectively in a cylinder low-speed diesel engine. The influences of pure B100 and improved B100 (R-B100) on exhaust emission from internal combustion engine were studied under the comparison with commercial diesel fuel. The physical properties of all tested fuels were characterized under ASTM. The experimental results show that the B100 fuel yielded at 90.42% under consuming raw materials of 400 grams. Fuel viscosity of improved B100 (R-B100) fuel can provide the effective improvement under criterion value of the ASTM standard (≤ 8.0 cSt.) for low-speed engine as compared with pure B100 fuel. The kinematic viscosity values are of 121.41%, 122.55%, 35.71% and 36.85% for pure B100, pure B100 blended with 50 ppm nano zinc oxide additive, improved B100 (R-B100) and improved B100 blended with 50 ppm nano zinc oxide additive (R-B100+ZnO), respectively, which are more than commercial diesel fuel by 8.02%, 8.02%, 7.41% and 8.02%, respectively. Similarity of cetane index values of all tested B100 fuel are under ASTM standard, which are less than the diesel fuel by 28.98%,

28.98%, 26.72% and 28.66%, respectively. Heating value of all tested B100 provided less value than the diesel fuel. Meanwhile, exhaust emission from the tested engine at 2,500-3,000 rpm was studied under using different B100 fuels. It shows at 2,500 rpm the effective increase of CO₂ by 61.62%, 65.54%, 88.86% and 128.46% for pure POB, improved POB and improved POB blended with 50 ppm nano zinc oxide additive, respectively, while 3,000 rpm Carbon Dioxide (CO₂) increased by 46.94%, 52.54%, 80.19% and 100.45% from pure B100, pure B100 blended with 50 ppm nano zinc oxide additive, improved B100 (R-B100) and improved B100 blended with 50 ppm nano zinc oxide additive (R-B100+ZnO), respectively, as compared with using commercial diesel fuel. Carbon Monoxide (CO) results show the reduction trend with Unburned Hydrocarbon (HC) emission. However, Nitrogen Oxide (NO_x) emission results show a small amount of increase in exhaust by 21.85%, 15.97%, 7.56% and 1.68% from the engine at 2,500 rpm and by 20.16%, 10.08%, 2.33% and 3.10% from the engine at 3,000 rpm using pure B100, pure B100 blended with 50 ppm nano zinc oxide additive, improved B100 (R-B100) and improved B100 blended with 50 ppm nano zinc oxide additive (R-B100+ZnO), respectively, as compared with using commercial diesel fuel. Meanwhile, improved B100 (R-B100) fuel can relieve the increase of Unburned Hydrocarbon (HC) emission of pure B100 by 56.82%, 40.91%, 27.27% and 20.45% from the engine at 2,500 rpm and by 54.39%, 50.88%, 10.53% and 7.02% from the engine at 3,000 rpm, respectively. This study suggests that improved B100 (R-B100) fuel has the high potentiality for as a clean and alternative fuel.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2017

Student's Signature PONRAWEE

Advisor's Signature Koroon

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ เรื่อง “การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น และสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ” ฉบับนี้ เสร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดีได้ด้วยความกรุณาให้ความช่วยเหลือ การให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจน การเขียนบทความทางวิชาการ การตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาด และข้อบกพร่องต่างๆ ในทุกผลงาน รวมถึงขั้นตอนที่ได้ทำการศึกษาทั้งหลักสูตรจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.การุญ พิงสุวรรณรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ขอกราบขอบพระคุณ ความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพย์วรรณ พิงสุวรรณรักษ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า และบริษัท นาโนไซน์ เทคโนโลยี จำกัด (Nanoscience Technology Co., Ltd.) สำหรับสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงการให้คำปรึกษา และแนะนำในการนำน้ำมันปาล์มดิบมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลด้วย ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Trans-esterification) โดยอาจารย์ ดร.สุพรรณิ จันท์ภิรมณ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ขอกราบขอบพระคุณความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศธา วาทกิจ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สำหรับ ความเอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์รอบต่ำ รวมถึงให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์เป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณบุคลากรจาก อาคารเครื่องมือ 5, 10 และ 11 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเป็นอย่างสูง สำหรับการให้คำปรึกษา ในงานวิจัยสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ขอขอบคุณรุ่นพี่ เพื่อนๆ และรุ่น น้องบัณฑิตศึกษาทุกคน รวมถึงขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่มีส่วนสำคัญและคอยให้กำลังใจแก่ ผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายขอขอบคุณค่า ประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ในบิดา มารดา และ คณาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และวางรากฐานทางการศึกษาแก่ผู้วิจัย หากมีข้อบกพร่อง ใดๆ ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้ด้วยความขอบคุณยิ่ง

พลรวี วรรณริโก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ต
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.5 สถานที่ดำเนินงานวิจัย.....	6
2 บริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ปาล์มน้ำมัน.....	7
2.2 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบ.....	8
2.3 ประเภทของสารเติมแต่ง.....	10
2.3.1 สารเติมแต่งเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์.....	10
2.3.2 สารเติมแต่งเพื่อช่วยในการจัดเก็บหรือการขนส่ง.....	10
2.3.3 สารเติมแต่งเพื่อช่วยเพิ่มความเสถียรหรือความคงตัวของน้ำมัน.....	10
2.3.4 สารเติมแต่งเพื่อช่วยควบคุมปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำมัน.....	10
2.4 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	13
2.4.1 ความถ่วงจำเพาะ.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 ความหนืดคิเนเมติกหรือความหนืดเชิงจลศาสตร์.....	13
2.4.3 การกลั่น.....	15
2.4.4 ดัชนีซีเทน.....	15
2.4.5 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง.....	18
2.4.6 ความบริสุทธิ์.....	19
2.5 การปล่อยมลพิษจำเพาะ และดัชนีมลพิษ.....	21
2.5.1 การเกิดมลพิษในเครื่องยนต์.....	22
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ.....	26
3.2 ขั้นตอนการผสมน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ.....	31
3.3 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น.....	35
3.4 การทดสอบคุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง.....	37
3.4.1 การทดสอบความหนืด.....	38
3.4.2 การทดสอบความถ่วงจำเพาะ.....	39
3.4.3 การทดสอบการกลั่น.....	40
3.4.4 การทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิง.....	43
3.4.5 การหาค่าดัชนีซีเทน.....	45
3.4.6 การทดสอบค่าความบริสุทธิ์หรือมีปริมาณเมทิลเอสเตอร์.....	46
3.5 การวัดการปล่อยมลพิษ.....	53
3.5.1 เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำสำหรับการทดสอบ.....	53
3.5.2 การวัดการปล่อยมลพิษและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก.....	54
4 ผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลอง.....	61
4.1 บทนำ.....	61
4.2 กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน.....	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น.....	64
4.4 การวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	70
4.4.1 ความหนืด (Viscosity).....	72
4.4.2 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity).....	73
4.4.3 อุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันทดสอบ (Distillation at 50% recovered).....	75
4.4.4 ดัชนีซีเทน (Cetane Index).....	76
4.4.5 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value).....	77
4.5 การวัดการปล่อยมลพิษ.....	61
4.5.1 ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide).....	81
4.5.2 คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide).....	82
4.5.3 คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide).....	83
4.5.4 ไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon).....	84
4.6 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (Brake Specific Fuel Consumption).....	86
4.7 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	90
4.7.1 ต้นทุนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ รวมถึงข้อดี-ข้อเสียของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ.....	90
5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	95
5.1 สรุปผลการทดสอบ.....	95
5.1.1 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	95
5.1.2 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น.....	96
5.1.3 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	97
5.1.4 การทดสอบการปล่อยมลพิษ.....	99
5.1.5 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค.....	102
5.1.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (ต้นทุนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล).....	103
5.1.7 ข้อดี-ข้อด้อยของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ.....	107
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	105

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง.....	106
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดลองและตัวอย่างการคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรก.....	109
ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ.....	134
ภาคผนวก ค. คู่มือการใช้เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure ตามมาตรฐาน ASTM D86.....	141
ภาคผนวก ง. ประกาศจากกรมธุรกิจพลังงาน.....	169
ภาคผนวก จ. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	181
ประวัติผู้เขียน.....	222

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	ราคาปาล์มน้ำมัน และน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยและมาเลเซีย.....2
3.1	สัดส่วนในการผสมน้ำมันประเภทต่างๆ..... 33
3.2	ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ายี่ห้อ KAWAMA รุ่น KWM500D.....53
4.1	ผลการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน.....62
4.2	สัดส่วนในการผสมน้ำมันประเภทต่างๆ..... 64
4.3	ตารางแสดงกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ.....66
4.4	คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ..... 71
4.5	เปรียบเทียบร้อยละการเพิ่มขึ้น-ลดลงของคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล (ใช้น้ำมันดีเซลเป็นมาตรฐาน)..... 72
4.6	ค่ามลพิษของน้ำมันประเภทต่างๆ ที่วัดได้.....79
4.7	การเพิ่มขึ้น-ลดลงของมลพิษของน้ำมัน เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล.....80
4.8	อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ.....87
4.9	อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ.....87
4.10	ต้นทุนของน้ำมันปาล์มดิบและสารเคมีสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลปาล์ม ปริมาณ 1 ลิตร.....91
4.11	ต้นทุนค่าไฟฟ้าในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบปริมาณ 1 ลิตร.....92
4.12	ต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบแต่ละประเภทเทียบกับน้ำมันดีเซล.....93
ก.1	สัดส่วนในการผสมน้ำมันประเภทต่างๆ (โดยผสมที่ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร)..... 110
ก.2	ผลการทดลองการวัดความหนืดของน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มดิบ.....111
ก.3	ผลการทดลองการวัดความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์ม (B100) ที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ..... 112
ก.4	ผลการทดลองการวัดความหนืดของ B100 + ZnO 0.05 g.....113
ก.5	ผลการทดลองการวัดความหนืดของ R – B100..... 114
ก.6	ผลการทดลองการวัดความหนืดของ R-B100 + ZnO 0.05 g.....115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.7 ผลการทดลองการวัดความถ่วงจำเพาะ และความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล.....	116
ก.8 ผลการทดลองการวัดความถ่วงจำเพาะ และความหนาแน่นของน้ำมัน ไบโอดีเซลปาล์มที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ.....	117
ก.9 ผลการทดลองการวัดความถ่วงจำเพาะ และความหนาแน่นของ B100 + ZnO 0.05 g.	118
ก.10 ผลการทดลองการวัดความถ่วงจำเพาะ และความหนาแน่นของ R – B100 ที่ผสม กับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ.....	119
ก.11 ผลการทดลองการวัดความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของ R-B100 + ZnO 0.05 g.....	120
ก.12 ผลการวัดอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซล.....	121
ก.13 ผลการวัดอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมัน ไบโอดีเซล ปาล์ม (B100) ที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ.....	122
ก.14 ผลการวัดอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของน้ำมันเชื้อเพลิงของ B100 + ZnO 0.05 g.....	123
ก.15 ผลการวัดอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของน้ำมันเชื้อเพลิงของ R - B100.....	124
ก.16 ผลการวัดอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของน้ำมันเชื้อเพลิงของ R-B100+ZnO 0.05 g.....	125
ก.17 ผลการทดลองการวัดค่าความร้อนเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	126
ก.18 ผลการทดสอบค่าดัชนีซีเทน.....	127
ก.19 ผลการทดลองการวัดการปล่อยมลพิษของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ.....	128
ก.20 ผลการทดลองการวัดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ.....	130
ข.1 องค์ประกอบหลักของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ B100 และ R – B100.....	139

สารบัญรูป

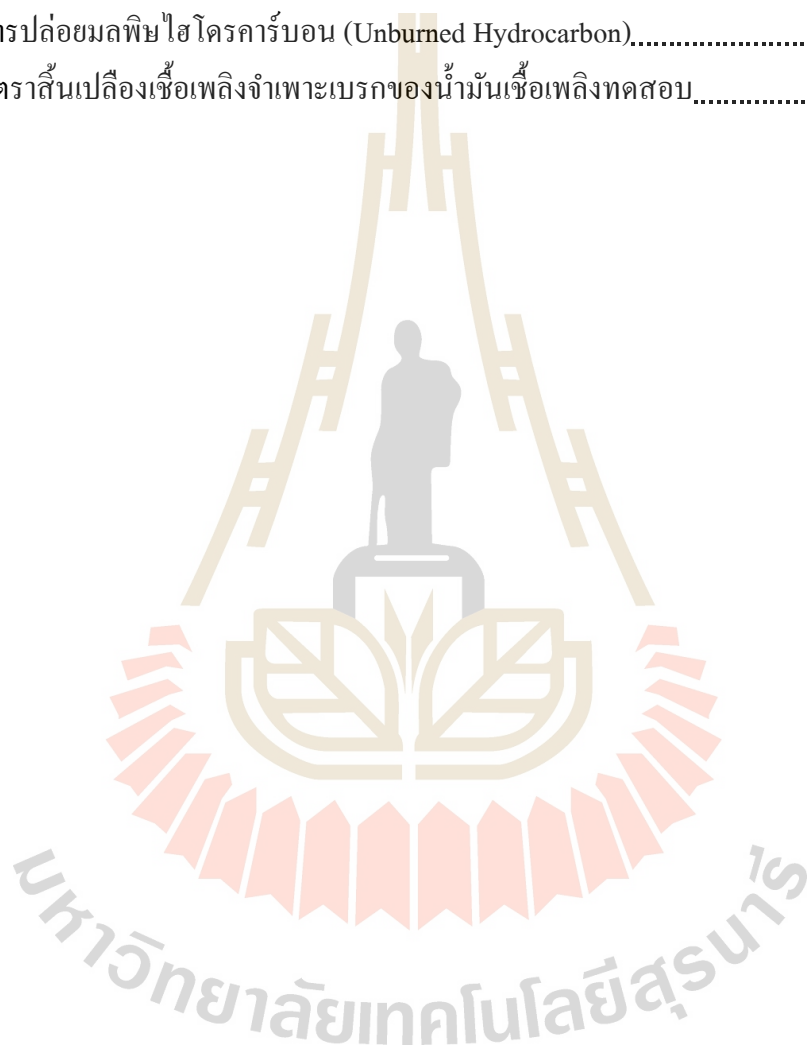
รูปที่	หน้า
1.1	ราคาปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยและมาเลเซีย.....2
1.2	ปริมาณการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลช่วงปี พ.ศ. 2557-2579.....3
2.1	ปาล์มน้ำมัน.....7
2.2	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน.....8
2.3	สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO).....12
2.4	การวัดค่าความถ่วงจำเพาะด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer).....14
2.5	เครื่องมือ Viscosity-Kinematic Capillary Tempering Bath High Temperature.....15
2.6	เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure.....16
2.7	โนโมกราฟ (Nomograph) สำหรับการหาค่าดัชนีซีเทน.....17
2.8	เครื่องมือ Bomb Calorimeter รุ่น Bomb C5000.....18
2.9	เครื่องมือโครมาโทกราฟี (Chromatography).....19
2.10	หลักการทำงานของเครื่องโครมาโทกราฟี.....21
3.1	ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน.....26
3.2	การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ.....27
3.3	ขั้นตอนการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ.....28
3.4	การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน.....31
3.5	เครื่องมือเขย่าอัลตราโซนิก (Ultrasonic Shaker).....34
3.6	ลักษณะของน้ำมันดีเซลที่ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ที่สัดส่วนต่างๆ.....34
3.7	ลักษณะของน้ำมันทดสอบชนิดต่างๆ.....35
3.8	เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure.....35
3.9	การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น.....36
3.10	การตกตะกอนของน้ำมันไบโอดีเซล.....37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 การประกอบหลอดแก้วรูเล็กกับขาขีดและตั้งค่าอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ.....	38
3.12 ตำแหน่งการจับเวลาสำหรับวัดความหนืด.....	39
3.13 การจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบอกตวง.....	40
3.14 ชุดทดสอบค่าอุณหภูมิของการกลั่น.....	41
3.15 การให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนแบบ Front-View.....	42
3.16 เครื่องมือ Bomb Calorimeter รุ่น Bomb C5000.....	43
3.17 เครื่องมือ Gas Chromatography (GC) รุ่น Agilent 7890A.....	52
3.18 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบเครื่องยนต์.....	54
3.19 เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ ยี่ห้อ KAWAMA รุ่น KWM500D.....	58
3.20 การติดตั้งเพลลาเครื่องยนต์ดีเซลและไดนาโมมิเตอร์.....	58
3.21 โหลดเซลล์ (Load Cell) สำหรับวัดค่าแรงบิด.....	59
3.22 การติดตั้งเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำกับไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ.....	59
3.23 เครื่องมือวัดมลพิษไอเสีย.....	60
4.1 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น.....	65
4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆ ในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100).....	69
4.3 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆ ในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่าน กระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100).....	69
4.4 ค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	73
4.5 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	74
4.6 อุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	75
4.7 ค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	76
4.8 ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	78
4.9 การปล่อยมลพิษของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	80
4.10 การปล่อยมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide).....	82
4.11 การปล่อยมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide).....	83

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 การปล่อยมลพิษคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide).....	84
4.13 การปล่อยมลพิษไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon).....	85
4.14 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	88



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AEI	คือ	พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายเมทิล-เฮปทาดีเค โนเอต (mg.s)
ASTM	คือ	มาตรฐานการทดสอบของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศ สหรัฐอเมริกา
bsfc	คือ	อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (kg/kW.hr)
C	คือ	ความบริสุทธิ์หรือมีปริมาณเมทิลเอสเตอร์ (%wt)
CEI	คือ	ความเข้มข้นของสารละลายเมทิล-เฮปทาดีเค โนเอต (mg/mL)
CCI	คือ	ดัชนีซีเทน
CO	คือ	คาร์บอนมอนอกไซด์
CO ₂	คือ	คาร์บอนไดออกไซด์
G	คือ	ความถ่วงเอพีไอ
HC	คือ	ไฮโดรคาร์บอน
M	คือ	อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของการเดือดที่ร้อยละ 50 โดยปริมาตร
<i>m</i>	คือ	มวลหรือน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงตัวอย่าง (mg)
\dot{m}_f	คือ	อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง (g/s)
N	คือ	รอบการหมุนของเพลลาข้อเหวี่ยง (RPM)
M	คือ	จุดที่ปริมาตรร้อยละ 50 จากการกลั่นที่ความดันบรรยากาศ (F)
NO _x	คือ	ไนโตรเจนออกไซด์
<i>P_b</i>	คือ	กำลังเบรค (W)
<i>Q_{HV}</i>	คือ	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (MJ/kg)
T	คือ	แรงบิด (N-m)
SG	คือ	ความถ่วงจำเพาะ
VEI	คือ	ปริมาตรของสารละลายเมทิล-เฮปทาดีเค โนเอต (mL)
ZnO	คือ	ซิงค์ออกไซด์
η_{th}	คือ	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน
ΣA	คือ	พื้นที่ใต้กราฟขององค์ประกอบทั้งหมด (C ₁₂ : 0 ถึง C ₂₀ : 1) (mg.s)

บทที่ 1

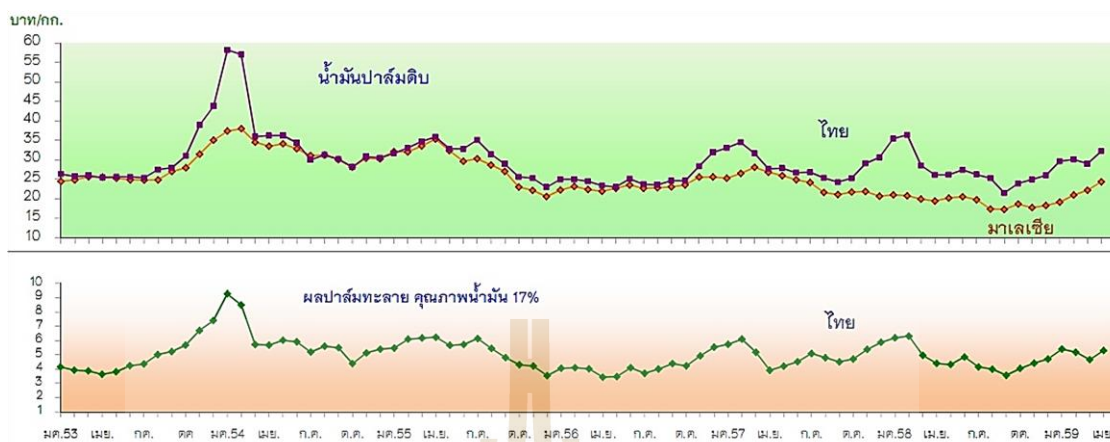
บทนำ

งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น และสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ โดยบทนำในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และสถานที่ดำเนินงานวิจัย

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

ปาล์มน้ำมัน ถือเป็นวัตถุดิบหลักในการนำมาผลิตไบโอดีเซลของประเทศไทย ซึ่งจากรายงานตลอดช่วงปี พ.ศ. 2555 สถานการณ์ปาล์มน้ำมันมีความผันผวนเป็นอย่างมาก โดยในช่วงต้นปีนั้นได้มีการส่งออกปาล์มน้ำมันไปจำหน่ายยังต่างประเทศ เนื่องจากมีปริมาณปาล์มน้ำมันภายในประเทศเป็นจำนวนมาก ในขณะที่ช่วงกลางปีกลับต้องมีการนำเข้าปาล์มน้ำมันแทน โดยกระทรวงพาณิชย์ได้นำเข้าน้ำมันปาล์มถึง 40,056 ตัน อย่างไรก็ตามช่วงปลายปีกลับมีผลผลิตปาล์มน้ำมันในประเทศออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมากอีกครั้ง ประกอบกับราคาน้ำมันปาล์มดิบในตลาดโลกมีราคาตกต่ำ แต่ปาล์มน้ำมันในประเทศยังคงมีราคาสูงกว่าคู่แข่งต่างประเทศอย่างมาเลเซีย ดังรูปที่ 1.1 และตารางที่ 1.1 ส่งผลให้ผู้ประกอบการไม่สามารถส่งออกน้ำมันปาล์มดิบเพื่อระบายน้ำมันปาล์มภายในประเทศได้ และทำให้มีน้ำมันปาล์มดิบในระบบสูงกว่า 3 แสนตัน ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 โดยในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556 มีปริมาณน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 386,000 ตัน ในขณะที่ราคาผลปาล์มทะลาก็ลดต่ำลง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

เพื่อเป็นการแก้ไขสถานการณ์ที่เกิดขึ้น กระทรวงพลังงานจึงได้ประกาศใช้น้ำมันไบโอดีเซลบี 5 (B5) คือ มีสัดส่วนของน้ำมันปาล์มเมทิลเอสเทอร์ในน้ำมันดีเซลไม่เกินร้อยละ 5 ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2555 และได้ปรับลดสัดส่วนการผสมไบโอดีเซลเหลือร้อยละ 3.5-5 ในช่วง 19 กรกฎาคม ถึง 31 ตุลาคม พ.ศ. 2555 และปรับสัดส่วนเพิ่มขึ้นมาที่ร้อยละ 4.5-5 ตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 เป็นต้นมา ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมสูงสุดที่บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ยอมรับ และรับประกันว่าไม่มีผลกระทบต่อเครื่องยนต์ นอกจากการปรับสัดส่วนการผสมไบโอดีเซลตามปริมาณผลผลิตน้ำมันปาล์มแล้ว กระทรวงพลังงานยังได้ขอให้โรงงานผลิตไบโอดีเซลต่างๆ กักเก็บน้ำมันปาล์มและไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นสูงสุด รวมถึงขอให้บริษัท ปตท จำกัด (มหาชน) สำรองน้ำมัน



รูปที่ 1.1 ราคาปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยและมาเลเซีย
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

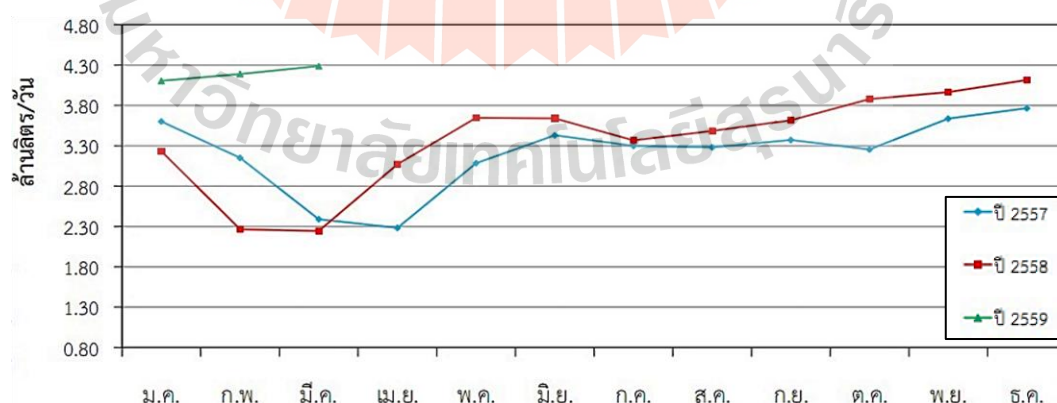
ตารางที่ 1.1 ราคาปาล์มน้ำมัน และน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยและมาเลเซีย
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

ราคา: บาท/กก.	ปี พ.ศ.			
	2556	2557	2558	2559
ไทย	(ม.ค.-เม.ย.)			
ผลปาล์มทะเลทราย (%น้ำมัน 17)	4.16	5.00	4.65	5.13
น้ำมันปาล์มดิบ	25.24	28.57	27.33	30.25
น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์	28.03	32.37	31.30	32.07
มาเลเซีย				
น้ำมันปาล์มดิบ	23.27	24.05	19.24	21.66
น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์	24.75	25.03	20.42	22.45

ปาล์มดิบเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลเพิ่มเติมอีกจำนวน 10,000 ตัน อีกทั้งยังให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จัดทำแผนการใช้น้ำมันปาล์มดิบทดแทนการใช้น้ำมันเตาในสัดส่วนร้อยละ 10 ที่โรงไฟฟ้ากระบี่ เพื่อช่วยระบายน้ำมันปาล์มด้วย ซึ่งแผนการดำเนินการดังกล่าวก็สอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลที่ต้องการส่งเสริมพลังงานทดแทนเป็นร้อยละ 25 ในปี พ.ศ. 2564 และจากข้อมูลพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในปี พ.ศ. 2555 ที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มประมาณ 4.5 ล้านไร่ ประกอบกับกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้มีการส่งเสริมการขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน การพัฒนาพันธุ์ปาล์มน้ำมันและองค์ความรู้ในการเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมันทำให้ผลผลิตปาล์ม

น้ำมันสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขณะที่กระทรวงพลังงานพยายามปรับแผนเพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้นเพื่อลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศและช่วยเหลือเกษตรกร

ในช่วงที่ผ่านมากระทรวงพลังงานมีแผนที่จะเพิ่มสัดส่วนการใช้ไบโอดีเซลให้สูงขึ้นเป็น 6 ล้านลิตรต่อวัน โดยได้มีการดำเนินการในการเพิ่มสัดส่วนการใช้ไบโอดีเซลจากปี 5 (B5) เป็นปี 7 (B7) ซึ่งมีการบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2557 จนถึงปัจจุบัน นอกจากนี้กระทรวงพลังงานยังมีการส่งเสริมการผลิตไบโอดีเซลด้วยเทคโนโลยีอื่นๆ เช่น การผลิตไบโอดีเซลด้วยเทคโนโลยี Bio Hydrogenated Diesel (BHD) หรือน้ำมันดีเซลชีวภาพสังเคราะห์ที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลได้สัดส่วนสูงสุดถึงร้อยละ 20 โดยการปรับมาตรฐานน้ำมันดีเซล ซึ่งขณะนี้อยู่ระหว่างการดำเนินการ โดยตั้งเป้าหมายเบื้องต้นจะส่งเสริมการจัดตั้งโรงงานผลิตไบโอดีเซลด้วยเทคโนโลยี BHD ขนาด 1 ล้านลิตรต่อวัน อย่างน้อย 1 โรงงานในปี พ.ศ. 2560 แต่การดำเนินงานยังมีปัญหาและอุปสรรคในเรื่องของเงินลงทุนการลงทุนก่อสร้างโรงงานที่ต้องใช้เงินลงทุนสูง รวมถึงยังมีปัญหาเรื่องการส่งออกปาล์มที่ขณะนี้ยังไม่มีการควบคุม เพราะหากมีการส่งออกน้ำมันปาล์มดิบจำนวนมากอาจมีผลกระทบต่อปริมาณวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557) ในขณะที่เทคโนโลยีในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในชุมชนที่ผ่านมาตามโครงการเทคโนโลยีพลังงานทดแทนปี พ.ศ. 2549–2550 มีการสร้างเครื่องผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยสำนักพัฒนาสมรรถนะครูและบุคลากรอาชีวศึกษา กรมอาชีวศึกษา โดยมีขนาดกำลังผลิตที่ 50 – 1000 ลิตรต่อวัน (ตามแต่ละขนาดของเครื่องนั้นๆ) โดยการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจะใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Trans-esterification) เพื่อให้ได้ผลผลิตออกมา ซึ่งก็เป็นปริมาณที่ไม่เพียงพอตามเป้าหมายในการผลิตไบโอดีเซลของกระทรวงพลังงาน



รูปที่ 1.2 ปริมาณการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลช่วงปี พ.ศ. 2557–2559
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559)

เพื่อเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรที่ปลูกปาล์มน้ำมันในแต่ละภูมิภาคของประเทศ ตลอดจนทั้งเพื่อเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558–2579 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ด้วยวิธีการกลั่น การเติมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งก่อน และหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น และทำการนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งก่อน และหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น ทั้งในกรณีก่อน และหลังผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์มาทำการวัดคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงต่างๆ ประกอบด้วยความถ่วงจำเพาะ ความหนืด ความหนาแน่น การกลั่น ดัชนีซีเทน และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง รวมทั้งความบริสุทธิ์ เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในกรณีต่างๆ ดังที่กล่าวมาในข้างต้น ตลอดจนทำการวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่มีต่อการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ หรือเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการเกษตร ซึ่งจากงานวิจัยนี้จะเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่น้ำมันปาล์มและเป็นการส่งเสริมการใช้น้ำมันปาล์มที่เกษตรกรสามารถผลิตเองได้กับเครื่องจักรกลทางการเกษตร เพื่อลดการใช้น้ำมันดีเซลจากการนำเข้าจากต่างประเทศ รวมไปถึงสามารถนำเอาองค์ความรู้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มไปประยุกต์ใช้ได้ชุมชนเกษตรกรที่มีการปลูกปาล์มในแต่ละภูมิภาคทั่วประเทศไทยในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Trans-esterification)

1.2.2 เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการกลั่น รวมถึงการผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) ในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

1.2.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งก่อน และหลังการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวิธีการกลั่น รวมถึงการผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) ในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

1.2.4 เพื่อศึกษาผลกระทบของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่มีต่อการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ หรือเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการเกษตร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้น้ำมันปาล์มดิบ และเมทิลแอลกอฮอล์ (เมทานอล) เป็นสารตั้งต้น และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

1.3.2 ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Trans-esterification) ในรูปแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการ (ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบได้ในปริมาณ 400 มิลลิลิตร ต่อ 1 ครั้ง) เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

1.3.3 ศึกษาการกลั่นน้ำมันจากเครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure (เครื่องมือวัดอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D86)

1.3.4 การกลั่นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตได้หลังผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแล้ว จะกลั่นที่ร้อยละ 90 ของปริมาณน้ำมันน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตได้

1.3.5 ใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) เป็นสารเติมแต่งสำหรับผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

1.3.6 ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ทั้งก่อนและหลังจากผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการกลั่นประกอบด้วย ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น ความหนืด การกลั่น ดัชนีซีเทน และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง รวมถึงความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

1.3.7 ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ทั้งก่อนและหลังจากผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการกลั่นทั้งในกรณีก่อน และหลังจากการผสมสารเติมแต่งผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงแล้ว (ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์) ประกอบด้วย ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น ความหนืด การกลั่น ดัชนีซีเทน และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

1.3.8 ใช้ไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสไฟฟ้าวน (Eddy Current Brake) ในการทดสอบ

1.3.9 ตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับใช้ทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษไอเสียจากเครื่องยนต์รอบต่ำ ได้แก่ น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ รวมถึงน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ทั้งก่อน และหลังจากผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

ด้วยวิธีการกลั่น ทั้งในกรณีก่อน และหลังจากการผสมสารเติมแต่งผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงแล้ว (ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์)

1.3.10 ตรวจวัดการปล่อยมลพิษไอเสียจากเครื่องยนต์รอบต่ำ ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide, NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide, CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂) และไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon, UHC)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Trans-esterification)

1.4.2 ทราบถึงการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการกลั่น

1.4.3 ทราบถึงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ทั้งก่อน และหลังจากผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการกลั่น ทั้งในกรณีก่อน และหลังจากการผสมสารเติมแต่งผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงแล้ว (ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์)

1.4.4 ทราบถึงผลจากการปล่อยมลพิษไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำหลังจากใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากปาล์มในแต่ละกรณี

1.5 สถานที่ดำเนินงานวิจัย

1.5.1 อาคารเครื่องมือ 5 (F5) และอาคารเครื่องมือ 10 (F10) ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.2 อาคารปฏิบัติการพื้นฐานด้านวิศวกรรมศาสตร์ (F11) ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.3 ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.4 อาคารจักรกลการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยวัตถุดิบที่ถูกนำมาใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลคือ ปาล์มน้ำมัน กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Trans-esterification) ประเภทของสารเติมแต่งที่ใช้กันโดยทั่วไป โดยลงรายละเอียดไปที่สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ การวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) รวมถึงทฤษฎีของการปล่อยมลพิษไอเสียจากเครื่องยนต์สันดาปภายในโดยการจุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล โดยรายละเอียดต่างๆ มีดังต่อไปนี้

2.1 ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm)

ปาล์มน้ำมันมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ “*Elacis 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

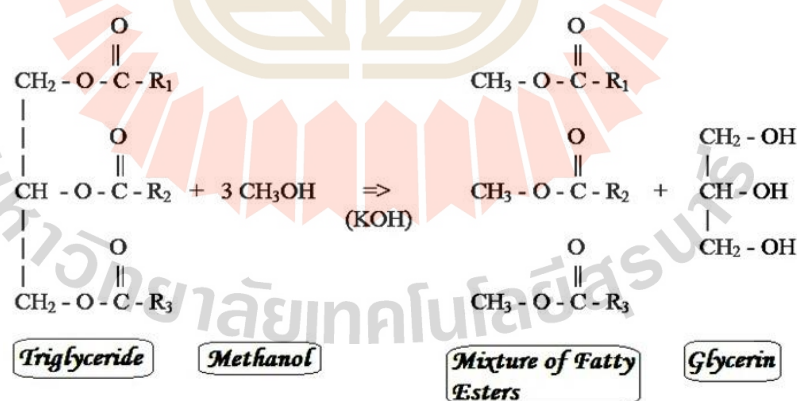


รูปที่ 2.1 ปาล์มน้ำมัน ก) ต้นปาล์มน้ำมัน ข) ทะลายปาล์มน้ำมัน

(Crude Palm Oil) มีลักษณะเป็นของเหลวปนของแข็งที่อุณหภูมิห้อง สีส้มเข้ม พบในเปลือกนอกของผลปาล์ม มีกรดไขมันชนิดกรดปาล์มติก (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 ปฏิกิริยาผลิตเอสเทอร์จากสารตั้งต้นประเภทแอลกอฮอล์ และไตรกลีเซอไรด์หรือไดกลีเซอไรด์หรือโมนอกลิเซอไรด์ โดยปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งระบบที่มีสารเร่งปฏิกิริยา และไม่มีสารเร่งปฏิกิริยา (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2579; Caye et al., 2008) ดังรูปที่ 2.2 ไตรกลีเซอไรด์ (Tri-glyceride) คือ กรดไขมันอิสระสามโมเลกุลรวมตัวกัน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่จะใช้ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (Methanol) โดยมีด่าง (Potassium Hydroxide, KOH) เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา และผลผลิตที่ได้หลังจากการทำปฏิกิริยาคือ เอสเทอร์ (Ester) หรือน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรอล (Glycerol)



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

วิษณีย์ ออมทรัพย์สิน และคณะ (2549) ได้ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตรา 1.0, 1.2 และ 1.4% โดยน้ำหนัก ความเร็วในการทำปฏิกิริยา 3 ระดับ คือ 350, 400 และ 450 รอบ/นาที การทำปฏิกิริยา

ครั้งนี้ใช้เมทานอล 20% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 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 และจากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลต่างประเทศและมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน

Alamu O. J et al (2008) ได้ศึกษากระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบหรือการทำน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งผลที่ได้พบว่า การใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดิบ จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบและเมทานอลเป็นสารตั้งต้น โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งใช้ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.5%, 0.75%, 1%, 1.25, 1.5%, และ 2% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ และมีการควบคุมปริมาณน้ำมันปาล์มดิบที่ 100 กรัม เมทานอล 20 กรัมคงที่ รวมไปถึงการควบคุมเวลาในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 120 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสคงที่เช่นเดียวกันพบว่า ที่เงื่อนไขในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบเดียวกัน ในกรณีที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ จะทำให้ได้ผลผลิตของน้ำมันปาล์มดิบมากที่สุดที่ 95.80% และยังพบว่า คุณสมบัติของน้ำมันปาล์มที่ทดสอบภายใต้การทดสอบตามมาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) หลังปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ทั้งค่าความถ่วงจำเพาะ ความหนืด จุดไหลเท และจุดขุ่น

Jawad, N. et al (2008) ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งผลผลิตที่ได้คือ เอสเทอร์จากปาล์มหรือน้ำมันไบโอดีเซล และกลีเซอริน คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มที่ผลิตได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม รวมถึงการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลแบบหัวฉีด จากการศึกษาพบว่า ด้านคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มมีคุณสมบัติดีกว่าน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม ด้านสมรรถนะและการปล่อยมลพิษ น้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มมีผลให้เครื่องยนต์มีแรงบิดลดลงและประสิทธิภาพทางความร้อนลดลง ทั้งนี้มีปริมาณการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม แต่อย่างไรก็ตาม น้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มก็เป็นอีกหนึ่งพลังงานทางเลือกในอนาคตที่จะมีความต้องการใช้อย่างแพร่หลาย

Zlatica J. Predojevic' (2008) ได้ศึกษาขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากน้ำมันพืชจากดอกทานตะวันที่ใช้แล้ว โดยใช้เมทานอลและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยา คุณสมบัติและร้อยละการเกิดไบโอดีเซลจะถูก

เปรียบเทียบจาก 3 เงื่อนไขที่แตกต่างกันจากการใช้ซิลิกาเจล กรดฟอสเฟอริก 5% และน้ำกลั่น อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในการล้างน้ำมันไบโอดีเซล (ทำให้น้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์) หลังจากผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแล้ว น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตแล้วจากกรณีต่างๆ จะถูกนำมาทดสอบความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด ค่าไอโอดีน ปริมาณกรดลิโนเลนิก และความบริสุทธิ์ ร้อยละการเกิดน้ำมันไบโอดีเซลจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรดและความหนืดของวัตถุดิบ ผลการศึกษาพบว่า การล้างน้ำมันไบโอดีเซล (ทำให้น้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์) ด้วยซิลิกาเจลและกรดฟอสเฟอริกมีค่าร้อยละการเกิดน้ำมันไบโอดีเซลสูงที่สุด (ประมาณร้อยละ 92) ขณะที่น้ำกลั่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่าน้อยที่สุด (ประมาณร้อยละ 89) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ซิลิกาเจลและกรดฟอสเฟอริกให้ผลที่ดีกว่าน้ำกลั่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในการล้างน้ำมันไบโอดีเซล (ทำให้น้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์) หลังจากผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแล้ว

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 ซึ่งเป็นกระบวนการรวมตัวของออกซิเจนกับน้ำมันเกิดเป็นคราบยางเหนียวเกาะตามหัวฉีดระบบเชื้อเพลิง หรือไส้กรองเชื้อเพลิง

2.3.4 สารเติมแต่งเพื่อช่วยควบคุมปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันระหว่างการเก็บรักษาหรือขนส่ง เช่น สารควบคุมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเชื้อรา ซึ่งจุลินทรีย์หรือเชื้อราจะสามารถเจริญเติบโตได้ในชั้นน้ำอิสระที่แยกตัวออกจากน้ำมัน สำหรับประเทศไทยกรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ซึ่งครอบคลุมถึงปริมาณน้ำในน้ำมัน ดังนั้นที่ต้นทางผู้ผลิตน้ำมันก็ต้องผลิตน้ำมันที่มีน้ำไม่เกินค่ามาตรฐาน ส่วนที่ปลายทางผู้ค้าน้ำมันและสถานีบริการก็มีหน้าที่ในการดำเนินการมาตรการต่างๆ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปปนเปื้อนใน

น้ำมันระหว่างการขนส่งหรือเก็บรักษา เพื่อให้้ำมันมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา อาทิเช่น

ธัญญธร อิศราชีวะ (2548) ได้ศึกษาผลกระทบของสาร Oxygenated Additive ในลักษณะทางอิมัลชันของการผสมน้ำมันดีเซลและเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 95%, 99.5% และ 99.9% ที่อุณหภูมิห้องพบว่า การใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5% เหมาะสมในการนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลมากที่สุดทั้งในด้านราคา และการไม่ก่อให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันระหว่างการผสม ในกรณีที่ใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95% จะก่อให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันเป็นผลทำให้เครื่องยนต์เกิดอาการน็อกและขึ้นส่วนเกิดสนิมได้ การผสมสารออกซิเจนเนตในน้ำมันดีเซลทำให้คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันดีเซลเปลี่ยนไปคือ การเติมเอทานอลลงไป ในดีเซลส่งผลให้ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันลดลง ในทางกลับกันการเติมเอทิลอะซิเตทลงไปทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ความหนาแน่นของดีโซฮอล์ในทุกอัตราส่วนการผสมที่ใช้ทดสอบยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซลทั่วไป การเติมเอทานอลและเอทิลอะซิเตทลงไปทำให้ค่าดัชนีซีเทนของดีโซฮอล์ลดลง ซึ่งส่วนผสมที่ดีเซล 90% เอทิลอะซิเตท 5% และเอทานอล 5% จะมีค่าดัชนีซีเทนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ส่วนค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำมันดีเซลปกติมากนัก เมื่อพิจารณาผลจากการเติมสารจำพวกออกซิเจนเนตลงไปจะมีผลทำให้ปริมาณมลพิษในไอเสียลดลง โดยเฉพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด

การุญ พิงสุวรรณรักษ์ (2556) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของการใช้สารเติมแต่งในกลุ่มไบโอโซลูชัน และกลุ่มโลหะผสมกับน้ำมันดีเซล (D) และน้ำมันไบโอดีเซล (B5) ที่มีผลต่อคุณสมบัติ สมรรถนะ และการปล่อยมลพิษในเครื่องยนต์ โดยกลุ่มไบโอโซลูชันที่ศึกษา ได้แก่ พอลิเมอร์ และสารสกัดจากธรรมชาติ กลุ่มโลหะ ได้แก่ นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยทำการวัดคุณสมบัติภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) และได้ทำการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ด้วยวิธีแชสซิสไดนาโมมิเตอร์ (Chassis Dynamometer) กับแบบจำลองการขับขึ้นบนถนน จากผลการทดสอบพบว่า การใช้สารเติมแต่งชนิดนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงให้กำลังเครื่องยนต์ดีกว่าการใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลปาล์ม (B5) อยู่ที่ 8.43% และ 1.36% ตามลำดับ และให้แรงบิดเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้นเป็น 1.01% และ 1.53% อยู่ในช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ 2,000 ถึง 3,000 รอบต่อนาที ในส่วนอัตรา การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสามารถลดอัตราการใช้เชื้อเพลิงได้ 13.58% และ 10.01% จากการใช้สารเติมแต่งนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ และสารสกัดจากธรรมชาติผสมน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลปาล์ม (B5) ผลการทดสอบการปล่อย

มลพิษ NO_x , CO และ CO_2 ลดลงจากการใช้สารเติมแต่งชนิดนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์และสารสกัดจากธรรมชาติผสมน้ำมันดีเซล

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้สารเติมแต่งในน้ำมันดีเซลที่ใช้คือ 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 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขนาดอนุภาคซิงค์ออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับอนุภาคนาโนเมตร มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กระดับนาโนเมตร (10-9 นาโนเมตร) มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาว และไม่เปลี่ยนสี สามารถป้องกันรังสี UV-A แล UV-B ด้านทานแบคทีเรีย (Anti-Bacteria) สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆได้ และมีคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา อาทิเช่น

Karthikeyan S. (2014) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าการผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (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 จุดขุ่น และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงของน้ำมันทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้แก่ ไบโอดีเซล B20 ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 50 ppm และ 100 ppm มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน สำหรับสมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 1,500 รอบต่อนาที พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมัน B20 ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์ 100 ppm มีค่าน้อยที่สุด ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่ามากที่สุด และอุณหภูมิของไอเสียมีค่ามากที่สุด และในด้านมลพิษ การปล่อย CO HC และ NO_x เครื่องยนต์ดีเซลมีปริมาณลดลงขณะที่ปริมาณควันที่ปล่อยออกมาหลังจากการเผาไหม้มีปริมาณเท่ากันทั้งสามตัวอย่างน้ำมัน สรุปได้ว่า นาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลมีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลในทิศทางที่ดีขึ้น รวมทั้งยังสามารถลดมลพิษที่ปล่อยออกมาหลังการเผาไหม้ได้อีกด้วย

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 ความหนาแน่นของสสาร (kg/m^3)

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

จากค่าที่อ่านได้ในข้อปฏิบัติข้างต้นนั้น สามารถนำมาคำนวณเป็นมาตราความถ่วงเอพีไอ (API Gravity) โดยเทียบเท่าความถ่วงจำเพาะ โดยมาตราความถ่วงเอพีไอถูกจัดตั้งขึ้นโดยสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา (America Petroleum Institute, API) ซึ่งหน่วยความถ่วงเอพีไอมีความละเอียดกว่าความถ่วงจำเพาะและไม่ต้องอ่านตัวเลขหลังจุดทศนิยมหลายตำแหน่ง สามารถคำนวณค่าได้ดังสมการที่ 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 ความหนืดคิเนแมติกหรือความหนืดเชิงจลศาสตร์ (Kinematic Viscosity)

ความหนืดคิเนแมติก คือ ความต้านทานต่อการไหลของของเหลวที่วัดภายใต้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิมาตรฐาน เป็นอัตราส่วนของความหนืดไดนามิกส์ (Dynamic Viscosity) ต่อความหนาแน่นของของเหลว หน่วยเป็นตารางเซนติเมตรต่อวินาที (cm^2/s) หรือสโตก (Stoke) มีผลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดจากหัวฉีด น้ำมันที่มีความหนืดคิเนแมติกสูงจะฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นฝอยไม่ดีและได้ละอองน้ำมันขนาดใหญ่ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความหนืดคิเนแมติกต่ำเกินไปละอองน้ำมันละเอียดมาก 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 โดยใช้ น้ำมันตัวอย่างในการทดสอบที่ 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 ถ้าส่วนนี้มีอุณหภูมิสูงมากเกินไปน้ำมันจะระเหยไม่หมดและไหลผ่านแหวนลูกสูบลงไปทำให้น้ำมันเครื่องเจือจางลง (Crankcase Dilution) และเสื่อมคุณภาพเร็ว

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

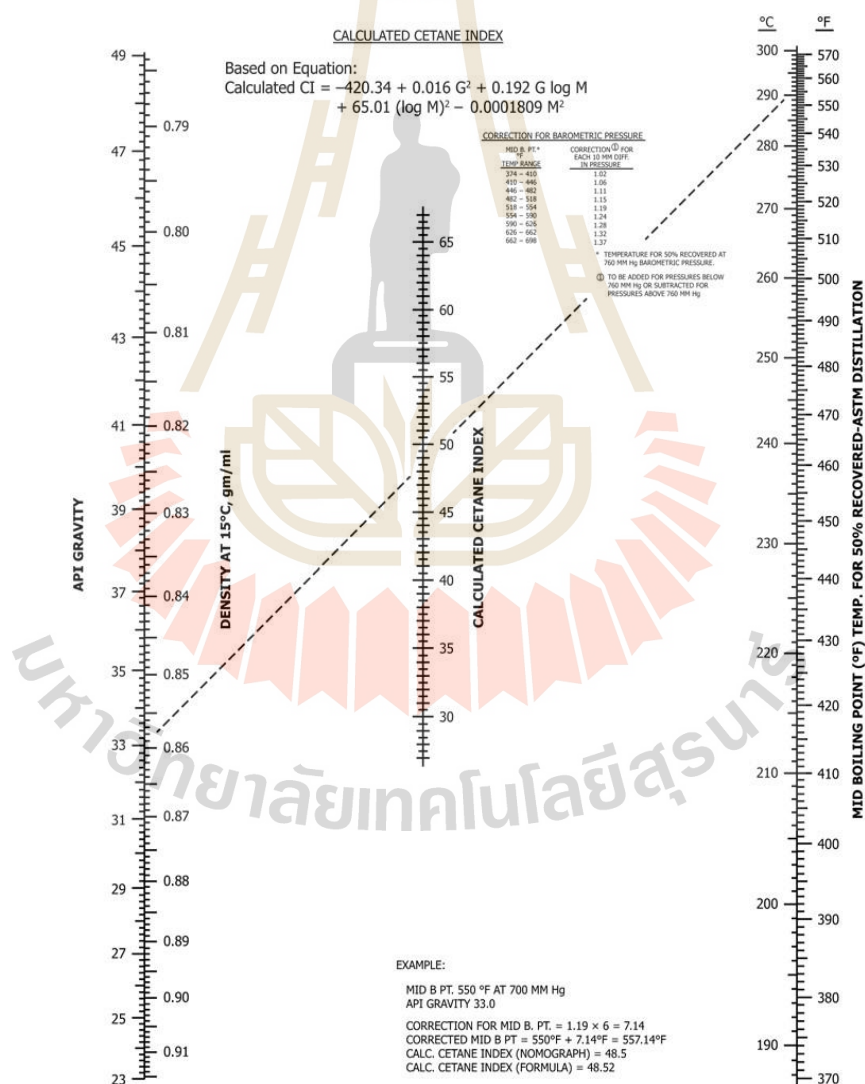


รูปที่ 2.6 เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure

2.4.4 ดัชนีซีเทน (Cetane Index)

ดัชนีซีเทน คือ ค่าที่บ่งบอกคุณภาพการจุดติดไฟ (Ignition Quality) หรือการหน่วงติดไฟ (Ignition Delay) ของน้ำมันดีเซล เมื่อน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้จึงเกิดติดไฟได้เอง

น้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูงมีองค์ประกอบพาราฟินโซ่ตรงมาก ปริมาณสารแอมัลกัมต่ำ จุดติดไฟเร็ว เครื่องยนต์สตาร์ทดีดง่าย เครื่องยนต์เดินเรียบ ไอเสียไม่เกิดควันขาว คำนวณได้จาก ความถ่วงจำเพาะ API และจุดเดือดค่ากลาง (Mid-Boiling Point) ของน้ำมันตามวิธีมาตรฐาน ASTM D976 หรือ D4737 น้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่กำหนดในท้องตลาดต้องมีดัชนีซีเทนไม่ต่ำกว่า 47 มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลกำหนดดัชนีซีเทนไม่ต่ำกว่า 51 โดยดัชนีซีเทนได้มาจากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 โดยปริมาตร หรือจุดกึ่งกลางของการเดือด (Mid Boiling Point) และความหนาแน่นหรือความถ่วงเอพิโอที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าดัชนีซีเทนสามารถหาได้จากโนโมกราฟ ดังรูปที่ 2.7 หรือคำนวณได้จากสมการที่ 2.3



รูปที่ 2.7 โนโมกราฟ (Nomograph) สำหรับการหาค่าดัชนีซีเทน

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

โดย CCI คือ คำนวณซีเทน (Calculated Cetane Index)

G คือ ความถ่วงเอพีไอ (API Gravity)

M คือ อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของการเดือดที่ร้อยละ 50 โดยปริมาตร มีหน่วยเป็น °F

2.4.5 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value)



รูปที่ 2.8 เครื่องมือ Bomb Calorimeter รุ่น Bomb C5000

ค่าความร้อนเชื้อเพลิง หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้นๆ 1 หน่วยมวล (สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและของเหลว) หรือ 1 หน่วยปริมาตร (สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ) เมื่อเผาไหม้หมดอย่างสมบูรณ์ สำหรับการเปรียบเทียบว่าเชื้อเพลิงชนิดใดจะให้พลังงานความร้อนได้มากกว่ากันสามารถทำได้โดยนำน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมาต้มน้ำในปริมาตรเท่ากัน ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากัน เชื้อเพลิงชนิดใดใช้หมดไปน้อยที่สุด เชื้อเพลิงนั้นจะมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงมากคือเป็นเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานความร้อนได้ดี ในการเลือกใช้ประเภทของเชื้อเพลิง นอกจากจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการให้พลังงานความร้อนสูงแล้ว ยังต้องพิจารณาความเหมาะสมอื่นๆอีก เช่น ราคาเชื้อเพลิง ความปลอดภัยในการใช้ ปริมาณการผลิต ปริมาณเชื้อเพลิงที่มีในธรรมชาติ ตลอดจนประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้กับเชื้อเพลิงนั้นๆ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วอุปกรณ์หรือเครื่องยนต์ต่างๆ จะมีประสิทธิภาพในการทำงานไม่ครบ 100 เปอร์เซ็นต์

จะมีพลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียไปโดยไม่เกิดประโยชน์เสมอ เช่น สูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อม และบางส่วนสูญเสียไปเพื่อเอาชนะความฝืดของเครื่องยนต์ เพื่อให้ได้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ถูกต้อง เชื่อถือได้ จะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “บอมบ์แคลอริมิเตอร์” (Bomb Calorimeter) ซึ่งเครื่องมือนี้จะ ป้องกันไม่ให้ปริมาณความร้อนบางส่วนต้องสูญเสียไปกับสิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐาน ASTM D240

2.4.6 ความบริสุทธิ์ (Purity)

การทดสอบความบริสุทธิ์ของน้ำมันจะใช้เครื่องมือเรียกว่า “โครมาโทกราฟี” (Chromatography) ดังรูปที่ 2.9 ในการทดสอบตามมาตรฐาน EN 14103 โครมาโทกราฟีอาศัยสมบัติ 2 ประการคือ สารต่างชนิดกันมีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายได้ต่างกัน และ สารต่างชนิดกันมีความสามารถในการถูกดูดซับด้วยตัวดูดซับได้ต่างกัน โครมาโทกราฟี (Chromatography) เป็นการแยกสารผสมที่มีสี หรือสารที่สามารถทำให้เกิดสีได้ วิธีการนี้มีเฟส 2 เฟส คือ เฟสอยู่กับที่ (Stationary Phase) กับ เฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) โดยที่สารในเฟสอยู่กับที่ จะทำหน้าที่ดูดซับ (Adsorb) สารผสมด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์ สารที่ใช้ทำเฟสอยู่กับที่จึงมีลักษณะเป็น พงละเอียดยมีพื้นที่ผิวมากเช่นอลูมินา (Alumina, Al_2O_3) ซิลิกาเจล (Silica Gel, SiO_2) หรืออาจจะใช้ วัสดุที่สามารถดูดซับได้ดี เช่น ซอล์ก กระจาดย เป็นต้น



รูปที่ 2.9 เครื่องมือโครมาโทกราฟี (Chromatography)

ซึ่งสารที่ทำหน้าที่ดูดซับในเฟสอยู่กับที่ เช่น น้ำ ส่วนเฟสเคลื่อนที่จะทำหน้าที่ชะ (Elute) เอาสารผสมออกจากเฟสอยู่กับที่ให้เคลื่อนที่ไปด้วย การจะเคลื่อนที่ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

กับแรงดึงดูดระหว่างสารในสารผสมกับตัวดูดซับในเฟสอยู่กับที่ ดังนั้นสารที่ใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่จึง ได้แก่ พวกตัวทำละลาย เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ เฮกเซน คลอโรฟอร์ม เบนซีน ฯลฯ การทำโครมาโทกราฟีสามารถทำได้หลายวิธีจะแตกต่างกันที่เฟสอยู่กับที่ว่า อยู่ในลักษณะใด เช่น

1) โครมาโทกราฟีแบบคอลัมน์ (Column Chromatography) ทำได้โดยการบรรจุสารที่เป็นเฟสอยู่กับที่ เช่น อลูมินาหรือซิลิกาเจลไว้ในคอลัมน์ แล้วเทสารผสมที่เป็นสารละลายของเหลวลงสู่คอลัมน์ สารผสมจะผ่านคอลัมน์ช้าๆ โดยตัวทำละลายซึ่งเป็นเฟสเคลื่อนที่ เป็นผู้พาไป สารในเฟสอยู่กับที่จะดูดซับสารในสารผสมไว้ส่วนประกอบใดของสารผสมที่ถูกดูดซับได้ดีจะเคลื่อนที่ช้า ส่วนที่ถูกดูดซับไม่ดียังเคลื่อนที่ได้เร็ว ทำให้สารผสมแยกจากกันได้

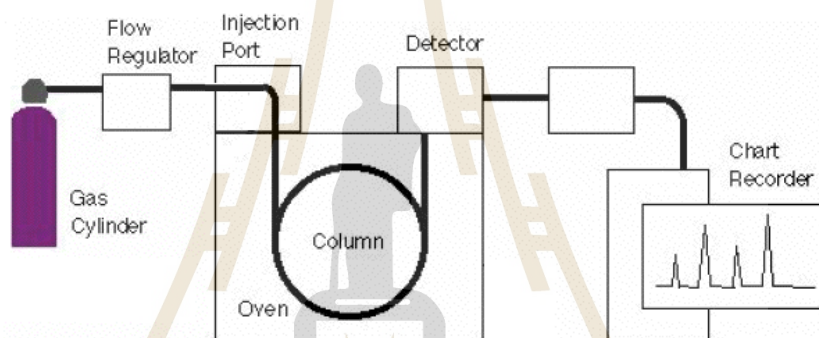
2) โครมาโทกราฟีแบบชั้นบาง (Thin Layer Chromatography) เป็นโครมาโทกราฟีแบบระนาบ (Plane Chromatography) โดยทำเฟสอยู่กับที่ให้มีลักษณะเป็นคริมชั้น แล้วเคลือบบนแผ่นกระจกให้ความหนาของการเคลือบเท่ากันตลอดแล้วนำไปอบให้แห้ง หยดสารละลายของสารผสมที่ต้องการแยกบนแผ่นที่เคลือบเฟสอยู่กับที่นี้ไว้ แล้วนำไปจุ่มในภาชนะที่บรรจุตัวทำละลายที่เป็นเฟสเคลื่อนที่ไว้ โดยให้ระดับของตัวทำละลายต้องอยู่ต่ำกว่าระดับของจุดที่หยดสารผสมไว้ ตัวทำละลายจะซึมไปตามเฟสอยู่กับที่ด้วยการซึมตามรูเล็กเหมือนกับน้ำที่ซึมไปในกระดาษหรือผ้า เมื่อซึมถึงจุดที่หยดสารผสมไว้ ตัวทำละลายจะชะเอาองค์ประกอบในสารผสมนั้นไปด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพมีขั้ว (Polarity) ของสารที่เป็นองค์ประกอบกับสารที่เป็นตัวทำละลาย ถ้าตัวทำละลายเป็น โมเลกุลมีขั้ว (Polar Molecules) จะชะเอาสารในสารผสมที่เป็นสารมีขั้วไปด้วยได้เร็ว ส่วนสารที่ไม่มีขั้วในสารผสมจะถูกชะพาไปได้ช้าสารผสมก็จะแยกออกจากกัน

3) โครมาโทกราฟีแบบกระดาษ (Paper Chromatography) เป็นโครมาโทกราฟีแบบระนาบอีกแบบหนึ่ง มีวิธีการและหลักการเหมือนกับโครมาโทกราฟีแบบชั้นบาง แตกต่างกันที่เฟสอยู่กับที่ ใช้กระดาษที่สามารถดูดซับได้แทนกระจกที่เคลือบด้วยซิลิกาเจล

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

ปัจจุบันเทคโนโลยีของโครมาโทกราฟีได้ถูกพัฒนาให้สามารถทำงานได้รวดเร็ว และใช้แยกสารตัวอย่างได้ครั้งละหลายสารตัวอย่าง เช่น Gas - Liquid Chromatography (GLC), High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เป็นต้น หลักการของโครมาโทกราฟี คือ

โครมาโทกราฟีอาศัยหลักการละลายของสารในตัวทำละลาย และการถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ โดยสารที่ต้องการนำมาแยกโดยวิธีนี้จะมีสมบัติการละลายในตัวทำละลายได้ไม่เท่ากัน และตัวถูกดูดซับโดยตัวดูดซับได้ไม่เท่ากัน ทำให้สารเคลื่อนที่ได้ไม่เท่ากัน วิธีการทำโครมาโทกราฟีคือนำสารที่ต้องการแยกมาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมแล้วให้เคลื่อนที่ไปบนตัวดูดซับ การเคลื่อนที่ของสารบนตัวดูดซับขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของสารแต่ละชนิดในตัวทำละลาย และความสามารถในการดูดซับที่มีต่อสารนั้น กล่าวคือ สารที่ละลายในตัวทำละลายได้ดี และถูกดูดซับน้อยจะถูกเคลื่อนที่ออกมาก่อน ส่วนสารที่ละลายได้น้อยและถูกดูดซับได้ดีจะเคลื่อนที่ออกมาทีหลัง ถ้าใช้ตัวดูดซับมากๆ จะสามารถแยกสารออกจากกันได้ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเครื่องโครมาโทกราฟี

2.5 การปล่อยมลพิษจำเพาะ และครรชนิมลพิษ

ในการทำงานของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในจะมีการปล่อยไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศออกมาจากเครื่องยนต์ ซึ่งมีส่วนประกอบที่ถือว่าเป็นมลพิษออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่ยังไม่เกิดการเผาไหม้ และฝุ่นละออง (Particulate) ความเข้มข้นของแก๊สที่เป็นมลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์มักจะถูกวัดเป็นส่วนในด้านส่วน หรือร้อยละในปริมาตร แต่พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะพิจารณาเป็น 2 ลักษณะคือ อัตราการไหลของมวลมลพิษต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมา เรียกว่า “การปล่อยมลพิษจำเพาะ” อีกลักษณะหนึ่งก็คือ อัตราการไหลของมวลมลพิษต่อหน่วยอัตราไหลของเชื้อเพลิงที่เรียกว่า “ครรชนิมการปล่อยมลพิษ”

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงเป็นสารที่มีพลังงานเคมีอยู่ในตัวเองและสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีให้กลายเป็นรูปความร้อนได้ โดยผ่านกระบวนการเผาไหม้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจน ผลที่เกิดจากปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้ทั้งเชื้อเพลิงและออกซิเจนจัดรวมตัวกันใหม่ กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้และผลพลอยได้คือความร้อนและแสงสว่างที่สามารถมองเห็นได้ในรูปแบบของเปลวไฟ แสดงสมการการเผาไหม้ได้ดังสมการที่ 2.4



และการเผาไหม้ของเครื่องยนต์แบ่งออกได้ ดังนี้

- 1) การเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ



- 2) การเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ



2.5.1 การเกิดมลพิษในเครื่องยนต์

การเกิดมลพิษในเครื่องยนต์ โดยทั่วไปแบ่งได้ดังนี้

- 1) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดเนื่องจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ โดยทั่วไปเกิดจากการมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ นอกจากนี้สามารถเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ เช่น เกิดการมีส่วนผสมบาง เกิดจากการดับของเปลวไฟขณะกระบวนการเผาไหม้เนื่องจากไอดีที่อยู่บริเวณติดกับผนังห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิต่ำ เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งเกิดจากการจ่ายน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้ไม่สม่ำเสมอ หรือเกิดจากการที่แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ เมื่อเพิ่มออกซิเจนเข้าไปในกระบวนการแต่ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้หมด

- 2) ไฮโดรคาร์บอน (HC) เป็นแก๊สที่สามารถติดไฟได้เนื่องจากไฮโดรเจนและคาร์บอนเป็นธาตุที่ติดไฟ เมื่อเกิดการเผาไหม้ไม่หมดจึงเหลือเชื้อเพลิง (ไฮโดรคาร์บอน) ปนออกมา

กับไอเสีย ซึ่งการเกิดแก๊สดังกล่าวมีหลายสาเหตุคือ เกิดจากอากาศมีปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อการสันดาปเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ จึงเหลือเชื้อเพลิงบางส่วนที่ไม่เผาไหม้เกิดจากสัดส่วนหรืออัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศไม่เหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นส่วนผสมหนาหรือส่วนผสมบาง เพราะส่วนผสมหนาจะทำให้ออกซิเจนที่ใช้ในการสันดาปไม่เพียงพอเชื้อเพลิงจึงเผาไหม้ไม่หมด ในขณะที่เดียวกันหากส่วนผสมบางจะทำให้การแพร่กระจายของเปลวไฟลดลง ทำให้ส่วนผสมบางส่วนเผาไหม้ไม่ทันและเหลือมากับไอเสีย อีกทั้งยังเกิดจากส่วนผสมบางส่วนหลุดปนออกไปกับไอเสียในจังหวะที่ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียเปิดเหลื่อมกัน (Overlap) หรืออาจเกิดจากไอดีที่ติดกับผนังกระบอกสูบทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างไอดีและผนังกระบอกสูบเกิดขึ้นมากเกินไป

3) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เกิดจากการสันดาปในห้องเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง หมายความว่า ถ้ามีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะเกิดไนโตรเจนออกไซด์มาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ไนโตรเจนออกไซด์จะเกิดได้นั้นต้องมีปัจจัยอยู่ 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 เจนวินชปีญกุล (2524) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย มีการนำเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มหรือไบโอดีเซล เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่อง ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ค่าลึงของเครื่องยนต์เมื่อเปรียบเทียบกับใช้น้ำมันดีเซลมีค่าเทียบเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าความหนืดของเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มมีค่าที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล รวมถึงค่าเลขซีเทนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่อย่างไรก็ตามผลการทดสอบดังกล่าวเป็นเพียงการทดสอบในระยะเวลาสั้นเท่านั้น

สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา (2544) ได้ศึกษาและเสนอผลงานวิจัยต่างที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อเครื่องยนต์ และมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันพืชชนิดต่างๆ คือน้ำมันมะพร้าวดิบ น้ำมันดิบปาล์ม รวมถึงเอสเทอร์ของน้ำมันมะพร้าวและของน้ำมันปาล์ม เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์พบว่า เอสเทอร์ของน้ำมันพืชทั้งสองชนิดมีค่าคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ส่วนค่า

คุณภาพของน้ำมันพืชดิบทั้งสองชนิดพบว่า มีค่าบางค่าที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลได้ เช่น ความหนืดของน้ำมันดิบทั้งสองชนิดมีค่าสูง ทำให้การจุดระเบิดเกิดขึ้นล่าช้า หัวฉีดทำงานหนัก ไม่สามารถฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นฝอยได้ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดการสะสมตัวของเขม่าและยางเหนียวตามบริเวณปั๊มหัวฉีด และบริเวณปลายหัวฉีด รวมทั้งทำให้หัวฉีดอุดตัน สมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ลดลง มลพิษในอากาศเพิ่มสูงขึ้น ความร้อนเชื้อเพลิงของน้ำมันดิบมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลส่งผลให้กำลังที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น จุดไหลเทของน้ำมันดิบมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง ทำให้เกิดปัญหาการไฉ่งานในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ การติดเครื่องยนต์ทำได้ยาก และมีไขมันอุดตันไส้กรองน้ำมันเครื่องในปริมาณที่สูง

ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2544) ได้ศึกษาและรวบรวมผลงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล โดยประเด็นหลักที่น่าเสนอคือ คุณภาพของน้ำมันพืชทางกายภาพและทางเคมี สมรรถนะของเครื่องยนต์ ผลกระทบต่อความคงทนของเครื่องยนต์ องค์ประกอบของไอเสีย และปัญหาอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันพืชทดแทนน้ำมันดีเซล โดยการศึกษาครั้งนี้ศึกษาน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว ผลการศึกษาพบว่า จากผลการวิจัยทั้งของนักวิจัยไทยและต่างประเทศที่ใช้น้ำมันพืชดิบเป็นเชื้อเพลิง โดยไม่มีการดัดแปลงหรือปรับปรุงในส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์พบว่า มีการชำรุดหรือเสียหายเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ เพราะแหวนลูกสูบเกิดการติดตัว เนื่องจากการสะสมตัวของกากคาร์บอนตามร่องแหวน สาเหตุเกิดจากน้ำมันพืชดิบมีค่าความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล 15 เท่าตัว ดังนั้นจำเป็นต้องปรับสภาพน้ำมันดิบให้มีค่าใกล้เคียงน้ำมันดีเซล โดยมี 3 แนวทาง คือ 1) กรรมวิธีทางเคมี โดยทำให้เป็นน้ำมันไฮโดรหรือเอสเทอร์ 2) การผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนไม่เกิน 20% 3) การทำให้ไขมันไบโอดีเซลร้อนขึ้น นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การเลือกใช้เครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงทางอ้อม รวมถึงการติดตั้งเทอร์โบชาร์จเพื่อช่วยในการอัดอากาศ ส่งผลให้การทำงานโดยรวมของเครื่องยนต์ดีขึ้น

กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย และคณะ (2551) ได้ศึกษาการทดสอบการใช้น้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์รอบต่ำ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ คือ น้ำมันสบู่ดำผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน D100 J20 J50 และ J100 โดยนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ 3 ยี่ห้อ คือ Kubota Yanma และทะเลทอง จำนวนทั้งหมด 12 เครื่อง ผลการทดสอบพบว่า คุณภาพของน้ำมัน J20 มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ในส่วนผลการทดสอบถึงผลกระทบของน้ำมันสบู่ดำต่อชิ้นส่วนของเครื่องยนต์พบว่า มีคราบของน้ำมันสบู่ดำเกาะติดอยู่กับชิ้นส่วนเป็นคราบสีเข้มในบางจุดในชิ้นส่วนที่ต้องสัมผัสกับน้ำมันสบู่ดำ และมีการพบร่องรอยของการศึกษาหรือที่เกิดจากการกัดกร่อนของน้ำมันสบู่ดำ โดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าของฝาสูบและปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง ในส่วนของลูกสูบลูกสูบมีร่องรอยของ

การสึกหรอเป็นจุดๆ กระจายตัวในส่วนที่เป็นขอบของร่องหรือรู และจากการตรวจสอบการอุดตันของระบบเชื้อเพลิงโดยการเช็อุปกรณ์ในน้ำมันสบูดำเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า ไม่มีปัญหาของการอุดตันในระบบ ในส่วนผลการทดสอบถึงผลกระทบของน้ำมันสบูดำต่อกำลังของเครื่องยนต์ พบว่า ค่าของกำลังงานเครื่องยนต์จะมีขนาดลดลงเมื่อใช้น้ำมันสบูดำที่มีสัดส่วนเพิ่มมากขึ้น แต่มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในส่วนผลการทดสอบถึงผลกระทบของน้ำมันสบูดำที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงพบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสบูดำในแต่ละสัดส่วน และในส่วนผลการทดสอบถึงผลกระทบของน้ำมันสบูดำต่อปริมาณควันดำในไอเสียขณะเดินเครื่องยนต์พบว่า 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% เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมพบว่า ปริมาณควันดำลดลง กำลัง แรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง มีค่าเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดีเซล

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในส่วนของหัวข้อนี้จะเป็นวิธีการดำเนินการวิจัย รวมทั้งวิธีการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้ ทั้งวิธีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน, การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ด้วยวิธีการกลั่น, วิธีการเติมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งก่อน และหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น, การวัดคุณสมบัติของน้ำมันภายใต้มาตรฐาน ASTM รวมทั้งวิธีการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ โดยจะกล่าวถึงแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนั้น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คือ น้ำมันปาล์มดิบ และมีขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันดังแสดง นั้น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คือ น้ำมันปาล์มดิบซึ่งเป็นสารตั้งต้นน้ำหนัก 400 กรัม ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยกำหนดเงื่อนไขให้ใช้เมทานอล (Methanol) น้หนักร้อยละ 45 หรือ 45% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเมทานอลจะมีน้ำหนัก 180 กรัม โดยอัตราส่วนโดยมวล (Molar Ratio) ของน้ำมันปาล์มดิบต่อเมทานอล คือ 1 : 12 หรือถ้าใช้น้ำมันปาล์มดิบ 1 โมล จะต้องใช้เมทานอล 12 โมล ในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สมบูรณ์ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) น้ำหนักร้อยละ 2 หรือ 2% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ (8 กรัม) มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และในขั้นตอนการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรอล (Glycerol) นั้น เมื่อเกิดการแยกชั้นน้ำมันไบโอดีเซลที่มีความหนาแน่นน้อยกว่ากลีเซอรอลจะลอยอยู่ด้านบนเหนือกลีเซอรอลสามารถมองเห็นการแยกชั้นได้อย่างชัดเจนด้วยตาเปล่า ดังที่แสดงในรูปที่ 3.2 (ก) และขั้นตอนสุดท้ายหลังจากต้มไล่ไอน้ำออกจากน้ำมันไบโอดีเซลแล้วจะได้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.2 (ข)



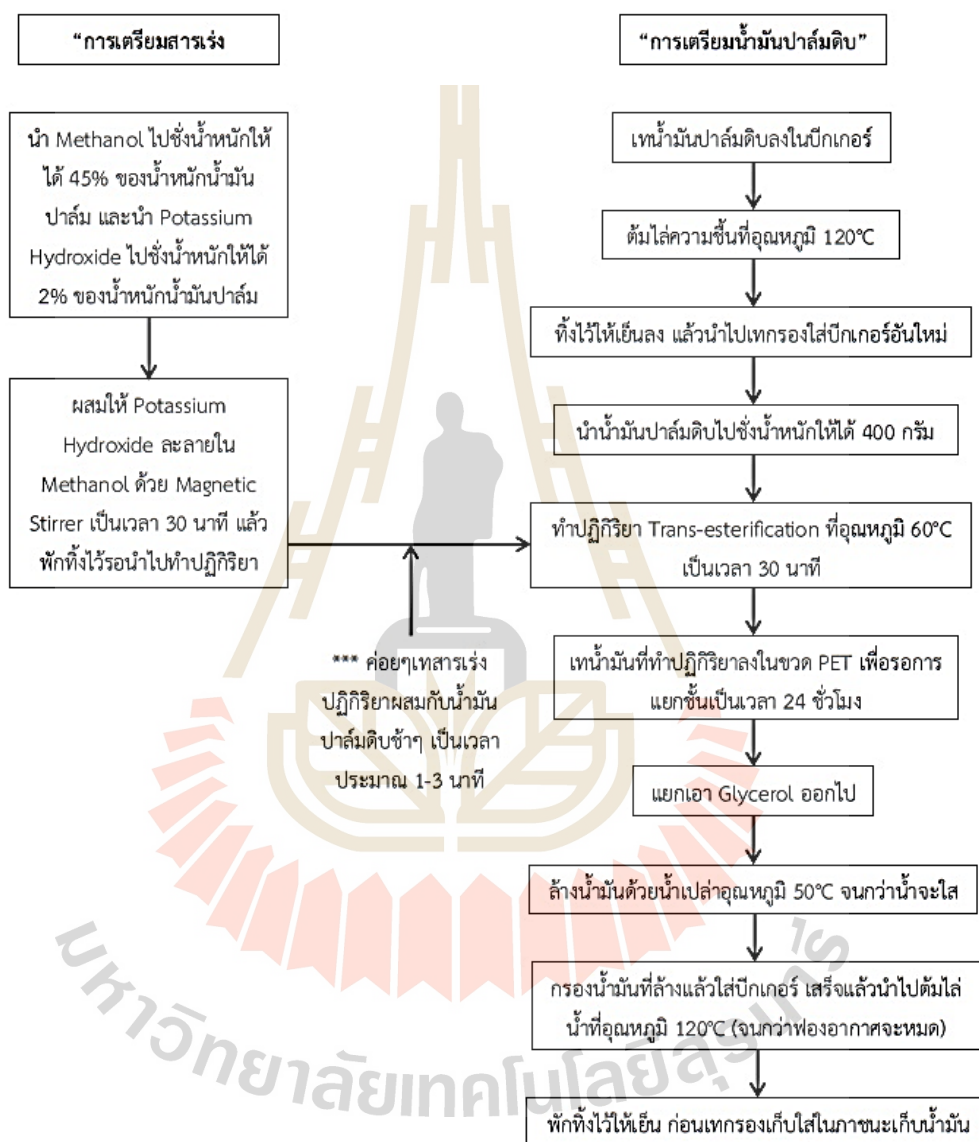
รูปที่ 3.2 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

(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) เติมน้ำมันปาล์มดิบลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

3) นำน้ำมันปาล์มดิบที่เทลงในบีกเกอร์แล้ว ไปทำการต้มไล่ความชื้นด้วยเครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer) ที่อุณหภูมิ 120 °C โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดและควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งให้ทำการสังเกตน้ำมันปาล์ม เมื่อน้ำมันปาล์มเริ่มเป็นของเหลวทั้งหมดให้ใส่แม่เหล็กสำหรับการกวนน้ำมันปาล์มดิบให้อุณหภูมิน้ำมันปาล์มดิบมีการกระจายตัวได้ดีขึ้น โดยใช้ความเร็วในการกวนของเครื่องกวนสารที่เบอร์ 2

4) สังเกตฟองอากาศที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการต้มไล่ความชื้นออกจากน้ำมัน ซึ่งขณะที่ต้มน้ำมันปาล์มนั้น ฟองอากาศจะลอยขึ้นมาอยู่ที่บริเวณผิวของน้ำมันปาล์มดิบ โดยให้ทำการต้มน้ำมันปาล์มดิบไปเรื่อยๆ จนกว่าฟองอากาศจะหมดไป นั่นหมายถึง น้ำ หรือความชื้นจะระเหยออกจากน้ำมันปาล์มดิบจนหมดไป

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

6) จากนั้นนำน้ำมันปาล์มดิบไปทำการชั่งน้ำหนัก เพื่อให้ได้สัดส่วนที่จะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยการนำบีกเกอร์อันใหม่ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ไปชั่งที่เครื่องชั่งน้ำหนัก จากนั้นให้ทำการกดเซตศูนย์ที่เครื่องชั่งน้ำหนัก แล้วเทน้ำมันปาล์มดิบลงในบีกเกอร์ที่วางอยู่บนเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มดิบในสัดส่วน หรือในน้ำหนักที่ต้องการที่จะนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

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

8) ผสมให้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ละลายในเมทานอล โดยใช้ขวดทดลองรูปชมพู่เป็นภาชนะสำหรับใส่ทั้งเมทานอล และ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ แล้วกวนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็วเบอร์ 2 เป็นเวลา 30 นาที และพักทิ้งไว้ร่อนนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

9) ถึงขั้นตอนนี้แล้ว ทั้งน้ำมันปาล์มดิบและสารเร่งปฏิกิริยาจะถูกเตรียมไว้สำหรับทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเรียบร้อยแล้ว ซึ่งในลำดับถัดไปให้นำน้ำมันปาล์มดิบที่ชั่งน้ำหนัก

ได้ตามสัดส่วนที่ต้องการแล้ว ให้ความร้อนด้วยเครื่องกวนสาร และกวนน้ำมันปาล์มดิบที่ความเร็วรอบเบอร์ 2 และใช้เทอร์โมมิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดและควบคุมอุณหภูมิ

10) ให้ความร้อนน้ำมันปาล์มดิบจนกระทั่งน้ำมันปาล์มดิบมีอุณหภูมิ 60 °C จากนั้นทำการเทสารเร่งปฏิกิริยาลงไปในบีกเกอร์น้ำมันปาล์มดิบที่กำลังถูกกวนอยู่บนเครื่องกวนสาร โดยค่อยๆเทสารเร่งปฏิกิริยาช้าๆ โดยใช้เวลาประมาณ 1-3 นาที จนกระทั่งสารเร่งปฏิกิริยาหมด อุณหภูมิของน้ำมันปาล์มดิบจะลดลงมาที่ประมาณ 55 °C ทำการให้ความร้อนน้ำมันปาล์มดิบจนกระทั่งน้ำมันปาล์มดิบมีอุณหภูมิลบไปที่ 60 °C จากนั้นทำการจับเวลาสำหรับการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นเวลา 30 นาที

11) เมื่อทำปฏิกิริยาครบ 30 นาทีแล้ว ให้นำน้ำมันปาล์มดิบไปเทเก็บไว้ในขวดทดลอง PET ซึ่งเป็นขวดทดลองสำหรับพักให้น้ำมันปาล์มดิบที่ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน แล้วให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมัน ไบโอดีเซล และกลีเซอรอลออกจากกัน ซึ่งจะใช้เวลาแยกชั้นประมาณ 24 ชั่วโมง โดยที่น้ำมันไบโอดีเซลที่มีน้ำหนักเบาจะลอยอยู่ด้านบนเหนือกลีเซอรอลที่มีน้ำหนักมากกว่า น้ำมันไบโอดีเซลจะอยู่ด้านล่างและเห็นเป็นการแยกชั้นอย่างชัดเจน

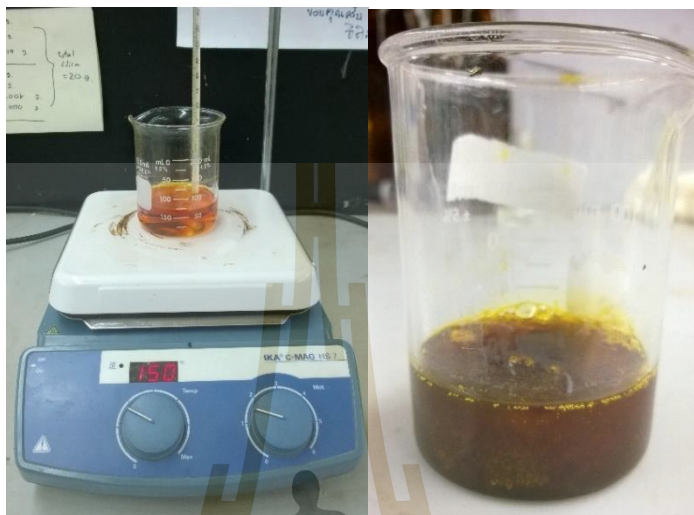
12) หลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมงแล้ว ให้ทำการแยกกลีเซอรอลออกจากน้ำมันไบโอดีเซล โดยการเปิดจุกก๊อกด้านล่างของหลอดทดลอง PET เพื่อให้กลีเซอรอลไหลออกมาจนหมด ซึ่งก่อนที่จะแยกเอากลีเซอรอล นั้น ให้ทำการนำน้ำเปล่าใส่บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องกวนสาร เพื่อใช้สำหรับการล้างน้ำมันไบโอดีเซลในขั้นตอนถัดไป

13) จากขั้นตอนที่ 12 เมื่อแยกกลีเซอรอลออกไปแล้ว น้ำเปล่าที่ถูกให้ความร้อนทิ้งไว้จะมีอุณหภูมิประมาณ 50 °C พอดี จากนั้นให้นำน้ำเปล่ามาทำการล้างน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อชำระเอา กลีเซอรอลที่ยังเหลือค้างอยู่ออกไปให้หมด โดยค่อยๆ ล้างและปล่อยน้ำออกที่จุกก๊อกด้านล่าง ขวดทดลอง PET จนกระทั่งน้ำเปล่าที่ใช้ล้างในรอบถัดไปมีลักษณะใส จึงหยุดทำการล้างน้ำมันไบโอดีเซล

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

15) สังเกตฟองอากาศที่เกิดขึ้นในขณะที่ต้มไล่ไอน้ำที่จะลอยขึ้นมาเกาะบริเวณผิวน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งทำการต้มไล่ไอน้ำไปจนกระทั่งฟองอากาศหายไปทั้งหมด จากนั้นนำน้ำมันที่ต้มไล่ไอน้ำแล้วมาพักทิ้งไว้ให้เย็น ก่อนที่จะเทกรองด้วยผ้าขาวบางอีก 1 ครั้งใส่ในภาชนะที่ใช้สำหรับเก็บ

น้ำมัน และการเก็บน้ำมันควรเก็บไว้ในที่ที่ค่อนข้างมีแสงสว่างน้อย รวมทั้งไม่สัมผัสกับสภาพสิ่งแวดล้อมมากๆ เช่น ในตู้สำหรับจัดเก็บน้ำมันไบโอดีเซลโดยเฉพาะ เป็นต้น



รูปที่ 3.4 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

3.2 ขั้นตอนการผสมน้ำมันประเภทต่างๆ

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

โดยจากตารางที่ 3.1 สามารถจำแนกเป็นรายละเอียดของขั้นตอนในการผสมน้ำมันดีเซลและการผสมน้ำมันดีเซลกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ที่ยังไม่ผ่าน และที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) รวมไปถึงสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ เพื่อให้ได้น้ำมันประเภทต่างๆที่จะนำไปใช้ในการทดสอบได้แก่

กรณีไม่ผสมสารเติมแต่ง

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

2) จากนั้นตวงน้ำมันดีเซลใส่กระบอกลงขนาด 1,000 มิลลิลิตร และตวงน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบใส่กระบอกลงขนาด 100 มิลลิลิตร ตามสัดส่วนดังตารางที่ 3.1 เพื่อให้ได้ประเภทน้ำมันที่จะผสมตามที่ต้องการ

3) เทน้ำมันที่ตวงแล้วใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นนำน้ำมันไปกวนผสมด้วยเครื่องกวนสารที่เบอร์ 2 เป็นเวลา 30 นาที

4) เทน้ำมันที่ผสมเสร็จแล้วเก็บใส่ในภาชนะสำหรับจัดเก็บน้ำมัน

กรณีที่ผสมสารเติมแต่ง

5) เตรียมน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ รวมไปถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับการผสมน้ำมัน เช่น บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร, กระบอกลงขนาด 1,000 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร เป็นต้น

6) จากนั้นตวงน้ำมันดีเซลใส่กระบอกลงขนาด 1,000 มิลลิลิตร, ตวงน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบใส่กระบอกลงขนาด 100 มิลลิลิตร ตามสัดส่วนในตารางที่ 3.1

7) เทน้ำมันที่ตวงแล้วใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นนำน้ำมันไปกวนผสมด้วยเครื่องกวนสารที่เบอร์ 2 เป็นเวลา 30 นาที

8) ทำการชั่งน้ำหนักของสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ให้ได้ที่ 0.05 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดขนาดทศนิยม 4 ตำแหน่ง โดยนำกระดาษสี่เหลี่ยมขนาดเล็กชั่งน้ำหนักลงไปก่อน จากนั้นทำการกดเซต 0 ที่เครื่องชั่งน้ำหนัก แล้วทำการตักสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ใส่ลงไปใบกระดาษให้ได้น้ำหนัก 0.05 กรัม

9) ในขั้นตอนที่ 8 หลังจากกวนผสมน้ำมันด้วยเครื่องกวนสารครบ 30 นาที แล้วทำการเทสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่อยู่ในกระดาษสี่เหลี่ยมลงไปบีกเกอร์น้ำมัน

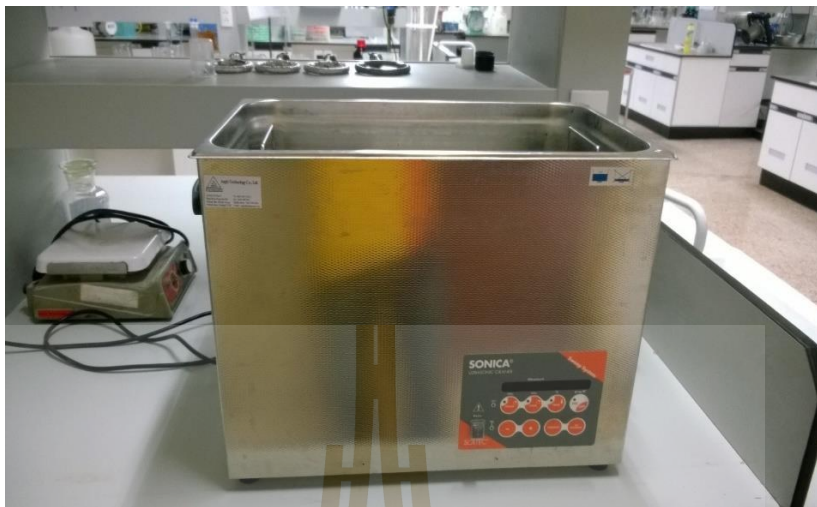
10) ผสมน้ำมันจากขั้นตอนที่ 9 โดยการใช้เครื่องมือเขย่าอัลตราโซนิก ซึ่งต้องทำการกำหนดอุณหภูมิในการผสมน้ำมันกับสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ละลายเป็นเนื้อเดียวกันเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยการใช้เครื่องมือเขย่าอัลตราโซนิกนั้น หลังจากทำการเปิดเครื่องด้วยปุ่ม Power แล้วให้ทำการปรับอุณหภูมิของน้ำในเครื่องมือนี้ที่ปุ่มปรับอุณหภูมิ จากนั้นกดปุ่มปรับเวลาไปที่เวลาสูงสุดที่ 90 นาที แล้วจึงทำการกดปุ่ม On เพื่อให้เครื่องมือเริ่มทำงาน

11) หลังจากครบ 90 นาทีแล้วให้ทำการปรับเวลาเพิ่มอีก 90 นาที อีก 1 ครั้ง และ 60 นาที อีก 1 ครั้งเป็นครั้งสุดท้าย 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

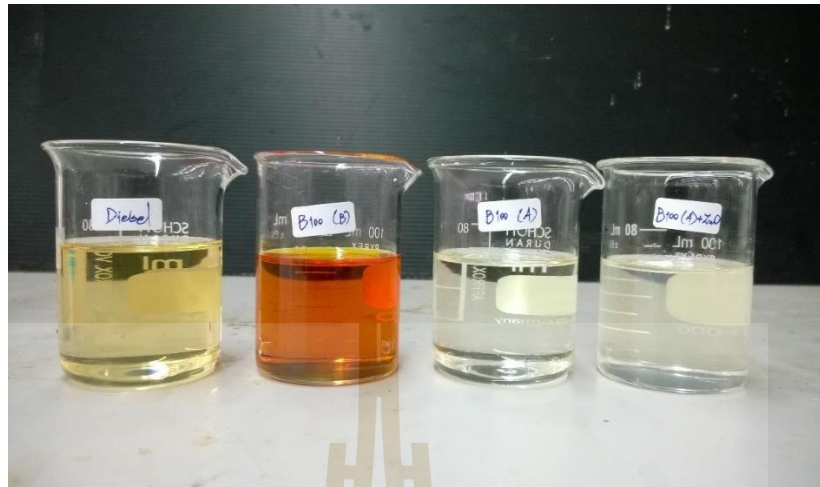


รูปที่ 3.5 เครื่องมือเขย่าอัลตราโซนิก (Ultrasonic Shaker)



รูปที่ 3.6 ลักษณะของน้ำมันดีเซลที่ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดส่วนต่างๆ

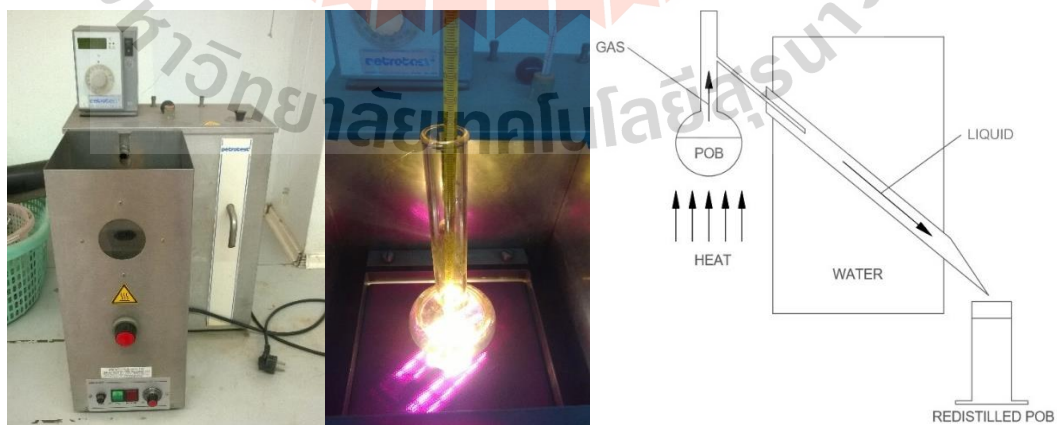
การเปรียบเทียบลักษณะของน้ำมันดีเซลกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ที่ยังไม่ผ่าน และที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) รวมถึงน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวิธีการกลั่น (R-B100)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



รูปที่ 3.7 ลักษณะของน้ำมันทดสอบชนิดต่างๆ

3.3 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น

สำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่นนั้นจะเป็นการนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ที่ผลิตออกมาในขั้นตอนก่อนหน้านี้มาทำการกลั่น ซึ่งจะทำให้ความร้อนแก่น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (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 จากนั้นน้ำมันไบโอดีเซลจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส แก๊สที่ระเหยขึ้นมาจากน้ำมันไบโอดีเซลจะถูกนำกลับมาควบแน่นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 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)” ที่ไม่สามารถระเหยได้หลังจากทำการกลั่นน้ำมันไบโอดีเซลจาก

น้ำมันปาล์มดิบ (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 ในการทดสอบนี้ได้นำน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ซึ่งมีคุณสมบัติตามมาตรฐานน้ำมันดีเซลมีค่าเลขซีเทนอยู่ในช่วง 40-50 และน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดสอบคือ น้ำมันปาล์มประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้รับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลจากกรมธุรกิจพลังงาน และน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มในสัดส่วนต่างๆ ตามเงื่อนไขการเตรียมตัวอย่าง การเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลมี

ข้อกำหนดตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล 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 ระบบการวัดประกอบไปด้วย อุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้ หลอดแก้วรูเล็กสำหรับวิเคราะห์ความหนืด (Capillary Tube Viscosity) ขायึดหลอดแก้วรูเล็ก (Viscometer Holder) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิสำหรับวิเคราะห์ความหนืด (Viscometer Bath) นาฬิกาจับเวลา (Stop Watch) และจุกยาง ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

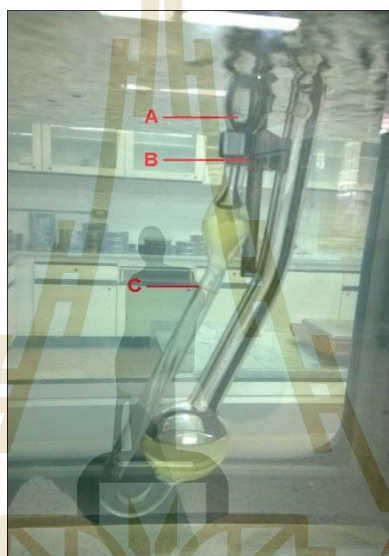
- 1) กรองน้ำมันทดสอบด้วยตะแกรงที่มีช่องเมสไม่เกิน $75 \mu\text{m}$ เพื่อแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำมันทดสอบ ใช้กระบอกตวงขนาด 100 ml ตวงน้ำมันทดสอบที่ต้องการทดสอบ ปริมาตร 20 ml แล้วเติมน้ำมันทดสอบลงในหลอดแก้วรูเล็ก
- 2) จากนั้นนำหลอดแก้วรูเล็กประกอบกับขायึด และแช่ลงในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิสำหรับวัดความหนืดที่ตั้งค่าอุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การประกอบหลอดแก้วรูเล็กกับขायึดและตั้งค่าอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ

3) แชน้ำมันทดสอบทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำมันทดสอบมีอุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส โดยบันทึกอุณหภูมิของน้ำมันทดสอบก่อนแช่ลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ การวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดก่อนบรรจุน้ำมันทดสอบลงในหลอดครูเล็ก ดังรูปที่ 3.11

4) ใช้หลอดตรวจสอบด้วยหลอดคิเปตดูดน้ำมันทดสอบให้สูงถึงระดับ A และเริ่มจับเวลาเมื่อของเหลวไหลลงมาถึงระดับ B และหยุดจับเวลาเมื่อของเหลวไหลลงมาถึงระดับ 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) ครอบกวดขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 4 ครอบกวด และนาฬิกาจับเวลา (Stop Watch) ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.13 การจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบอกตวง

- 1) เปิดเครื่องตั้งค่าอุณหภูมิอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 15.6 องศาเซลเซียส และรอจนกระทั่งได้อุณหภูมิของน้ำในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิทดสอบที่ตั้งไว้
- 2) กรองน้ำมันทดสอบด้วยตะแกรงที่มีช่องเมสขนาดไม่เกิน 75 ไมโครเมตร เพื่อแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำมันทดสอบ
- 3) เติมน้ำมันทดสอบที่ต้องการทดสอบลงในกระบอกตวงขนาด 250 ml พร้อมติดฉลากกำกับที่กระบอกตวง
- 4) นำกระบอกตวงแช่ลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในอุณหภูมิทดสอบที่ 15.6 องศาเซลเซียส
- 5) นำไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงไปใ้ในกระบอกตวงแล้วปล่อยให้ลอย เมื่อไฮโดรมิเตอร์นิ่ง ทำการอ่านค่าและบันทึกผลการทดลอง ดังรูปที่ 3.13
- 6) ทำการทดสอบตามข้อ 2) ถึงข้อ 5) ซ้ำ 3 ครั้ง

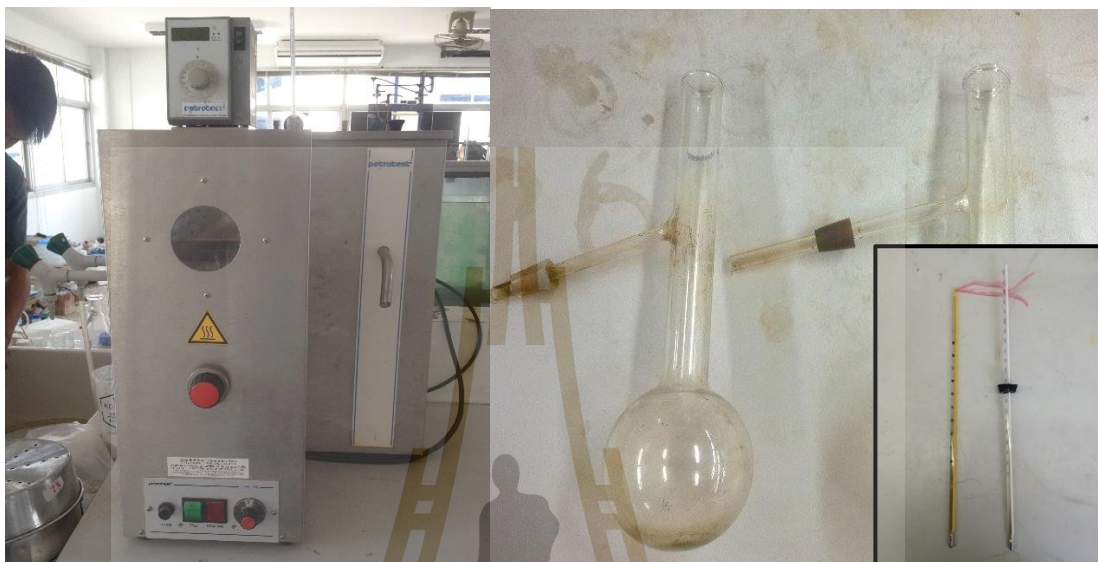
3.4.3 การทดสอบการกลั่น

การทดสอบการกลั่นของน้ำมันทดสอบใช้เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure DU 4-Economy (manual) Ref. - No: 11 - 0904 (230V) 11 - 0905 (115V) ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D86 ระบบการวัดอุณหภูมิช่วงการกลั่นของสารจำพวกไฮโดรคาร์บอนนั้นประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆและวิธีการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.3.1 อุปกรณ์ทดสอบ

- 1) ชุดทดสอบวัดค่าอุณหภูมิของการกลั่น (Distillation) ดังรูปที่ 3.14

- เครื่องให้ความร้อนแบบ Front-View
- เครื่องหล่อเย็น (Cooling Bath R-Type)



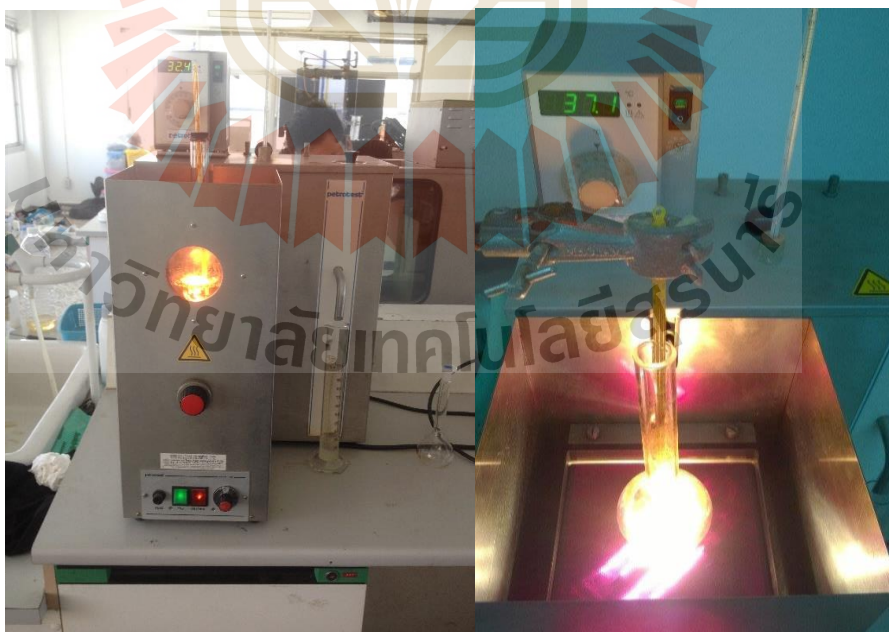
รูปที่ 3.14 ชุดทดสอบค่าอุณหภูมิของการกลั่น

- 2) ขวดการกลั่น (Distillation Flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 3.14
- 3) อลูมิเนียมฟรอยด์
- 4) กระจกทวง (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) ตวงน้ำมันทดสอบด้วยกระจกทวงขนาด 1000 มิลลิลิตร และเทลงในขวดการกลั่น

- 3) ประกอบอุปกรณ์ต่างๆและปิดฝาขวดการกลั่น ต่อมาทำการประกอบอุปกรณ์หลัก โดยให้ตำแหน่งของเทอร์โมมิเตอร์นั้นติดตั้งที่ขวดการกลั่น และติดตั้งที่เครื่องหล่อเย็น
- 4) ตั้งอุณหภูมิที่เครื่องหล่อเย็น
- 5) เริ่มให้ความร้อนด้วยเครื่องอบความร้อนแบบ Front-View โดยในช่วงเริ่มต้นให้ปรับความร้อนอยู่ที่ระดับ 5 ถึงระดับ 6
- 6) เมื่อน้ำมันทดลองในขวดกลั่นเริ่มเดือด ผู้ทำการทดสอบต้องคอยสังเกตเพื่อบันทึกอุณหภูมิที่น้ำมันทดลองเกิดการกลั่นตัวออกมาเป็นหยดแรก โดยบันทึกอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่ติดอยู่กับขวดการกลั่นในช่วง 4-5 มิลลิลิตร
- 7) เริ่มจับเวลาและควบคุมการให้ความร้อนกับขวดกลั่น เพื่อกำหนดอัตราการกลั่นอยู่ในช่วง 4-5 มิลลิลิตร ต่อนาที
- 8) บันทึกอุณหภูมิให้สัมพันธ์กับปริมาณที่กลั่นได้ ส่วนใหญ่จะบันทึกอุณหภูมิที่กลั่นได้ทุก 10 มิลลิลิตร โดยกลั่นถึงร้อยละ 50 ของปริมาณ แล้วทำการเปรียบเทียบค่าการกลั่นที่ได้ของน้ำมันทดลองกับค่าการกลั่นของน้ำมันดีเซล
- 9) ควรทำความสะอาดอุปกรณ์ทุกครั้งที่ทำกรทดลองเสร็จ เพื่อความสะอาดในการทำการทดลองครั้งถัดไป



รูปที่ 3.14 การให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนแบบ Front-View

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
- หัวเกล็ดทองความดันสำหรับแก๊สออกซิเจน 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) ค่ายสำหรับการจุดระเบิด (ใช้ 1 เส้น ต่อการทดสอบ 1 รอบ)
- 3) คีมจับยึด จำนวน 2 อัน
- 4) เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับทดสอบ
- 5) หลอดหยดสาร
- 6) ถังแก๊สออกซิเจน
- 7) เครื่องชั่งสารคิจิตอลมีความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 8) ถ้วยบรรจุสารสำหรับทดสอบ (ถ้วยจุดระเบิด)

3.4.4.2 วิธีการใช้เครื่องมือทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิง

คอมพิวเตอร์

เย็น (Cooling Unit)

จึงสามารถทำการทดสอบได้

- 1) เสียบสายปลั๊กไฟเครื่องทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิง และเปิด
- 2) เปิดวาล์วออกซิเจน เครื่องมือนี้จะมีระบบเติมออกซิเจนอัตโนมัติ
- 3) เปิดตัวเครื่องมือทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิง และเปิดปุ่มทำความเย็น
- 4) รอให้หน้าจอบนเครื่องมือทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิงขึ้นว่า Stable
- 5) เปิดโปรแกรม CALWIN ในคอมพิวเตอร์
- 6) ทำการเลือก Setup > Setting > เลือกระบบการวัดผลที่ต้องการ > OK
เลือกการวัดผลแบบ Isoperobol จะใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 22 นาที ซึ่งจะให้ค่าการวัดที่แม่นยำกว่าแบบ Adiabatic และ Dynamic
- 7) ทำการเลือก Setup > Setting > Calculation เพื่อใช้เลือกมาตรฐานการทดสอบ ต่อมาเลือกหน่วยที่จะแสดงค่าที่วัดได้ > OK ในการทดสอบ การทดสอบนี้ได้ใช้มาตรฐาน ASTM D240 และเลือกให้วิเคราะห์ค่าความร้อนเชื้อเพลิงออกมาให้หน่วย MJ/kg
- 8) ทำการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิง ด้วยการตวงน้ำมันโดยใช้หลอดหยดสาร บีบน้ำมันลงในภาชนะสำหรับใส่สาร ชั่งบนเครื่องชั่งคิจิตอลให้ได้น้ำหนัก 0.25 กรัม
- 9) กดปุ่ม Printer ที่เครื่องชั่ง โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างสำหรับการนำน้ำหนักของตัวอย่างน้ำมันมาแสดงบนคอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน จากนั้น คลิก OK บนคอมพิวเตอร์
- 10) ใช้คีมดึงเส้นด้วยออกมา 1 เส้น แล้วมัดเส้นค้ายให้ติดกับลวด

11) นำถ้วยที่ใส่น้ำมันซึ่งเป็นตัวอย่างทดสอบวางลงบนแกนอลูมิเนียมของชุดทดสอบ จากนั้น นำปลายของเส้นด้ายที่พันไว้จุ่มลงไปบนน้ำมันในถ้วยจนกระทั่งเส้นด้ายเป็นเชื้อเพลิงเบื้องต้นสำหรับการเผาไหม้

12) ประกอบลูก Bomb โดยการนำสิ่งที่เตรียมไว้บรรจุลงไปในการบอกลูมิเนียม 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 ที่หน้าจอแสดงผลของเครื่องมือทดสอบความร้อนเชื้อเพลิงหนึ่งครั้งเพื่อทำการยืนยัน จากนั้น ลูก Bomb บรรจุตัวอย่างน้ำมันจะเลื่อนลงไป ใน Vessel ในตัวเครื่องทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

15) จากนั้น กลับมาสั่งบนโปรแกรม CALWIN โดยทำการเลือก Status bar C5000 แล้วคลิกที่ Start เครื่องจะเริ่มทำงานทันที

16) การวัดค่าความร้อนเชื้อเพลิงจะใช้เวลานานประมาณ 15-22 นาที เครื่องมือจะสามารถอ่านค่าความร้อนเชื้อเพลิงออกมาได้

17) เมื่อเครื่องมืออ่านค่าความร้อนเชื้อเพลิงเสร็จแล้ว ลูก Bomb จะเคลื่อนที่ออกมาจาก Vessel จากนั้น ทำการถอดลูก Bomb ออกมาเช็ดทำความสะอาดให้แห้ง

18) ถ้าต้องการทำการทดสอบน้ำมันตัวอย่างอื่นต่อไป สามารถกลับไปทำซ้ำได้ตามขั้นตอนก่อนหน้านี้

19) ก่อนปิดเครื่องมือทุกครั้ง ควรปิดโปรแกรม CALWIN ก่อน

20) ทำการปิดเครื่องมือ Bomb Calorimeter โดยกด Exit ที่หน้าจอแสดงผลก่อน แล้วจึงทำการปิดเครื่องมือที่ปุ่มด้านหน้า

21) ปิดเครื่อง Cooling Unit ที่ปุ่มด้านหน้าตัวเครื่อง

22) ขั้นตอนสุดท้าย ทำการปิดวาล์วถึงออกซิเจน

3.4.5 การหาค่าดัชนีซีเทน (Cetane Index)

เนื่องจากว่า การวัดค่าซีเทนนัมเบอร์โดยตรงนั้น ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีค่าใช้จ่ายสูงมาก จึงต้องทำการหาค่าดัชนีซีเทนแทน เพื่อเป็นการประมาณค่าซีเทนนัมเบอร์โดยคร่าวๆ ซึ่งการหาค่าดัชนีซีเทนนั้น จะมีคำนวณจากค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) แต่จะเป็นมาตรฐานของการหาค่าดัชนีซีเทน ซึ่งก็คือ ASTM D976

โดยที่การหาค่าดัชนีซีเทนคำนวณได้จากความถ่วงจำเพาะ API และจุดเดือดค่ากลาง (Mid-Boiling Point) หรืออุณหภูมิของการกลั่นของน้ำมันตัวอย่างที่ร้อยละ 50 ของปริมาณน้ำมันตัวอย่าง ในขั้นตอนก่อนหน้านี้จะเป็นการวัดค่าความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน 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)

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

รวมไปถึงการแปลงหน่วยอุณหภูมิจากอุณหภูมิองศาเซลเซียสไปเป็นหน่วยอุณหภูมิองศาฟาเรนไฮต์ สามารถหาได้จาก

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

3.4.6 การทดสอบค่าความบริสุทธิ์หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์

การทดสอบค่าความบริสุทธิ์หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์จะใช้เครื่องมือเรียกว่า “โครมาโทกราฟี (Chromatography)” ภายใต้มาตรฐาน EN 14103 โดยที่อาคารเครื่องมือ 10 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เครื่องมือที่ใช้วัดจะเป็นแบบแก๊ส (Gas Chromatography, GC) ซึ่งจะเป็นเครื่องมือ Gas Chromatography (GC) รุ่น Agilent 7890A ใช้สำหรับแยกสารผสมที่เป็นแก๊ส โดยมีเฟสเคลื่อนที่เป็นแก๊สเช่นกันแต่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารผสม โดยมีสารละลายเมทิล-เฮปทาดีเคนอเอต (Methyl-heptadecanoate) ทำหน้าที่เป็นตัวสารผสม ส่วนเฟสอยู่กับที่อาจจะเป็นของแข็งหรือของเหลวที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ เมื่อทั้งตัวพาและสารผสมเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์นี้ เฟสอยู่กับที่ในคอลัมน์จะดึงดูดด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ตามความเป็นขั้วของสารกับ โมเลกุลในสารผสมทำให้องค์ประกอบในสารผสมถูกพาไปด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน 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/cm^2 ซึ่งค่าความดันขาออกนี้ต้องตั้งให้สูงพอที่จะทำให้การปรับอัตราการไหลของ Carrier Gas (ปรับจากคอมพิวเตอร์) ทำได้ง่าย และต้องเพื่อความดันสำหรับการทำงานในกรณีที่คลอสม์ทำงานที่อุณหภูมิสูงด้วย
- 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 ในกรณีที่มีการบันทึกภาวะการทำงาน ของเครื่องเอาไว้ Method File แล้ว
 - เปิด Method File ที่ต้องการใช้งาน โดยเลือก File > Open method file ขั้นตอนนี้เป็น การเลือก condition ที่ต้องการทำ
 - ในกรณีที่ต้องการตั้งภาวะการทำงานของเครื่องใหม่ คืออุณหภูมิของ Injector port (INJ), Oven (หรือ Column) และ Detector port (FPD) ถ้าหากของเดิมที่มีอยู่ไม่เป็นไปตามต้องการหรือไม่มี ก็ให้ตั้ง condition ใหม่ ดังนี้ 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 DeNO_x 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 แต่วัดอุณหภูมิของอากาศใน Oven ในการวิเคราะห์ที่มีการเปลี่ยนอุณหภูมิ (temperature programmed) นั้น อุณหภูมิของ Column จะตามหลังอุณหภูมิของ Oven อยู่ เช่นสมมุติว่าเราวิเคราะห์แบบเพิ่มอุณหภูมิระบบขึ้นเรื่อยๆ เช่นเพิ่มจาก 120 °C เป็น 180 °C พอเสร็จการวิเคราะห์ต้องรอให้อุณหภูมิระบบเย็นตัวลงกลับมาที่ค่าเริ่มต้นใหม่ (120 °C) เมื่ออุณหภูมิอากาศใน Oven เย็นลงมาอยู่ที่ 120 °C อุณหภูมิของ Column จะยังสูงกว่า 120 °C อยู่เล็กน้อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรอให้อุณหภูมิของ Column ใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิของ Oven ช่วงเวลาที่ต้องรอก่อนนี้คือ Equilibrium Time นั่นเอง
- ถ้าไม่รอให้อุณหภูมิเริ่มต้นของ Column เท่ากันทุกครั้ง จะพบว่าเวลาที่พีค (Peak) ออกมาจากคอลัมน์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละครั้งจะมีการเปลี่ยนแปลงไป
- การตั้ง Detector temperature (หรือ FPD Temperature) ทำการเลือก Tab FPD > Temp. > ต้องไม่ต่ำกว่า 100 °C และไม่ควรถ่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยปรกติมักจะตั้งไว้ที่อุณหภูมิคอลัมน์ + 20 °C ดังนั้นถ้าว่ากันตามนี้เมื่อตั้ง 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 (การตั้งชื่อไฟล์ ควรตั้งให้เป็นระบบ เช่นระบบ ปี – เดือน - วัน ของวันที่สร้างไฟล์ และ รายละเอียดอื่นๆ)
- ตั้งค่า Parameter ไปยังเครื่อง Gas Chromatography (GC) โดยเลือก Acquisition > Download Instrument Parameter
- ตั้ง System On โดยเลือก Instrument > System On
- เปิดหน้าจอ GC System On โดย > รอจนอุณหภูมิของ FPD ได้ระดับตาม ต้องการ (ต้องไม่ต่ำกว่า 100°C) > เปิดวาล์วที่หัวท่อไฮโดรเจน > เปิด pressure regulator ที่หัวท่อแก๊ส โดยตั้งความดันขาออกไว้ที่ 5 kg/cm² > ปรับความดันไฮโดรเจนเข้าเครื่อง โดยการหมุนปุ่มปรับ (อยู่บนผนัง ด้านบนด้านหลังของตัวเครื่อง)
- โดยตั้งความดันขาออกไว้ที่ 130 kPa > เปิดวาล์วที่หัวท่ออากาศ > เปิด Pressure Regulator ที่หัวท่อแก๊ส โดยตั้งความดันขาออกไว้ที่ 5 kg/cm² > ปรับความดันอากาศเข้าเครื่อง โดยการหมุนปุ่มปรับ (อยู่บนผนังด้านบน ด้านหลังของตัวเครื่อง) โดยตั้งความดันขาออกไว้ที่ 50 kPa
- ความดันด้านขาออกจาก pressure regulator ที่หัวถังควรสูงกว่าความดันที่ จะตั้งที่ตัวเครื่องอย่างน้อยประมาณ 0.5 bar ขึ้นไป

5) การจุด Flame FPD

- โดยหลักแล้ว FPD จะใช้แก๊สไฮโดรเจนมากเกินไป (เผาไหม้ไม่หมด) ประสิทธิภาพเพื่อให้การจุดไฟทำได้ง่าย เรามักจะใช้ไฮโดรเจนในปริมาณ มากและอากาศในปริมาณน้อย เมื่อจุดไฟติดแล้วจึงค่อยลดปริมาณ ไฮโดรเจนและ/หรือเพิ่มปริมาณอากาศ เพื่อให้เปลวไฟมีสัดส่วนของแก๊ส ผลสมดังต้องการ ดังนั้นในขั้นตอนนี้ควรมีการแทรกเพิ่มเติม (ต้องได้จากการทดลองทำ) ว่าเริ่มต้นนั้นควรเปิดแก๊สไฮโดรเจนและอากาศที่ความดัน เท่าใดก่อน และเมื่อจุดเปลวไฟติดแล้วจึงค่อยปรับความดันแก๊สให้ เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ ฟังระลึกว่าความว่องไวของ FPD ขึ้นอยู่กับ สัดส่วนไฮโดรเจนต่ออากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ด้วย เครื่องรุ่นที่ใช้จะ ปรับส่วนผสมระหว่างไฮโดรเจนกับอากาศโดยใช้การควบคุมความดันที่ สั่งจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ ส่วนอัตราการไหลที่แท้จริงนั้นให้อ่านจาก กราฟที่ติดอยู่บนหน้าตัวเครื่อง

- ฟังก์ชันที่เครื่องสามารถปรับความดันแก๊สที่ไหลเข้า detector ได้ในช่วงความดันที่ไม่สูงเกินกว่าความดันแก๊สที่ไหลเข้าเครื่อง เช่นถ้าเราปรับวาล์วความดัน สำหรับอากาศไว้ที่ 50 kPa ถ้าเราปรับค่าความดันอากาศผ่านคอมพิวเตอร์ที่ค่าใด ๆ ที่ต่ำกว่า 50 kPa เครื่องก็จะปรับความดันแก๊สให้เท่ากับค่าความดันที่เราปรับเข้าไป แต่ถ้าเราปรับค่าความดันที่สูงกว่าความดันขาออกจากวาล์วปรับความดัน เช่น ตั้งวาล์วไว้ที่ 50 kPa แต่ปรับค่า 60 kPa ผ่านคอมพิวเตอร์ ความดันแก๊สที่เข้า detector ก็จะมีเพียง 50 kPa เท่านั้น ในระหว่างการจุด flame นั้นอาจต้องทำการปรับค่าความดันผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์นี้จน flame ติดก่อน จากนั้นจึงค่อย ๆ ปรับค่าความดันแก๊สให้ไปอยู่ ณ ตำแหน่งที่ต้องการ
- รอจน detector temperature มีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 100°C
- ตั้ง Detector On โดย กดปุ่ม "On" ของ Detector
- ตั้งจุด Flame โดย กดปุ่ม "On" ของ Flame ถ้า flame ไม่ติดก็ให้จุดซ้ำใหม่
- ถ้า Flame ติดแล้วให้ค่อย ๆ ปรับค่าความดันของไฮโดรเจนและอากาศให้ไปอยู่ยังค่าที่ต้องการ (ไฮโดรเจน 125 kPa อากาศ 35 kPa) ระหว่างนี้ต้องคอยสังเกตสัญญาณ FPD ด้วยว่าขาดหายไปหรือไม่ ซึ่งแสดงว่า flameดับและต้องจุดใหม่
- เมื่อ flame ติดแล้ว ให้รอจน baseline นิ่ง แล้วตั้ง Zero Adjust โดยคลิกปุ่ม Zero Adjust ซึ่งอยู่ด้านขวาของ signal display ตรงนี้ไม่แนะนำให้ทำการปรับ Zero Adjust ให้รอจน Base Line นิ่ง และบันทึกข้อมูลสัญญาณด้วยว่า base line ไปนิ่งที่ระดับใด เพราะข้อมูลนี้สามารถใช้ตรวจสอบได้ว่า Detector มีปัญหาหรือไม่
- สร้าง file เพื่อเก็บข้อมูล > สร้างหรือเลือก Folder เพื่อเก็บ data file โดยคลิก File > Select project (Folder) > เลือก Folder ที่ต้องการ (หรือคลิก New Folder เพื่อสร้าง Folder ใหม่) > คลิก close
- ในการฉีดสารตัวอย่างนั้น เครื่องนี้ติดตั้งระบบ Sampling Loop สำหรับฉีดสารตัวอย่างที่เป็นแก๊ส (ขนาดปริมาตรของ Loop คือ 0.1 ml ขอให้มีการตรวจสอบ) โดยออกแบบมาเพื่อต่อ On-Line กับระบบเครื่องปฏิกรณ์ด้านขาเข้าของคอลัมน์นั้นต่อเข้ากับวาล์วฉีดสารตัวอย่าง ไม่ได้ติดตั้งคอลัมน์ไว้สำหรับฉีดสารตัวอย่างที่เป็นของเหลว ดังนั้นถ้าเปิด Oven คุณจะ

เห็นว่าจาก Injector Port สำหรับฉีดสาร โดยใช้ Syringe ที่อยู่ทางด้านบนของตัวเครื่อง Gas Chromatography (GC) นั้น ข้างล่างจะไม่มีคอลัมน์ต่ออยู่

- 6) ขั้นตอนการปิดเครื่อง ซึ่งการสั่งการผ่านระบบคอมพิวเตอร์
- ตั้ง Detector OFF โดยคลิกปุ่ม OFF ของ Detector บน Instrument Monitor
 - เปิด Method Cool Down แล้วตั้ง Download > Method Cool Down นี้เป็นโปรแกรมที่ทางผู้ Set Up ระบบเขียนไว้ให้ สามารถปรับแต่งได้
 - รอจนอุณหภูมิของ FPD และ INJ ต่ำกว่า 80 °C และอุณหภูมิของ Column ต่ำกว่า 40 °C
 - ตั้ง 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

ในส่วนของการวัดการปล่อยมลพิษหลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์รอบต่ำนั้น ประกอบไปด้วย ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide, NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide, CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂) และไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon, HC) ในการวัดการปล่อยมลพิษที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์หลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์นั้น จะทำการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ จำนวน 1 สูบที่ ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ที่ภาระกระทำที่ 6 นิวตันเมตร รวมไปถึงทำการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำโดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูญเสียไปในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน เพื่อนำมาใช้คำนวณออกมาเป็นอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก โดยน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการวัดการปล่อยมลพิษมี 6 ประเภท ประกอบด้วย น้ำมันดีเซล, น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) และ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการดำเนินการในการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงวิธีการในการทดสอบดังที่กล่าวเป็นลำดับต่อไป

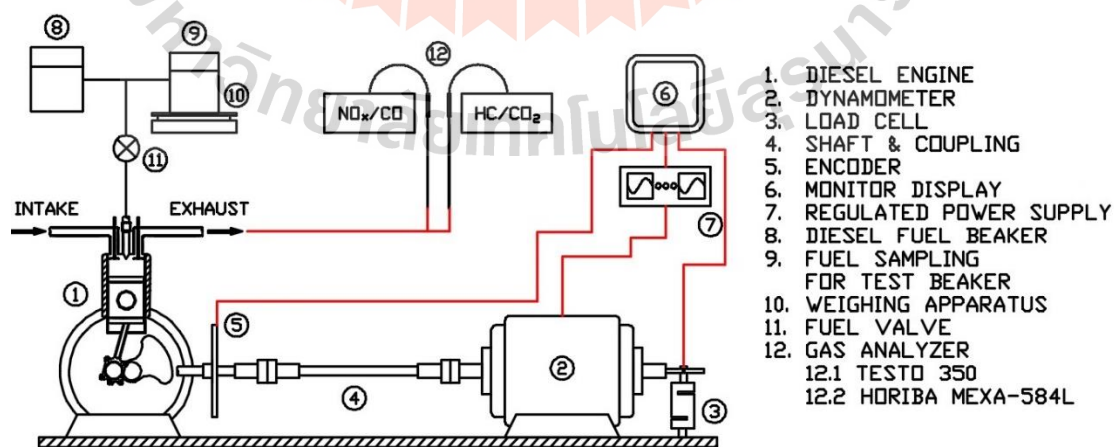
3.5.1 เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำสำหรับการทดสอบ

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 (W×L×H)	37×42×40 cm.

3.5.2 การทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค การทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษหลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำประกอบด้วย ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide, NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide, CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO_2) และไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon, HC) ในการวัดการปล่อยมลพิษที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์หลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์นั้น จะทำการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ที่ภาระกระทำที่ 6 นิวตันเมตร ดังที่กล่าวไปข้างต้นแล้ว โดยที่การวัดค่าการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ และ คาร์บอนมอนอกไซด์ ใช้เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Testo รุ่น 350 ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ และ ไฮโดรคาร์บอน ใช้เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Horiba รุ่น Mexa-584L และความสามารถในการวัดการปล่อยมลพิษนั้น ได้แก่ ความสามารถในการวัดการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ สามารถวัดได้ในช่วง 0–500 ppm, ความสามารถในการวัดการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถวัดได้ในช่วง 0–10,000 ppm, ความสามารถในการวัดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สามารถวัดได้ในช่วง 0–50% Vol. และความสามารถในการวัดการปล่อยไฮโดรคาร์บอนสามารถวัดได้ในช่วง 0–500 ppm ขณะที่การวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำนั้นจะทำการวัด โดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูญเสียไปในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน โดยมีหลักการคือ ในช่วงเวลาหนึ่งขณะที่เครื่องยนต์ทำงานอยู่ในบีกเกอร์ที่เก็บน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์จะมีน้ำหนักอยู่ค่าหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไป 60 วินาที น้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงในบีกเกอร์ก็จะลดลงนั่นเอง โดยในการทดลองนี้จะมีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ดังแผนภาพในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบเครื่องยนต์

จากรูปที่ 3.17 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบเครื่องยนต์ เพื่อการวัดการปล่อยมลพิษ และการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก โดยอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบไปด้วย

- 1) เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำสำหรับการทดสอบ (Diesel Engine)
- 2) ไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Eddy Current Dynamometer) สำหรับใช้ให้ภาระกระทำต่อเครื่องยนต์ดีเซล
- 3) โหลดเซลล์ (Load Cell) สำหรับวัดค่าแรงบิด (Torque)
- 4) เพลา และอุปกรณ์จับเชื่อมให้เพลาของเครื่องยนต์ดีเซลและเพลาจากไดนาโมมิเตอร์ให้หมุนร่วมกันได้ (Shaft and Coupling)
- 5) อุปกรณ์วัดความเร็วรอบของการหมุนของเพลาเครื่องยนต์ (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 สำหรับหาอัตราการไหลเชิงมวลในการนำไปใช้คำนวณหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกออกมา (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) เช็ควิธีการเตรียมของอุปกรณ์ต่างๆ และจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ให้มีความพร้อมก่อนทำการทดสอบ
- 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 Valve) น้ำมันจากบีกเกอร์ที่ใส่น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับทดสอบให้น้ำมันไหลจากบีกเกอร์เข้าไปไปที่เครื่องยนต์บริเวณปั๊มคูดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

5) เมื่อเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเรียบร้อยแล้ว ทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ให้เครื่องยนต์ทำงาน

6) ปรับลิ้นเร่งของเครื่องยนต์ เพื่อเพิ่มรอบการหมุนของเพลลาของเครื่องยนต์ให้ได้จำนวนรอบที่ต้องการสำหรับการทดสอบ ค่าความเร็วรอบของเพลลาของเครื่องยนต์จะไปแสดงผลที่หน้าจอแสดงผล (Monitor Display)

7) เมื่อได้จำนวนรอบที่ต้องการแล้ว จากนั้น สร้างภาระกระทำกับเครื่องยนต์ โดยทำปรับปุ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าที่อุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้า (Regulated Power Supply) กระแสไฟฟ้าจะถูกจ่ายไปที่ ไดนาโมมิเตอร์ (Eddy Current Dynamometer) แล้วสังเกตที่หน้าจอแสดงผล (Monitor Display) ว่าค่าแรงบิด (Torque) ที่แสดงออกมาจากโหลดเซลล์ (Load Cell) นั้น เป็นไปดังที่ต้องการหรือไม่ เมื่อได้ภาระกระทำในลักษณะของค่าแรงบิด (Torque) ที่ต้องการแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษ

8) ก่อนหน้านั้น ระหว่างทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างสำหรับการทดสอบ จะต้องทำการติดตั้งโพรบเซ็นเซอร์ (Sensor) ที่ใช้วัดการปล่อยมลพิษ รวมถึงสายปลั๊กไฟเข้ากับตัวเครื่องมือวัดมลพิษทั้ง 2 เครื่อง ได้แก่ เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Testo รุ่น 350 และเครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Horiba รุ่น Mexa - 584L และเปิดเครื่องมือวัดมลพิษไว้เพื่อรอทำการวัดการปล่อยมลพิษหลังจากที่ทำการปรับความเร็วรอบของเพลลาของเครื่องยนต์ และภาระกระทำกับเครื่องยนต์ในรูปของแรงบิดได้แล้ว

9) เมื่อปรับความเร็วรอบของเพลลาของเครื่องยนต์ และภาระกระทำกับเครื่องยนต์ในรูปของแรงบิดได้ตามที่ต้องการแล้ว ทำการวัดมลพิษโดยการใส่โพรบเซ็นเซอร์ (Sensor) สำหรับใช้วัดการปล่อยมลพิษเข้าไปที่ท่อไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล จากนั้น จับเวลา 30 วินาทีในการวัดค่าการปล่อยมลพิษ เมื่อเวลาครบ 30 วินาทีแล้วให้ทำการบันทึกผลการปล่อยมลพิษ

10) เนื่องจากเครื่องมือวัดการปล่อยมลพิษมี 2 เครื่อง จึงต้องทำการวัดการปล่อยมลพิษทีละเครื่อง โดยทำตามวิธีในข้อก่อนหน้านี้ ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกัน

11) ทำการวัดการปล่อยมลพิษ 3 ครั้งเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษ

12) เมื่อทำการวัดมลพิษเสร็จแล้ว ให้ทำการปรับลดภาระที่กระทำกับเครื่องยนต์ลง แล้วดับเครื่องยนต์ จากนั้น ถ่ายน้ำมันดีเซลเข้าไปให้เครื่องยนต์แล้วสตาร์ทเครื่องยนต์ให้ทำงานเพื่อให้ น้ำมันดีเซลได้เข้าไปล้างน้ำมันเชื้อเพลิงตัวอย่างที่ใช้ทดสอบก่อนหน้าให้หมดไป ก่อนจะทำการดับเครื่องยนต์เพื่อพักเครื่องยนต์สำหรับทำการวัดการปล่อยมลพิษในรอบถัดไป

13) ในรอบถัดมา เปลี่ยนตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบและถ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงตัวอย่างใหม่เข้าไปที่เครื่องยนต์ให้เรียบร้อย จากนั้น ดำเนินการทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษตั้งขั้นตอนที่กล่าวมาก่อนหน้านี้เช่นเดิม

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

จากรูปที่ 3.17 ขั้นตอนในการวัดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงประกอบด้วย

1) วางเครื่องชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ทดสอบ (Weight Apparatus) ลงที่แท่นสำหรับวางเครื่องชั่งน้ำหนัก แล้วนำบีกเกอร์ที่ใส่น้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นตัวอย่างในการทดสอบวางลงบนเครื่องชั่งน้ำหนัก

2) ตัดตั้งท่อทางเดินน้ำมันที่บีกเกอร์ที่ใส่น้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นตัวอย่างในการทดสอบ แล้ววาล์ว น้ำมัน (Fuel Valve) จากบีกเกอร์ที่ใส่น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับทดสอบให้น้ำมันไหลจากบีกเกอร์เข้าไปไปที่เครื่องยนต์บริเวณปั๊มคูดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

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

4) ทำการทดลอง 3 ครั้งเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบการวัดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิง

5) ดำเนินขั้นตอนการวัดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงแทรกเข้าไป ในขณะที่ทำการทดสอบการวัดการปล่อยมลพิษ เพื่อให้ได้ผลของการทดสอบครบตามประเภทของ ตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ทดสอบ

6) เมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้ว ทำการจัดเก็บอุปกรณ์เช่นเดียวกับดังที่กล่าวไปแล้วในขั้นตอนการวัดการปล่อยมลพิษ



รูปที่ 3.18 เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ ยี่ห้อ KAWAMA รุ่น KWM500D



รูปที่ 3.19 การติดตั้งเพลารองเครื่องยนต์ดีเซลและไดนาโมมิเตอร์



รูปที่ 3.20 โหลดเซลล์ (Load Cell) สำหรับวัดค่าแรงบิด



รูปที่ 3.21 การติดตั้งเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำกับไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.22 เครื่องมือวัดมลพิษใต้อิเลียม

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในส่วนของหัวข้อนี้เป็นการอภิปรายผลจากการศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน, การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ด้วยวิธีการกลั่น, การเติมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano Zinc Oxide, ZnO) ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งก่อน และหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น และทำการนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งก่อน และหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น ทั้งในกรณีก่อน และหลังผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ รวมถึงผลจากการวัดค่าคุณสมบัติต่างๆ ประกอบด้วย ความถ่วงจำเพาะ, ความหนืด, ความหนาแน่น, การกลั่น, ดัชนีซีเทน และค่าความร้อนเชื้อเพลิง รวมทั้งความบริสุทธิ์ เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในกรณีต่างๆ ที่กล่าวมาในข้างต้น (น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งก่อน และหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น รวมถึงทั้งในกรณีก่อน และหลังผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์) ตลอดจนผลจากการศึกษาผลกระทบจากน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่มีต่อการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ และสุดท้ายเป็นการอภิปรายผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ซึ่งจากผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลองทั้งหมดจะกล่าวถึงในลำดับต่อไป

4.2 กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันนั้น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คือ ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นสารตั้งต้นน้ำหนัก 400 กรัม มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยกำหนดเงื่อนไขคือ กำหนดให้ใช้เมทานอลหนักร้อยละ 45 ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเมทานอลจะมีน้ำหนัก 180 กรัม โดยอัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันปาล์มดิบต่อเมทานอล คือ 1 : 12 หรือถ้าใช้น้ำมันปาล์มดิบ 1 โมล จะต้องใช้เมทานอล 12 โมล ในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สมบูรณ์ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) หนักร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ (8 กรัม) มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และในขั้นตอนการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรอลนั้น เมื่อเกิดการแยกชั้นน้ำมันไบโอดีเซลที่มีความหนาแน่นน้อยกว่ากลีเซอรอลจะลอยอยู่ด้านบนเหนือกลีเซอรอลสามารถมองเห็นการแยกชั้นได้อย่างชัดเจนด้วยตาเปล่า แล้วนำผลผลิตเฉพาะน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมาคำนวณหาเป็นร้อยละของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันภายใต้เงื่อนไขต่างๆ เช่น อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น หรือในที่นี้ตัวแปรต้น คือ ปริมาณน้ำมันปาล์มดิบซึ่งเป็นสารตั้งต้น, ตัวแปรควบคุม คือ เงื่อนไขในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ เช่น ปริมาณเมทานอล, ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์, อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น สุดท้ายตัวแปรตาม คือ ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตได้ ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองจะแสดงดังตารางบันทึกผลการทดลองที่ 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 ค่าความแปรปรวนจากการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยากระบวนการ ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันทั้ง 3 ครั้ง หรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ ± 0.96 กรัม หรือ ± 1.08 มิลลิลิตร

จากตารางที่ 4.1 การคำนวณหาค่าร้อยละของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ จากสมการที่ 4.1 คือ

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

ในการทดลองทั้ง 3 ครั้ง จะได้ผลการทดลองออกมาเป็นปริมาณของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในหน่วยของน้ำหนัก จะมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 360 กรัม แต่ถ้าคิดปริมาณของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในหน่วยของปริมาตร ก็จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 424 มิลลิลิตร ซึ่งปริมาณของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในหน่วยของปริมาตร หาได้จากสมการที่ 4.2

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

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

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

ผลที่วัดได้จากการทดลอง 3 ครั้ง ผลสุดท้ายที่ได้จะแสดงออกมาเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่มีค่าเท่ากับ 90.42% และพบว่า การกรองน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยผ้าขาวบางจะทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณของน้ำมันไปบางส่วน เนื่องจากผ้าขาวบางที่ใช้กรองจะดูดซับน้ำมันที่ผ่านการกรองไว้บางส่วน ยิ่งถ้ากรองด้วยผ้าขาวบางหลายครั้งจะส่งผลให้ปริมาณที่สูญเสียไปมีค่าเพิ่มมากขึ้น จึงควรหาอุปกรณ์การกรองที่ไม่ดูดซับน้ำมันไว้ในปริมาณมาก เช่น ตะแกรงลวดสำหรับกรอง ขนาด 1 ไมครอน เป็นต้น

หลังจากได้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยากระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันแล้ว รวมถึงการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น (Redistillation Process) ที่จะกล่าวถึงในหัวข้อ 4.2 เป็น

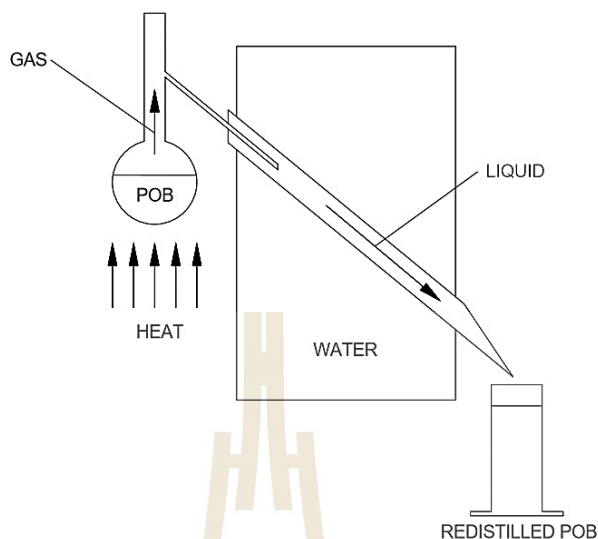
ลำดับถัดไปนั้น น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ได้มาจะถูกแบ่งออกเป็นบางส่วนสำหรับนำสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมเข้าไปกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยการผสมน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบให้เข้ากับสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์นั้น จะใช้เครื่องมือเขย่าอัลตราโซนิก (Ultrasonic Shaker) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ละลายเป็นเนื้อเดียวกันเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ จะถูกนำมาใช้ที่ปริมาณน้ำหนัก 0.05 กรัม ต่อน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบปริมาณ 1 ลิตร โดยที่สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ถูกนำมาใช้คิดเป็นร้อยละ 0.005 โดยมวลของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบปริมาณ 1 ลิตรมีมวล หรือมีน้ำหนักเท่ากับ 874.19 กรัม

ตารางที่ 4.2 สัดส่วนในการผสมน้ำมันประเภทต่างๆ

ประเภทน้ำมันเชื้อเพลิง	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)	1,000.00
R-B100	0.00	1,000.00	-	1,000.00
R-B100+ZnO	0.00	1,000.00	0.05 g. (50 ppm)	1,000.00

4.3 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น

สำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่นนั้นจะเป็นการนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ที่ผลิตออกมาในขั้นตอนก่อนหน้านี้มาทำการกลั่น ซึ่งจะทำการให้ความร้อนแก่น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) จนกระทั่งเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส โดยที่แก๊สที่ระเหยนั่นคือน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (Redistilled B100) ที่ต้องการ โดยการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่นนั้นจะใช้เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure ซึ่งตัวแปรต้นจากการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น คือ ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบก่อนการกลั่น, ตัวแปรควบคุม คือ เงื่อนไขในการกลั่น ซึ่งจะกลั่นให้ได้น้ำมันออกมาที่ปริมาณร้อยละ 90 จากปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ และสุดท้ายตัวแปรตาม คือ ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบหลังการกลั่น ดังที่แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น

จากรูปที่ 4.1 น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้รับความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 216 องศาเซลเซียส จากนั้น น้ำมันไบโอดีเซลจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส แล้วแก๊สที่ระเหยขึ้นมาจาก น้ำมันไบโอดีเซลจะถูกนำกลับมาควบแน่นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 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

หลังจากการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่นแล้วนั้น น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ที่ยังไม่ผ่าน และที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) จะถูกนำมาทดสอบความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซลทั้ง 2 ประเภท เพื่อเปรียบเทียบกัน โดยมีสมมติฐานว่า น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) นั้น จะต้องมีความบริสุทธิ์ หรืออีกนัยความหมายหนึ่งคือ มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (% wt) มากกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) จะมีความบริสุทธิ์ หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปริมาณ

มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 96.5 โดยมวลของน้ำมันเชื้อเพลิง (96.5% wt) ตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556 ซึ่งในการทดสอบจะใช้เครื่องมือเรียกว่า “โครมาโทกราฟี (Chromatography)” ภายใต้มาตรฐาน EN 14103 ซึ่งในการทดลองนี้ โครมาโทกราฟีที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่อาคารเครื่องมือ 10 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จะเป็นแบบแก๊ส (Gas Chromatography, GC) ใช้สำหรับแยกสารผสมที่เป็นแก๊ส โดยมีเฟสเคลื่อนที่เป็นแก๊สเช่นกันแต่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารผสม โดยมีสารละลายเมทิล-เฮปทาดีเคนอเอต (Methyl-heptadecanoate) ทำหน้าที่เป็นตัวพา (Carrier) สารผสม ส่วนเฟสอยู่กับที่อาจจะเป็ของแข็งหรือของเหลวที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ เมื่อทั้งตัวพาและสารผสมเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์นี้ เฟสอยู่กับที่ในคอลัมน์จะดึงดูดด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตย์ตามความเป็นขั้วของสารกับ โมเลกุลในสารผสมทำให้องค์ประกอบในสารผสมถูกพาไปด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน สารผสมก็จะถูกแยกออกจากกันนั่นเอง หรือจากการทดสอบหาค่าความบริสุทธิ์

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

สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบจะมีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันประเภทต่างๆ เป็นส่วนประกอบหลัก 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

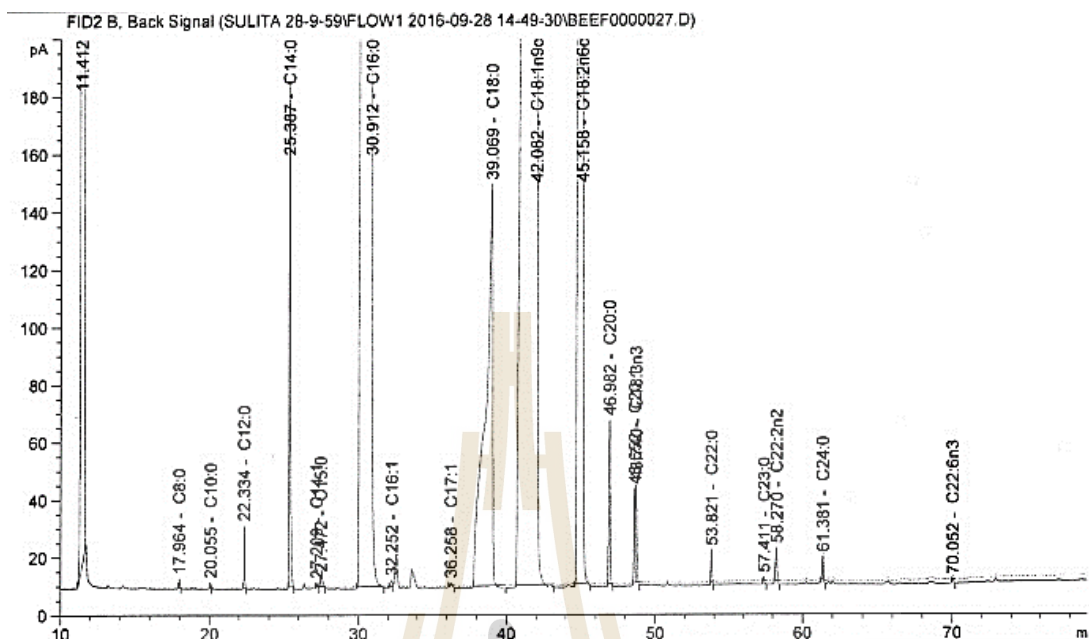
จากกรดไขมันประเภทต่างๆในตารางที่ 4.3 นั้น เมื่อทำการทดลองหาองค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ในหัวข้อ 4.2 และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) ในหัวข้อ 4.3 ข้างต้น ด้วยวิธีการโครมาโทกราฟี ซึ่งเป็นแบบแก๊สโครมาโทกราฟีจะพบว่า องค์ประกอบต่างๆจะแสดงออกมาในลักษณะเป็นจุดยอดสูงสุดของกราฟ (Peak) โดยที่จุดยอดสูงสุดของกราฟที่จุดต่างๆ จะแสดงถึงประเภทของกรดไขมันที่แตกต่างกันออกไป ดังที่แสดงในกราฟรูปที่ 4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และรูปที่ 4.3 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100)

รูปที่ 4.2 และ 4.3 จะพบว่า องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) มีจำนวนจุดยอดสูงสุดของกราฟ (Peak) จำนวนมากกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ซึ่งหมายถึงน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) มีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนมากกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) โดยในทางทฤษฎีนั้น จำนวนจุดยอดสูงสุดของกราฟ (Peak) ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) จะต้องมีความเท่ากัน

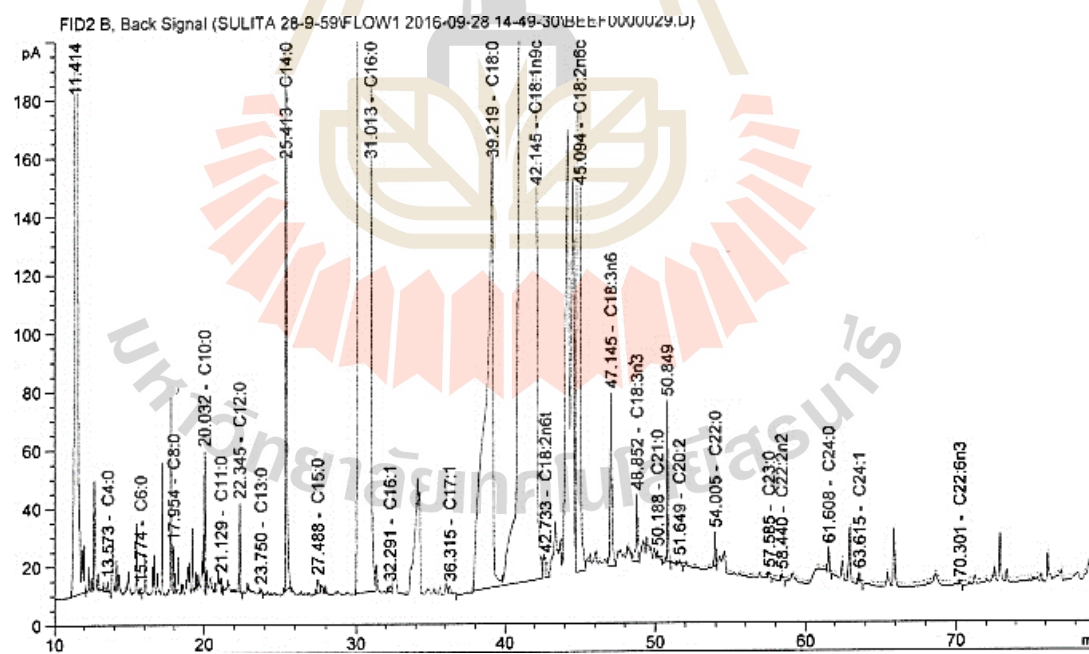
แต่ในทางปฏิบัตินั้น ปัจจัยที่ทำให้ผลการทดลองไม่เป็นไปตามทฤษฎีเนื่องมาจากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการกลั่นนั้น เครื่องมือที่ใช้กลั่นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ คือ เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure หรือเป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ (50%) ของตัวอย่างน้ำมัน (Distillation at 50% recovered) ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงหลังจากการทดสอบหาอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ (50%) ของตัวอย่างน้ำมันนั้น จะเป็นผลพลอยได้หลังจากการทดสอบ ซึ่งน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) นั้น สิ่งที่พบจากการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) จะมีเสถียรภาพในการเก็บรักษา มากกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) กล่าวคือ เมื่อเก็บรักษาน้ำมันเชื้อเพลิงไว้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) จะมีการตกตะกอนเกิดขึ้น ในขณะที่น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) จะไม่เกิดการตกตะกอน ซึ่งตะกอนที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผลเสียโดยตรงต่อคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง จากที่กล่าวมาก่อนหน้านั้น คือ เครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ (50%) ของตัวอย่างน้ำมัน ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงหลังจากการทดสอบหาอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ (50%) ของตัวอย่าง

น้ำมันนั้น (R-B100) จะเป็นผลพลอยได้หลังจากการทดสอบ โดยที่เครื่องมือนี้จะมีการทดสอบหาอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ (50%) ของตัวอย่างน้ำมันนี้ จะมีการใช้ทดสอบกับน้ำมันเชื้อเพลิงหลายประเภท ยกตัวอย่างเช่น น้ำมันดีเซล, น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง, น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว เป็นต้น ส่งผลให้น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) เกิดการปนเปื้อนไปกับน้ำมันประเภทอื่น เนื่องจากการทำความสะอาดคือเครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure ที่ไม่ดีพอหลังจากการทดสอบหาอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ (50%) ของตัวอย่างน้ำมันประเภทอื่นๆ ดังนั้น จำนวนจุดยอดสูงสุดของกราฟ (Peak) ของน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) หรือกล่าวคือ องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) จึงมีมากกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) อย่างที่ไม่ควรจะเป็นนั่นเอง

จากการคำนวณเพื่อหาความบริสุทธิ์ หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) จากสมการข้างต้นจะได้ว่า ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) มีความบริสุทธิ์ หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 92.17 และ 93.13 ตามลำดับ (92.17 และ 93.13% wt ตามลำดับ) ซึ่งน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) มีความบริสุทธิ์ หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากขึ้นกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ แต่เนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) ไปกับน้ำมันประเภทอื่น เนื่องจากการทำความสะอาดคือเครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure ที่ไม่ดีพอ จึงส่งผลให้น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) มีความบริสุทธิ์ หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ น้อยกว่าร้อยละ 96.5 โดยมวลของน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556



รูปที่ 4.2 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆ ในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100)



รูปที่ 4.3 องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่างๆ ในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100)

4.4 การวัดคุณสมบัติของน้ำมัน

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ โดยมีตัวแปรต้นจากการวัด คือ ประเภทของน้ำมันที่ทำการวัดคุณสมบัติทั้ง 5 ประเภท ได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโน ซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) และน้ำมันดีเซล

ตัวแปรควบคุม คือ การวัดคุณสมบัติของน้ำมัน 5 ประเภทรวมถึงเงื่อนไขจากการวัดคุณสมบัติของน้ำมันในแต่ละประเภท ได้แก่ ความหนืด จะทำการวัดความหนืดภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิของน้ำมันตัวอย่างที่ใช้วัดต้องมีอุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส, ความถ่วงจำเพาะ จะทำการวัดความถ่วงจำเพาะภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิของน้ำมันตัวอย่างที่ใช้วัดต้องมีอุณหภูมิเท่ากับ 15.6 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบ จะทำการวัดอุณหภูมิการกลั่นภายใต้เงื่อนไขตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบจะต้องมีปริมาณ 100 มิลลิลิตร และต้องกลั่นตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบออกมาให้ได้ที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบ หรือปริมาณ 50 มิลลิลิตร, ค่าดัชนีซีเทน ซึ่งค่าดัชนีซีเทน จะเป็นการประมาณค่าออกมาโดยการคำนวณซึ่งใช้ข้อมูลจากการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ และอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบในการช่วยประมาณค่าดัชนีซีเทนออกมา และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะทำการวัดภายใต้เงื่อนไขปริมาณของน้ำมันตัวอย่างจะมีน้ำหนักอยู่ที่ 0.25 กรัม โดยการวัดคุณสมบัติของน้ำมันทั้ง 5 ประเภทจะอยู่ภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM)

สุดท้ายตัวแปรตาม คือ ผลลัพธ์จากการวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 5 ประเภท โดยในการวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงจะใช้เครื่องมือวัดคุณสมบัติชนิดต่างๆดังแสดงในบทที่ 3 ก่อนหน้านั้น จะพบว่า คุณสมบัติต่างๆของน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นไปตามที่แสดงดังตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4.4

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	-	-	-	-

หมายเหตุ คุณสมบัติของน้ำมันประเภทต่างๆมีการทดลองวัดค่าซ้ำ 3 ครั้ง ยกเว้นค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่วัดค่าเพียง 1 ครั้งจึงไม่สามารถแสดงค่าความแปรปรวนจากการวัด หรือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้

จากตารางที่ 4.4 คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) จะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) แต่ยังคงดีกว่าคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล ซึ่งคุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโน ซิงค์ ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.) มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ (1.8–8.0 mm²/s) ขณะที่คุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโน ซิงค์ ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) นั้น เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ (0.81–0.92) รวมไปถึงค่าดัชนีซีเทนก็มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน

ว่าด้วยการกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549 ที่กำหนดไว้ ($\square \geq 45$)

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

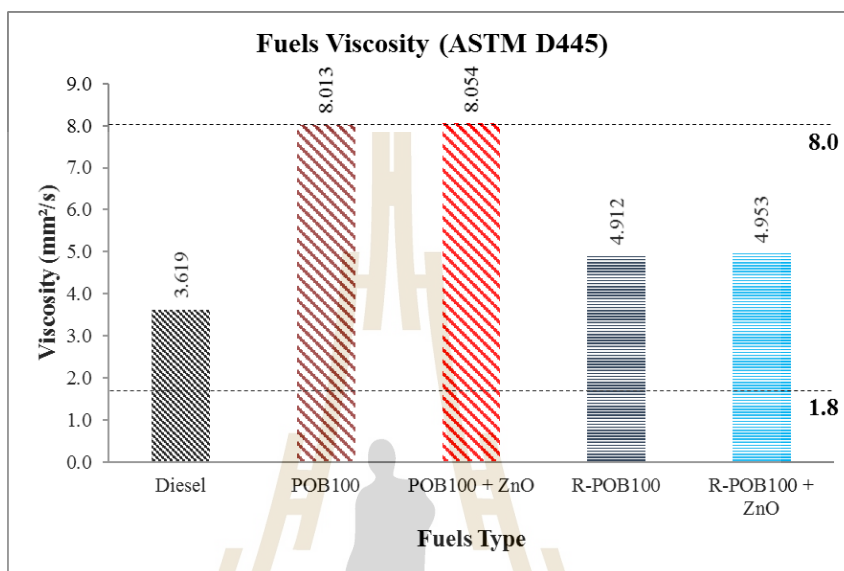
หมายเหตุ + คือ เพิ่มขึ้น และ - คือ ลดลง เช่น น้ำมัน B100 มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 121.41 หรือ 121.41% และ X คือ ไม่ทราบค่า

4.4.1 ความหนืด (Viscosity)

การวัดความหนืดนั้น วัดภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) D445 โดยจะนำน้ำมันมาวัดหาค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้หลอดทดลองวัดความหนืดขนาด 300 และมีค่าคงที่ของหลอดทดลองเท่ากับ 0.2585 mm²/s² ทำการวัดโดยการจับเวลาเพื่อสังเกตว่า น้ำมันไหลจากจุดอ้างอิงเริ่มต้นจนไปถึงจุดอ้างอิงสุดท้ายของหลอดทดลองวัดความหนืดที่เวลาที่วินาที จากนั้นจึงนำเวลาที่ได้ออกมาคำนวณหาค่าความหนืดด้วยสมการ

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

ซึ่งจากการทดลองวัดค่าความหนืด ผลที่ได้จากการวัดแสดงให้เห็น ดังรูปที่ 4.4 ค่าความหนืดที่วัดได้จากน้ำมันประเภทต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM D445



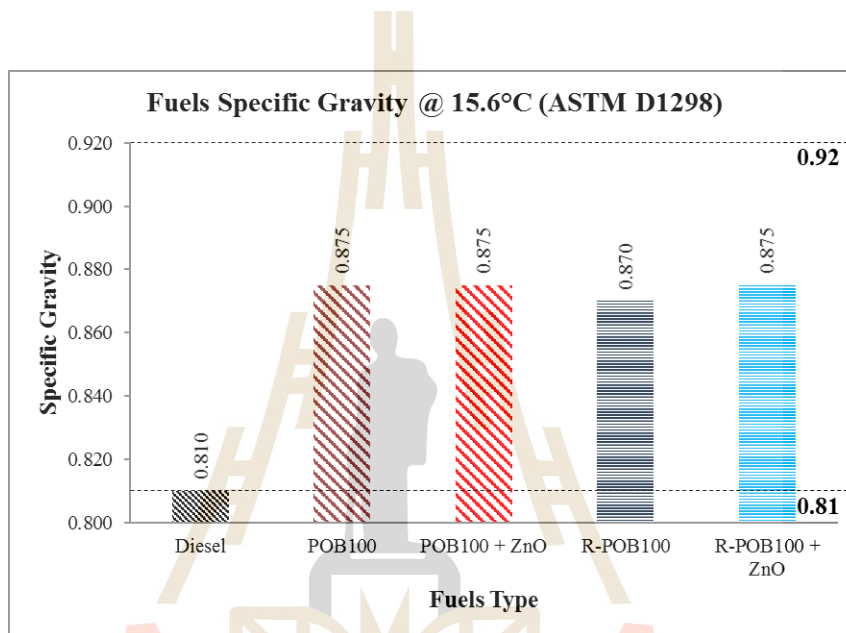
รูปที่ 4.4 ค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 จะพบว่า คุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100 + ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R - B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 121.41, 122.55, 35.71 และ 36.85 ตามลำดับ ขณะที่ความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบนั้นมีค่าความหนืดมากที่สุดที่ 38.97 mm²/s ซึ่งมากกว่าน้ำมันดีเซลถึงร้อยละ 976.82 โดยที่ความหนืดนั้นจะมีผลต่อการกระจายตัวเป็นละอองฝอยของน้ำมันเมื่อถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความหนืดที่น้อยจะส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของน้ำมันได้ดี ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

4.4.2 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

การวัดความถ่วงจำเพาะนั้นจะวัดภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) D1298 โดยจะนำน้ำมันมาวัดหาค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ในการวัดหาค่าความถ่วงจำเพาะ

ซึ่งไฮโดรมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดนั้น มีความละเอียดในการวัดอยู่ที่ 0.005 และเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย ใช้วิธีในการวัดโดยใส่ไฮโดรมิเตอร์ลงไปในน้ำมันที่ถูกใส่ไว้ในกระบอกตวงก่อนหน้านั้น แล้วสังเกตสเกล (Scale) อ่านค่าของไฮโดรมิเตอร์ที่ลอยอยู่ตรงกับระดับผิวของน้ำมัน และทำการอ่านค่าที่วัดได้จากน้ำมันประเภทต่างๆ ซึ่งจากการทดลองวัดค่าความถ่วงจำเพาะนั้น ผลที่ได้จากการวัดแสดงดังรูปที่ 4.5

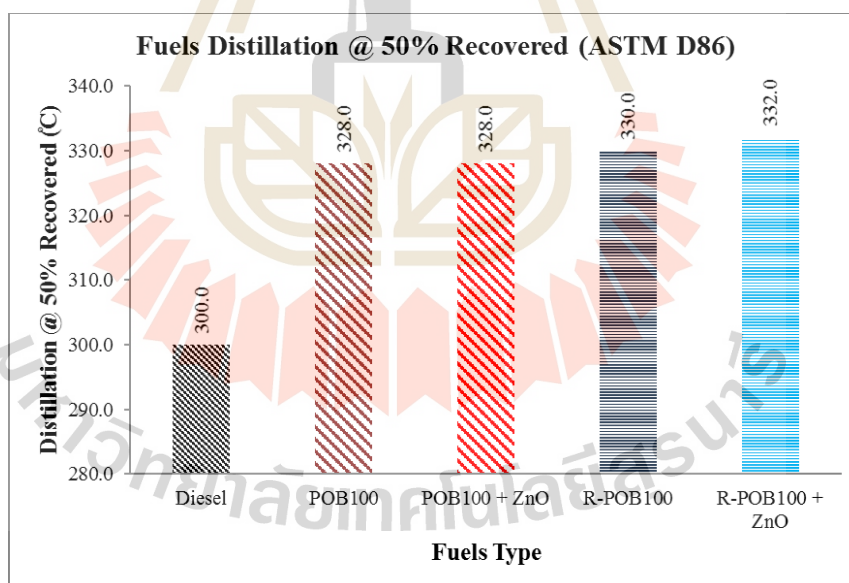


รูปที่ 4.5 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 จะพบว่า คุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 8.02, 8.02, 7.41 และ 8.05 ตามลำดับ ความถ่วงจำเพาะมากขึ้นจะทำให้ค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำมันลดลงไป รวมไปถึงทำให้ดัชนีซีเทนลดลงทำให้การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และถ้าความหนาแน่นของน้ำมันสูง อัตราการไหลโดยมวลของน้ำมันก็จะสูงขึ้น ส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่มากขึ้นตามไปด้วย

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

การวัดอุณหภูมิการกลั่นนั้นจะวัดภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) D86 ซึ่งเป็นการวัดอุณหภูมิของการกลั่นของน้ำมันตัวอย่างที่ร้อยละ 50 ของปริมาณน้ำมันตัวอย่าง โดยใช้น้ำมันตัวอย่างในการทดสอบที่ 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่น้ำมันตัวอย่างเริ่มกลั่นตัว ในการทดสอบมีการกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบคือ อัตราการไหลของน้ำมันที่กลั่นออกมาได้ มีค่าอยู่ระหว่าง 4-5 มิลลิลิตร/นาที โดยในการทดสอบนั้น 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 ซึ่งผลที่ได้จากการวัดจะแสดงให้เห็น ดังรูปที่ 4.6



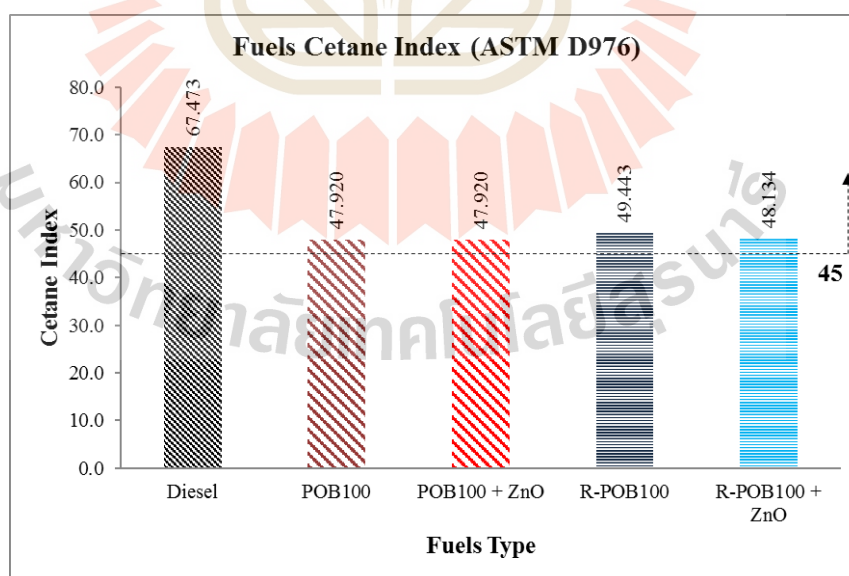
รูปที่ 4.6 อุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

จากตารางที่ 4.5 และ 4.5 จะพบว่า อุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่

ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีค่าอุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างน้ำมันมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 9.33, 9.33, 10.00 และ 10.67 ตามลำดับ อุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันนั้น ส่งผลต่างๆ ต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์คือ การกลั่นที่ร้อยละ 50 เป็นส่วนที่ระเหยได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อให้เครื่องยนต์ร้อนขึ้นได้เร็ว มีการกระจายตัวของน้ำมันไปยังสูบต่างๆ ได้สม่ำเสมอจนช่วยให้แรงเครื่องได้เรียบ

4.4.4 คัดชนีซีเทน (Cetane Index)

เนื่องจากการวัดค่าซีเทนนับเบอร์โดยตรงนั้น ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีค่าใช้จ่ายสูงมาก จึงต้องทำการหาค่าดัชนีซีเทนแทน เพื่อเป็นการประมาณค่าซีเทนนับเบอร์โดยคร่าวๆ ซึ่งการหาค่าดัชนีซีเทนนั้น จะมีคำนวณจากค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) D976 โดยที่การหาค่าดัชนีซีเทนคำนวณได้จากความถ่วงจำเพาะ API อุณหภูมิของการกลั่นของน้ำมันตัวอย่างที่ร้อยละ 50 ของปริมาณน้ำมันตัวอย่างในขั้นตอนก่อนหน้าจะเป็นการวัดหาค่าความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน ASTM D1298 และการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันตามมาตรฐาน ASTM D86 ซึ่งเป็นค่าที่ทราบได้เนื่องจากการวัดออกมาแล้ว จากคุณสมบัติความถ่วงจำเพาะและการกลั่นนั้น ทำให้สามารถนำไปคำนวณหาค่าดัชนีซีเทน จากการคำนวณค่าดัชนีซีเทนดังรูปที่ 4.7

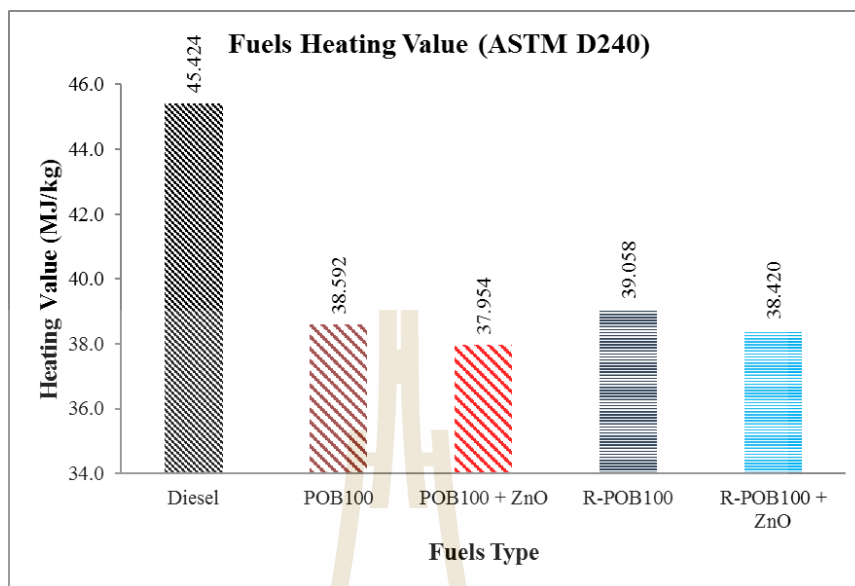


รูปที่ 4.7 ค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 จะพบว่า ค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีค่าดัชนีซีเทนน้อยกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 28.98, 28.98, 26.72 และ 28.66 ตามลำดับ ค่าดัชนีซีเทนเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง ซึ่งหมายถึงคุณภาพการจุดติดไฟของน้ำมันนับตั้งแต่น้ำมันเริ่มถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จนกระทั่งเกิดเปลวไฟขึ้น ช่วงเวลานี้จะเรียกว่า “ความล่าช้าในการจุดติดไฟ” (Ignition Delay) น้ำมันที่ทำให้เกิดช่วงเวลานี้สั้นจะมีค่าดัชนีซีเทนที่สูง ทำให้สามารถจุดติดไฟได้ง่าย, เครื่องยนต์สตาร์ทติดได้ง่าย ในขณะที่มีอุณหภูมิต่ำหรืออยู่ในช่วงฤดูหนาว, เครื่องยนต์ร้อนได้เร็วขึ้นโดยไม่เกิดควันขาว แต่ในขณะเดียวกันถ้าดัชนีซีเทนสูงเกินไปก็ส่งผลให้เครื่องยนต์ไม่มีกำลัง และค่าดัชนีซีเทนที่สูงจะส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง

4.4.5 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value)

สำหรับการวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้น จะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “บอมบ์ แคลอริมิเตอร์” (Bomb Calorimeter) ภายใต้อาณัติของ American Society of Testing and Materials (ASTM) ซึ่งค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Heating Value) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้นๆ 1 หน่วยมวล (สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและของเหลว) หรือ 1 หน่วยปริมาตร (สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นแก๊ส) เมื่อเผาไหม้หมดอย่างสมบูรณ์ สำหรับการเปรียบเทียบว่าเชื้อเพลิงชนิดใดจะให้พลังงานความร้อนได้มากกว่ากันสามารถทำได้โดยนำเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมาต้มน้ำในปริมาตรเท่ากัน ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากัน เชื้อเพลิงชนิดใดใช้หมดไปน้อยที่สุด เชื้อเพลิงนั้นจะมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงมากคือเป็นเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานความร้อนได้ดีตามมาตรฐาน ASTM D240 ซึ่งค่าความร้อนเชื้อเพลิงของน้ำมันและประเภทที่วัดได้นั้น แสดงดังรูปที่



รูปที่ 4.8 ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 จะพบว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (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.) มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 15.04, 16.45, 14.01 และ 15.42 ตามลำดับ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงบ่งชี้ถึงพลังงานที่จะได้รับจากเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ ในปริมาณหนึ่งหน่วยเท่ากันเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน โดยที่น้ำมันที่มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมากจะส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง

4.5 การทดสอบการปล่อยมลพิษ

งานวิจัยนี้ทำการวัดการปล่อยมลพิษหลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์ ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์, คาร์บอนมอนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน ในการวัดการปล่อยมลพิษที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์หลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์นั้น ทำการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ที่ภาระกระทำที่ 6 นิวตันเมตร โดยที่การวัดค่าการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ใช้เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Testo รุ่น 350 ส่วน

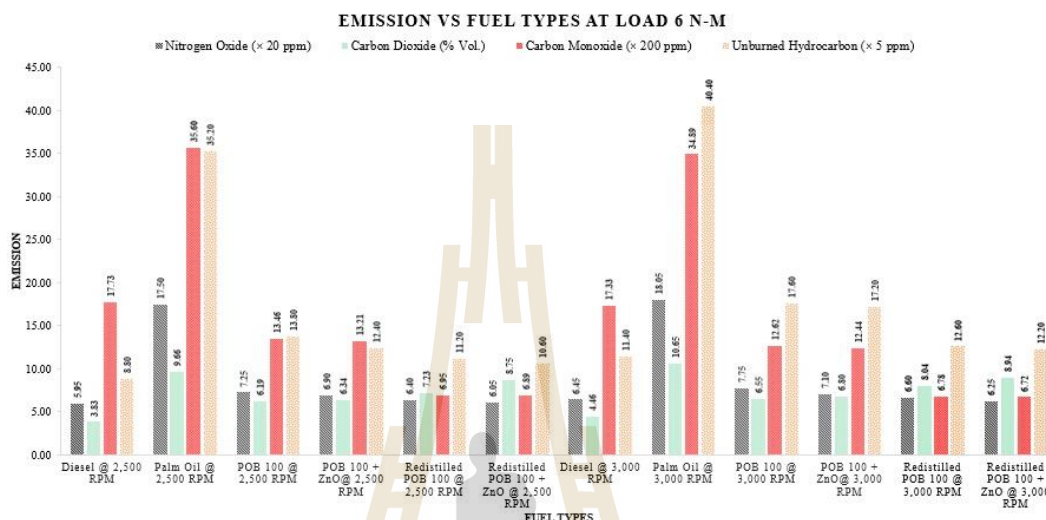
คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรคาร์บอนใช้เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Horiba รุ่น Mexa-584L โดยวัดการปล่อยมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซลที่มีข้อมูลจำเพาะ

ซึ่งการทดสอบการปล่อยมลพิษนั้น ตัวแปรต้นจากการทดสอบ คือ ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง 6 ประเภท ได้แก่ 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.), น้ำมันดีเซล รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบ ในขณะที่ตัวแปรควบคุม คือ เงื่อนไขในการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำซึ่งทำการวัดการปล่อยมลพิษที่ความเร็วรอบคงที่ 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

จากตารางที่ 4.6 เมื่อนำค่ามลพิษที่วัดได้มาเขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบการปล่อยมลพิษของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ จะได้เป็นกราฟที่แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การปล่อยมลพิษของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

จากตารางที่ 4.6 เมื่อนำค่าการปล่อยมลพิษชนิดต่างๆที่วัดออกมาได้มาทำการเปรียบเทียบกัน โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นมาตรฐาน จะพบว่า ร้อยละการเพิ่มขึ้น-ลดลงของมลพิษของน้ำมันประเภทต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล จะเป็นดังที่แสดงในตารางที่ 4.7

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

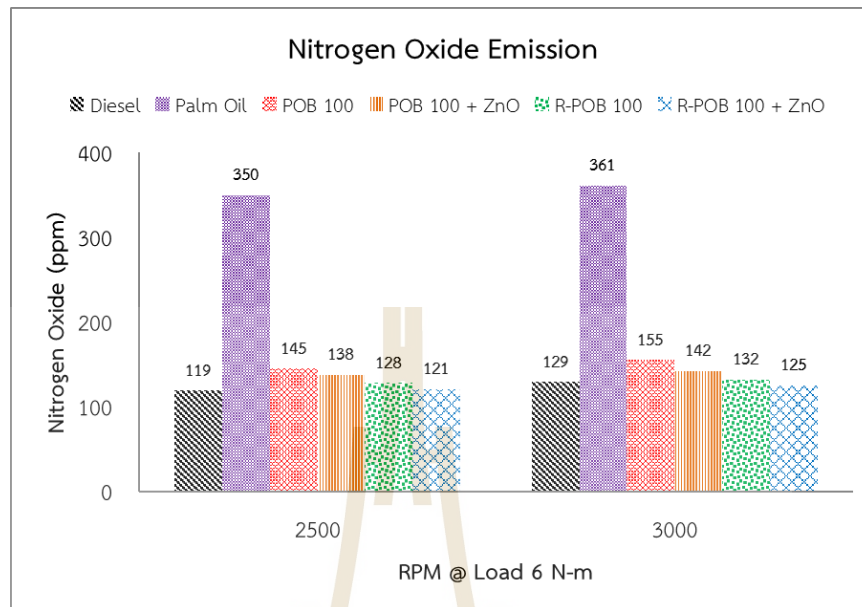
ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบร้อยละการเพิ่มขึ้น-ลดลงของมลพิษของน้ำมัน เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล (ต่อ)

Engine Speed	Type	NOx (ppm)	CO (ppm)	CO2 (% Vol.)	HC (ppm)
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
	Crude Palm Oil	+179.84%	+101.33	+138.86	+254.39

หมายเหตุ + คือ เพิ่มขึ้น และ - คือ ลดลง เช่น ที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบ/นาที น้ำมัน B100 มีค่า NO_x มากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 21.85

4.5.1 ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide)

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 พบว่า การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที 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.) รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบ นั้น พบว่า มีการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 21.85, 15.97, 7.56 1.68 และ 194.12 ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที 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.) รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบนั้น พบว่า มีการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 20.16, 10.08, 2.33, 3.10 และ 179.84 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.10 และที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้น จะทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงขึ้นส่งผลต่อการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์สูงขึ้นตามไปด้วย

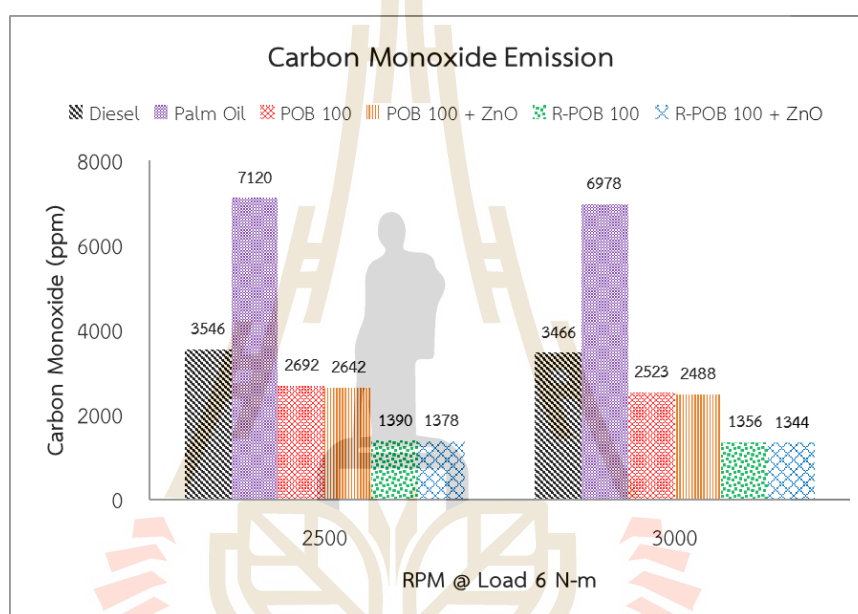


รูปที่ 4.10 การปล่อยมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide)

4.5.2 คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide)

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 พบว่า การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) พบว่า มีการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ลดน้อยลงจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 24.08, 25.49, 60.80 และ 61.14 ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันปาล์มดิบนั้น มีการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 100.79 และขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) พบว่า มีการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ลดน้อยลงจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 27.21, 28.22, 60.88 และ 61.22 ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันปาล์มดิบนั้น มีการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ

101.33 ดังรูปที่ 4.11 และที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้นในห้องเผาไหม้ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้น ซึ่งเกิดจากสัดส่วนหรืออัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศเป็นแบบส่วนผสมบาง (น้ำมันปริมาณน้อย อากาศปริมาณมาก) ออกซิเจนที่มีปริมาณสูงขึ้นในกระบวนการสันดาปภายในจะทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์สามารถเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง

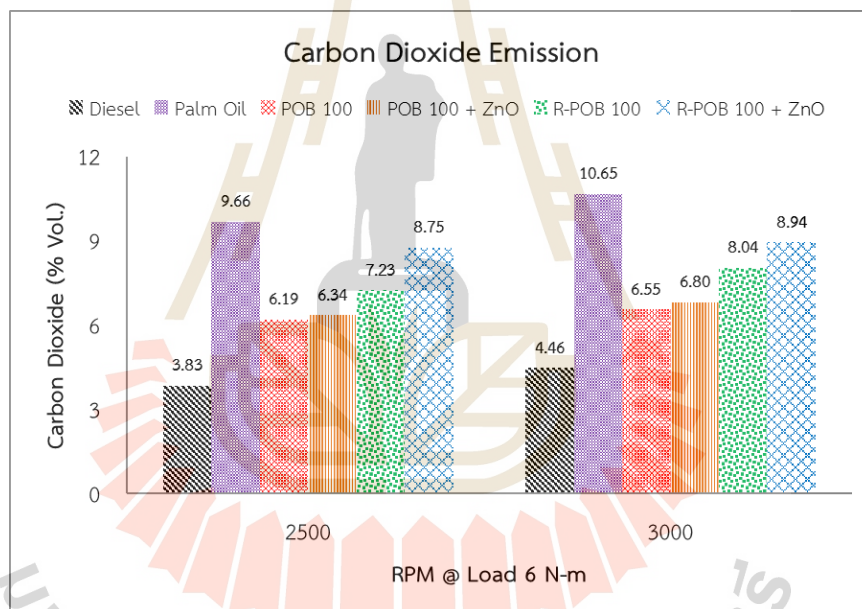


รูปที่ 4.11 การปล่อยมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide)

4.5.3 คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide)

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 พบว่า การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที 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.) รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบนั้น พบว่า มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 61.62, 65.54, 88.86, 128.46 และ 152.31 ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที 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.) รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบนั้นพบว่า มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 46.94, 52.54, 80.19, 100.45 และ 138.86 ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟแผนภูมิแท่งในรูปที่ 4.12 และที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เกี่ยวเนื่องกับปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ลดลง คือปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์สามารถเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากขึ้น

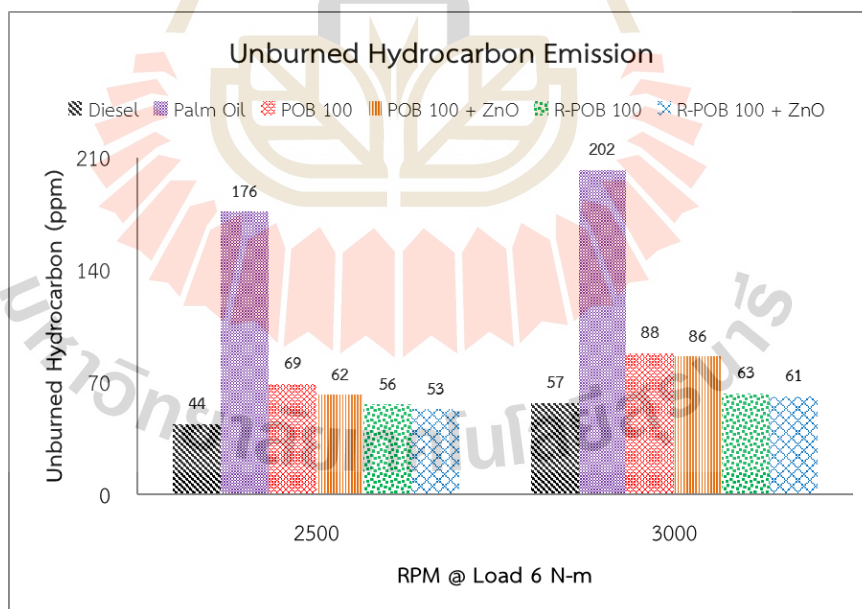


รูปที่ 4.12 การปล่อยมลพิษคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide)

4.5.4 ไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon)

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 พบว่า การปล่อยไฮโดรคาร์บอน ของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติม

แตงนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบนั้นพบว่า มีการปล่อยไฮโดรคาร์บอนมากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 56.82, 40.91, 27.27, 20.45 และ 300.00 ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบครั้งที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแตงนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแตงนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบนั้น พบว่า มีการปล่อยไฮโดรคาร์บอนมากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 54.39, 50.88, 10.53, 7.02 และ 254.39 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.13 และที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น การปล่อยไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นเป็นผลเกี่ยวเนื่องมาจากการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณที่ลดลง และส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสัดส่วนหรืออัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศเป็นแบบส่วนผสมบาง ซึ่งอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศแบบส่วนผสมบางนั้น ทำให้การแพร่กระจายของเปลวไฟลดลง ทำให้ส่วนผสมบางส่วนเผาไหม้ไม่ทันและเหลือมากับไอเสีย ส่งผลให้เกิดการปล่อยไฮโดรคาร์บอนในปริมาณที่มากขึ้น



รูปที่ 4.13 การปล่อยมลพิษไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon)

4.6 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption)

สำหรับการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ดีเซลรอบตํานั้น จะทำการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ที่ภาระกระทำที่ 6 นิวตันเมตร โดยในการวัด จะทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูญเสียไปในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน โดยมีหลักการคือ ที่ช่วงเวลาหนึ่งขณะที่เครื่องยนต์ทำงานอยู่ในบีกเกอร์ที่เก็บน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์จะมีน้ำหนักอยู่ค่าหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไป (การทดลองนี้ทำการจับเวลาที่ 60 วินาที) น้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงในบีกเกอร์ก็จะลดลงจากหลักการนี้ จะสามารถหาอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆออกมาได้ รวมถึงสามารถคำนวณอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกออกมาได้

ซึ่งตัวแปรต้นจากการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก คือ ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง 6 ประเภท ได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันดีเซล รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบ ในขณะที่ตัวแปรควบคุม คือ เงื่อนไขในการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ดีเซลรอบตํานี้ ซึ่งทำการที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ที่ภาระกระทำที่ 6 นิวตันเมตร และใช้เวลาในการวัดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ 60 วินาที

ในส่วนสุดท้ายตัวแปรตาม คือ ปริมาณอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงซึ่งส่งผลไปสู่ปริมาณอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ดีเซลรอบตํานี้ ดังตารางที่ 4.8 แสดงอัตราการไหลเชิงมวล และตารางที่ 4.9 ตารางแสดงอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (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 สามารถนำมาคำนวณออกมาเป็นอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกได้จากสมการต่อไปนี้คือ

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

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)

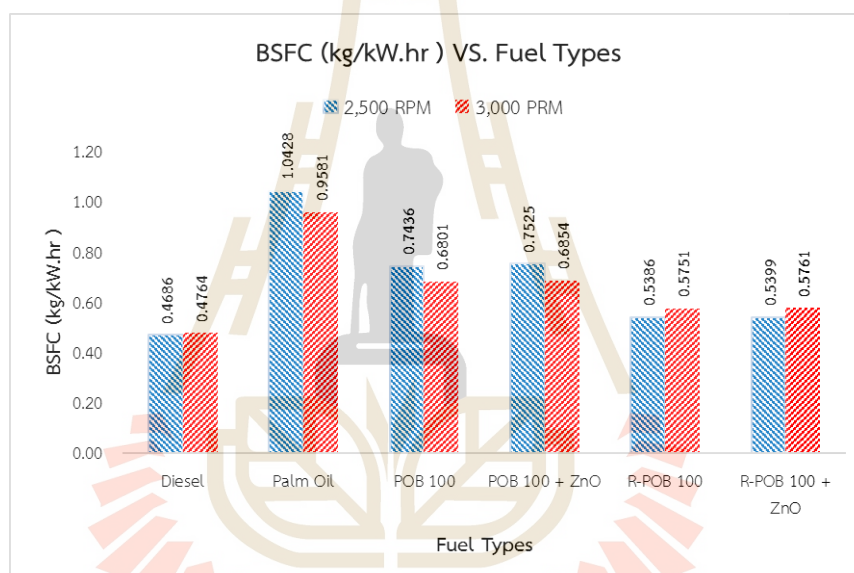
และกำลังเบรคนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการ

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

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 พบว่า ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบ/นาที อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันปาล์มดิบ, น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซลคิดเป็นร้อยละ 122.55, 58.70, 60.60, 14.95 และ 15.22 ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 3,000 รอบ/นาที อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันปาล์มดิบ, น้ำมันไบโอดีเซลจาก

น้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซลคิดเป็นร้อยละ 101.11, 42.76, 43.88, 20.71 และ 20.94 ตามลำดับ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ที่มากขึ้นกว่าน้ำมันดีเซลเนื่องมาจากค่าความหนืด และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง จากข้อมูลคุณสมบัติของเชื้อเพลิงในตารางที่ 4.4 พบว่า น้ำมันปาล์มดิบ, น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซล โดยที่ความหนืดมีผลต่อการกระจายตัวเป็นละอองฝอยของน้ำมันเมื่อถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความหนืดที่น้อยส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของน้ำมันได้ดี ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น แต่ถ้าความหนืดมีค่าสูงมากจะส่งผลต่อการกระจายตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่ดีเท่าที่ควร ส่งผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ รวมไปถึงการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากขึ้นตามไปด้วย ในส่วนของค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้น จะเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงพลังงานที่จะได้รับจากเชื้อเพลิงประเภทนั้นๆ ในปริมาณหนึ่งหน่วยเท่ากัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน โดยที่น้ำมันที่มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมากจะส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง ซึ่งน้ำมันปาล์มดิบ, น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) นั้น มีค่าความร้อนที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้น น้ำมันดีเซลจะมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่น้อยที่สุดจากน้ำมันทั้ง 6 ประเภท แต่ถ้าเปรียบเทียบเฉพาะน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) ในกรณีที่ไม่ได้ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ รวมถึงน้ำมันปาล์มดิบเมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) จะมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่น้อยที่สุดในประเภทของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ในขณะที่น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโน

ซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) นั้น จะพบว่า อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที ไม่ได้มีความแตกต่างกันทางนัยยะสำคัญแต่อย่างใด

4.7 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

4.7.1 ต้นทุนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ รวมถึงข้อดี-ข้อเสียของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์นี้ เป็นการเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งในที่นี้การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบจะเป็นจะเป็นไปตามเงื่อนไขขอบเขตของงานวิจัยนี้ คือใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ในรูปแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยจะคิดเป็นต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบเปรียบเทียบกับราคาของน้ำมันดีเซลที่ขายทั่วไปตามท้องตลาด รวมถึงการแสดงข้อดีและข้อเสียของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งการอภิปรายผลการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมาในหัวข้อก่อนหน้านี้ เพื่อเป็นการบ่งชี้ถึงผลที่ได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้

จากงานวิจัยนี้ตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงที่จะนำมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์มีตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิง 5 ประเภท ได้แก่ 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 โดยต้นทุนของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 5 ประเภทที่เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลนั้นคิดออกมาในหน่วยราคาต่อปริมาณ 1 ลิตร ซึ่งผลที่ได้จากการคิดราคาต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลจะเป็นไปดังตารางที่ 4.10 ตารางแสดงต้นทุนของน้ำมันปาล์มดิบและสารเคมีสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มปริมาณ 1 ลิตร

ตารางที่ 4.10 ต้นทุนของน้ำมันปาล์มดิบและสารเคมีสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลปาล์ม
ปริมาณ 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
สารเติมแตงนาโน ซิงค์ ออกไซด์ (Nano - Zinc Oxide, ZnO)	500	1,100	0.05	0.11

นอกจากต้นทุนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มในส่วนน้ำมันปาล์มดิบและสารเคมี รวมถึงสารเติมแตงนาโน ซิงค์ ออกไซด์แล้ว ทั้งนี้ต้องมีการคำนวณต้นทุนด้านค่าไฟฟ้าในการผลิต น้ำมันไบโอดีเซลปาล์มจากการสิ้นเปลืองไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆรวมด้วย โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลปาล์ม ได้แก่ เครื่องกวนผสมสารขนาด 550 วัตต์, เครื่องเขย่าสารขนาด 500 วัตต์ และเครื่องกลั่นน้ำมัน (ในที่นี้คือ เครื่องวัดอุณหภูมิการกลั่น, Distillation at Atmospheric Pressure) ขนาด 1,250 วัตต์ ซึ่งต้นทุนค่าไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้ไฟฟ้า โดยพิจารณาจากการสิ้นเปลืองไฟฟ้า และเวลาที่ใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ต้นทุนค่าไฟฟ้าในที่นี้คิดในอัตราค่าไฟฟ้าในประเภทบ้านที่อยู่อาศัย ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ตารางแสดงต้นทุนค่าไฟฟ้าในการผลิต น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

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

จากตารางที่ 4.10 และ ตารางที่ 4.11 เมื่อนำต้นทุนทั้งจากต้นทุนของน้ำมันปาล์มดิบและสารเคมี และต้นทุนค่าไฟฟ้าในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมาคิดเป็นต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้ง 5 ประเภท ได้แก่ 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.) และน้ำมันปาล์มดิบแล้วนำมาเปรียบเทียบกับราคาน้ำมันดีเซลที่ขายทั่วไป ผลจากการเปรียบเทียบที่ได้จะเป็นดังในตารางที่ 4.12 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบแต่ละประเภทเทียบกับน้ำมันดีเซล

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 พบว่า ราคาน้ำมันปาล์มดิบที่ยังไม่ผ่านกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยากระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมีราคาถูกกว่าน้ำมันดีเซลตามท้องตลาดทั่วไป แต่น้ำมันไบโอดีเซลอีก 4 ประเภท ได้แก่ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีราคาสูงขึ้นจากน้อยไปหามากที่สุดตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับราคาน้ำมันดีเซลแล้ว น้ำมันไบโอดีเซลแต่ละประเภทมีราคาที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลเป็นอย่างมาก สาเหตุเนื่องมาจากการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจะเป็นการผลิตในรูปแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการตามขอบเขตของงานวิจัย ซึ่งเป็นการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในปริมาณน้อย ส่งผลไปถึงราคาขายปลีกของต้นทุนของสารตั้งต้นและสารเคมีที่ซื้อเข้ามาใช้ในปริมาณน้อยนั้นมีราคาค่าต้นทุนที่สูงมาก โดยเฉพาะราคาสารเคมีที่มีราคาสูงมากเป็นพิเศษ เนื่องจากสารเคมีเป็นเกรดที่ใช้สำหรับการทดลองในงานวิจัยซึ่งมีราคาสูงอยู่แล้ว ในขณะที่การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลทั่วไปจะใช้สารเคมีในเกรดที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมซึ่งมีราคาที่ถูกลง ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในรูปแบบการทดลองนี้ ไม่มีกระบวนการบำบัดสารเคมีที่ใช้ไปแล้วให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งได้เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตดังเช่นในกระบวนการทางอุตสาหกรรม จึงส่งผลให้ราคาค่าต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลสูงกว่าน้ำมันดีเซลตามท้องตลาดทั่วไป รวมถึงน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการต่างๆมากขึ้น ได้แก่ การเติมสารเติมแต่ง และนำไปปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการกลั่น จะส่งผลต่อราคาค่าต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลที่สูงมากขึ้นยิ่งไปอีกตามกระบวนการที่เพิ่มขึ้นมาเพื่อให้ได้เป็นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบใน

ประเภทนั้นๆนั่นเอง ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบจึงต้องมีการตกลงรายซื้อ-ขาย กับแหล่งที่ทำการขายน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อตกลงราคาน้ำมันปาล์มดิบในมีต้นทุนที่ถูกกลงโดยการซื้อ น้ำมันปาล์มดิบในปริมาณที่มากขึ้น รวมไปถึงการเลือกใช้สารเคมีตามเกรดสำหรับงานทาง อุตสาหกรรมที่มีราคาที่สูงกว่า และมีการบำบัดสารเคมีที่ใช้แล้วให้นำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งได้ จะทำ ให้ต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบลดลงได้ และมีราคาที่ใกล้เคียงกับน้ำมัน ดีเซลตามท้องตลาดทั่วไปมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบเป็นที่น่าสนใจ ในการทดลองใช้จากประชาชนทั่วไปที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ หรือเครื่องจักรทางการเกษตร

จากงานวิจัยนี้ ทั้งการศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน, การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ดิบ (B100) ด้วยวิธีการกลั่น, การเติมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซล จากน้ำมันปาล์มดิบทั้งก่อน และหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น รวมถึงผล จากการวัดค่าคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันเชื้อเพลิงภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) ตลอดจนจากการศึกษาผลกระทบจากน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่มี ต่อการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ และผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ พบทั้งข้อดี-ข้อเสียจากน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ดิบเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ได้แก่

ข้อดีของน้ำมันดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ รวมถึงการใส่สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ เห็นได้อย่างชัดเจนจากงานวิจัยนี้ คือ

- เป็นการแปรรูปทรัพยากรที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศมาเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ลดการนำเข้าน้ำมันดีเซลจากต่างประเทศ
- น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบสามารถลดการปลดปล่อยมลพิษ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ และเพิ่มการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลดีต่อ สิ่งแวดล้อมภายนอก
- สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ สามารถช่วยลดการปล่อยมลพิษ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ และเพิ่มการปล่อย คาร์บอนไดออกไซด์ได้ดียิ่งขึ้น
- เป็นพลังงานทางเลือกในอนาคตสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ หรือเครื่องจักรทางการเกษตร

ในขณะที่ข้อเสียของน้ำมันดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ รวมถึงการใส่สารเติมแต่งนาโนซิงค์ ออกไซด์ที่เห็นได้อย่างชัดเจนจากงานวิจัยนี้ คือ

- ต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบยังสูงอยู่เมื่อเทียบกับราคาน้ำมันดีเซล
- การผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์เข้ากับน้ำมันเชื้อเพลิงใช้เวลานาน เพื่อให้ได้นาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารกลุ่มโลหะสามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้
- น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบไม่สามารถลดการปล่อยมลพิษ คือ ไนโตรเจนออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกเป็นอย่างมาก
- น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ มากกว่าน้ำมันดีเซลหรือมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองมากกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก

จากข้อเสียของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่พบในงานวิจัยนี้ นั่น ในส่วนของต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ถ้ามีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในปริมาณมากๆ และมีการใช้เทคโนโลยีทางอุตสาหกรรม รวมไปถึงใช้สารเคมีในเกรดสำหรับงานทางอุตสาหกรรม จะทำให้สามารถลดต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบได้มากขึ้นดังที่กล่าวมาก่อนในข้างต้น ขณะที่การปล่อยมลพิษ และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Brake Specific Fuel Consumption, bsfc) ที่น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมีมากกว่าน้ำมันดีเซลนั้น ส่วนหนึ่งมาจากขอบเขตของงานวิจัยที่ไม่ได้มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำแต่อย่างใดในการทดลอง ถ้ามีการปรับแต่งเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำให้เหมาะสมกับการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบจะส่งผลให้การปล่อยมลพิษลดลงได้ รวมถึงอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Brake Specific Fuel Consumption, bsfc) จะสามารถลดลงได้ หรือประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้มากยิ่งขึ้นนั่นเอง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

ในส่วนของหัวข้อนี้เป็นการสรุปผลจากการทดลองทั้งหมด ทั้งการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ด้วยวิธีการกลั่น, การเติมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบทั้งก่อน และหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น, การวัดคุณสมบัติของน้ำมันภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) ซึ่งจะพิจารณาตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ว่าด้วยการกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549 รวมถึงการวัดความบริสุทธิ์ หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) โดยพิจารณาตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556, การปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ และผลของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นนั้น สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนั้น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คือ ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นสารตั้งต้นน้ำหนัก 400 กรัม มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยกำหนดเงื่อนไขคือ กำหนดให้ใช้เมทานอลหนักร้อยละ 45 หรือ 45% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเมทานอลจะมีน้ำหนัก 180 กรัม โดยอัตราส่วนโดยมวล (Molar Ratio) ของน้ำมันปาล์มดิบต่อเมทานอล คือ 1 : 12 หรือถ้าใช้น้ำมันปาล์มดิบ 1 โมล จะต้องใช้เมทานอล 12 โมล ในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สมบูรณ์ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) หนักร้อยละ 2 หรือ 2% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งประมาณ 8 กรัม มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่

อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยที่ร้อยละของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่มีค่าเท่ากับ 90.42 หรือ 90.42%

5.1.2 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการกลั่นจะใช้เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure หรือเป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันเป็นเครื่องมือในการกลั่นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบออกมา โดยที่น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ที่นำมากลั่นต่อหนึ่งครั้งจะใช้ที่ปริมาณ 400 มิลลิลิตร และกลั่นออกมาให้ได้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) ในปริมาณร้อยละ 90 จากปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) 400 มิลลิลิตร หรือกล่าวคือ ต้องกลั่นน้ำมันออกมาให้ได้ในปริมาณ 360 มิลลิลิตร จากน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) 400 มิลลิลิตร หลังจากขั้นตอนการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่นนั้น ลำดับถัดมาในส่วนของ การวัดคุณสมบัติด้านความบริสุทธิ์หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) จะใช้วิธีการโครมาโทกราฟี ซึ่งเป็นแบบแก๊สโครมาโทกราฟี ในการวัดเพื่อให้ได้ผลดังที่ต้องการออกมา ซึ่งผลจากการวัดที่ได้ คือ ความบริสุทธิ์ หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100)

จากสมการข้างต้นจะได้ว่า ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) มีความบริสุทธิ์หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 92.17 และ 93.13 ตามลำดับ (92.17 และ 93.13% wt) และน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) มีความบริสุทธิ์ หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์น้อยกว่าร้อยละ 96.5 โดยมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงหรือน้อยกว่า 96.5% wt ซึ่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556 เนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) ไปกับน้ำมันประเภทอื่น จากการใช้เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure เป็นเครื่องมือ ในการกลั่นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

5.1.3 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

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

1) ความหนืด (Viscosity)

การวัดความหนืดนั้นจะวัดภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) โดยเป็นมาตรฐานของการวัดค่าความหนืด ซึ่งก็คือ ASTM D445 พบว่า คุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 121.41, 122.55, 35.71 และ 36.85 ตามลำดับ

2) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

การวัดความถ่วงจำเพาะจะวัดภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) โดยเป็นมาตรฐานของการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ ซึ่งก็คือ ASTM D1298 พบว่า คุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 8.02, 8.02, 7.41 และ 8.02 ตามลำดับ

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

การวัดอุณหภูมิการกลั่นจะวัดภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) แต่จะเป็นมาตรฐานของการวัดการกลั่น ซึ่งก็คือ ASTM D86 พบว่า อุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโน

ซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีค่าอุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างน้ำมันมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 9.33, 9.33, 10.00 และ 10.67 ตามลำดับ

4) ดัชนีซีเทน (Cetane Index)

เนื่องจากการวัดค่าซีเทนนับเบอร์โดยตรงนั้น ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีค่าใช้จ่ายสูงจึงจำเป็นต้องทำการหาค่าดัชนีซีเทนแทน เพื่อเป็นการประมาณค่าซีเทนนับเบอร์โดยคร่าวๆ ซึ่งการหาค่าดัชนีซีเทนนั้น จะมีคำนวณจากค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) แต่จะเป็นมาตรฐานของการหาค่าดัชนีซีเทน ซึ่งก็คือ ASTM D976 โดยที่การหาค่าดัชนีซีเทนคำนวณได้จากความถ่วงจำเพาะ API และจุดเดือดค่ากลาง (Mid - Boiling Point) หรืออุณหภูมิของการกลั่นของน้ำมันตัวอย่างที่ร้อยละ 50 (50%) ของปริมาณน้ำมันตัวอย่าง พบว่า ค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (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.) มีค่าดัชนีซีเทนน้อยกว่าน้ำมัน

5) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value)

สำหรับการวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้นจะวัดภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials (ASTM) ซึ่งก็คือ มาตรฐาน ASTM D240 พบว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 15.04, 16.45, 14.01 และ 15.42 ตามลำดับ

จากการวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงจากข้างต้นนี้ พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R-B100) จะมีคุณสมบัติที่ดีน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) แต่ยังคงดีว่าคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลซึ่งคุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.) มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ (1.8–8.0 mm²/s) ขณะที่คุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติม

แตงนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแตงนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) นั้น เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ (0.81–0.92) รวมไปถึงค่าดัชนีซีเทนมีก็มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน 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 จะทำการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำที่ความเร็วรอบคงที่ ที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ที่ภาระกระทำที่ 6 นิวตันเมตร ผลจากการวัดมลพิษสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide, NO_x)

จากการทดลองวัดการปล่อยมลพิษ พบว่า การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแตงนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแตงนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบนั้น พบว่า มีการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 21.85, 15.97, 7.56, 1.68 และ 194.12 ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแตงนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสมสารเติมแตงนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบนั้น พบว่า มีการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 20.16, 10.08, 2.33, 3.10 และ 179.84 ตามลำดับ

2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide, CO)

จากการทดลองวัดการปล่อยมลพิษ พบว่า การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ของ เครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที 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.) พบว่า มีการปล่อย คาร์บอนมอนอกไซด์ลดน้อยลงจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 24.08, 25.49, 60.80 และ 61.14 ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันปาล์มดิบนั้น มีการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 100.79 และขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสม สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) พบว่า มีการปล่อย คาร์บอนมอนอกไซด์ลดน้อยลงจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 27.21, 28.22, 60.88 และ 61.22 ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันปาล์มดิบนั้นมีการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 101.33

3) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide, CO₂)

จากการทดลองวัดการปล่อยมลพิษ พบว่า การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของ เครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการ กลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสม สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบนั้น พบว่า มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 61.62, 65.54, 88.86, 128.46 และ 152.31 ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการ กลั่น (R-B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น ผสม สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบนั้น

พบว่า มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 46.94, 52.54, 80.19, 100.45 และ 138.86 ตามลำดับ

4) ไฮโดรคาร์บอน (Unburned Hydrocarbon, HC)

จากการทดลองวัดการปล่อยมลพิษ พบว่า การปล่อยไฮโดรคาร์บอนของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 รอบ/นาที 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.) รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบนั้น พบว่า มีการปล่อยไฮโดรคาร์บอนมากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 56.82, 40.91, 27.27, 20.45 และ 300.00 ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที 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.) รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบนั้น พบว่า มีการปล่อยไฮโดรคาร์บอนมากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 54.39, 50.88, 10.53, 7.02 และ 254.39 ตามลำดับ

จากการทดลอง ในการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ จากผลการวัดการปล่อยมลพิษ พบว่า 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.) รวมไปถึงน้ำมันปาล์มดิบนั้น มีการปล่อยมลพิษไนโตรเจนออกไซด์, คาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน ในปริมาณที่มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ขณะที่มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากน้ำมันดีเซล จากการทดลองพบว่า การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น (Redistillation Process) สามารถลดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบได้ และยังพบว่าสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์น้ำหนัก 0.05 กรัม ยังให้ผลที่ดีในการลดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำเช่นเดียวกัน น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น รวมถึงการใช้สารเติมแต่ง

นาโนซิงค์ออกไซด์จึงเป็นอีกทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับเป็นพลังงานทางเลือกที่ช่วยลดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์อีกหน้ทางเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลในการนำมาใช้ในอนาคตต่อไป

5.1.5 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption, bsfc)

สำหรับการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่อนั้น จะทำการวัดโดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูญเสียไปในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน โดยมีหลักการคือ ที่ช่วงเวลาหนึ่งขณะที่เครื่องยนต์ทำงานอยู่ในปีกเกอร์ที่เก็บน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์จะมีน้ำหนักอยู่ค่าหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไป (60 วินาที) น้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงในปีกเกอร์ก็จะลดลง จากผลการทดลองพบว่า ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันปาล์มดิบ, น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล โดยปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ที่มากขึ้นกว่าน้ำมันดีเซลเนื่องมาจากค่าความหนืด และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ซึ่งน้ำมันปาล์มดิบ, น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) มีค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซล โดยที่ความหนืดจะมีผลต่อการกระจายตัวเป็นละอองฝอยของน้ำมันเมื่อถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความหนืดที่น้อยจะส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของน้ำมันได้ดี ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น แต่ถ้าความหนืดมีค่าสูงมากจะส่งผลต่อการกระจายตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่ดีเท่าที่ควรส่งผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ รวมไปถึงการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากขึ้นตามไปด้วย ในส่วนของค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้นจะเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงพลังงานที่จะได้รับจากเชื้อเพลิงประเภทนั้นๆ ในปริมาณหนึ่งหน่วยเท่ากันเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน โดยที่น้ำมันที่มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมากจะส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง ซึ่งน้ำมันปาล์มดิบ, น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

ดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) นั้นมีค่าความร้อนที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้น น้ำมันดีเซลจะมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่น้อยที่สุดจากน้ำมันทั้ง 6 ประเภท ในขณะที่น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) ผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม (B100+ZnO 0.05 g.) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่นออกไซด์ 0.05 กรัม (R-B100+ZnO 0.05 g.) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยวิธีการกลั่น (R-B100) นั้น จะพบว่า อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที ไม่ได้มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญแต่อย่างใด สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์จึงไม่ส่งผลต่ออัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค

5.1.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (ต้นทุนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล)

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์หรือการเปรียบเทียบต้นทุนของการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบเทียบกับราคาน้ำมันดีเซลตามท้องตลาด พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบจะมีราคาที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลเป็นอย่างมาก สาเหตุเนื่องมาจากการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจะเป็นการผลิตในรูปแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการตามขอบเขตของงานวิจัย ซึ่งเป็นการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในปริมาณน้อย ส่งผลไปถึงราคาขายปลีกของต้นทุนของสารตั้งต้นและสารเคมีที่ซื้อเข้ามาใช้ในปริมาณน้อยนั้นมีราคาต้นทุนที่สูงมาก โดยเฉพาะราคาสารเคมีที่มีราคาสูงมากเป็นพิเศษ เนื่องจากสารเคมีเป็นเกรดที่ใช้สำหรับการทดลองในงานวิจัยซึ่งมีราคาสูงอยู่แล้ว ในขณะที่การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลทั่วไปจะใช้สารเคมีในเกรดที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมซึ่งมีราคาที่ถูกลงกว่า ตลอดจนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในรูปแบบการทดลองนี้จะไม่มีการบวนการบำบัดสารเคมีที่ใช้ไปแล้วให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งได้เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตดังเช่นในกระบวนการทางอุตสาหกรรม จึงส่งผลให้ราคาต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลสูงกว่าน้ำมันดีเซลตามท้องตลาดทั่วไป รวมถึงน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการต่างๆ มากขึ้น ได้แก่ การเติมสารเติมแต่ง และนำไปปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการกลั่น จะส่งผลต่อราคาต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลที่สูงมากขึ้นยิ่งไปอีกตามกระบวนการที่เพิ่มขึ้นมาเพื่อให้ได้เป็นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในประเภทนั้นๆ

5.1.7 ข้อดี-ข้อด้อยของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

จากงานวิจัยเรื่องการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มด้วยวิธีการกลั่น และสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ สามารถสรุปข้อดี

และข้อดีจากน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล รวมถึงการใช้สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ ได้แก่

- เป็นการแปรรูปทรัพยากรที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศมาเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ลดการนำเข้าน้ำมันดีเซลจากต่างประเทศ
- น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบสามารถลดการปล่อยมลพิษ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ และเพิ่มการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมภายนอก
- สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ผสมเข้ากับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบสามารถช่วยลดการปล่อยมลพิษ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ และเพิ่มการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ดียิ่งขึ้น

• เป็นพลังงานทางเลือกในอนาคตสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ หรือเครื่องจักรทางการเกษตร

ข้อดีของน้ำมันดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ รวมถึงการใช้สารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์ ได้แก่

- ต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบยังสูงอยู่เมื่อเทียบกับราคาน้ำมันดีเซล
- การผสมสารเติมแต่งนาโนซิงค์ออกไซด์กับน้ำมันเชื้อเพลิงใช้เวลานาน เพื่อให้ได้นาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารกลุ่มโลหะสามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้
- น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบไม่สามารถลดการปล่อยมลพิษ คือ ไนโตรเจนออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกเป็นอย่างมาก
- น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคมากกว่าน้ำมันดีเซล หรือมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองมากกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก

ในส่วนข้อดีของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบนั้น ในด้านของต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ถ้ามีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในปริมาณมากๆ และมีการใช้เทคโนโลยีทางอุตสาหกรรม รวมไปถึงใช้สารเคมีในเกรดสำหรับงานทางอุตสาหกรรม จะทำให้สามารถลดต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบได้มากขึ้น และในด้านการปล่อยมลพิษ รวมถึงอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมีมากกว่าน้ำมันดีเซลนั้น เนื่องจากไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำให้เหมาะสมกับการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ถ้าเพิ่มการปรับแต่งเครื่องยนต์

ให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิงที่ใช้ จะส่งผลให้การปล่อยมลพิษลดลง รวมถึงอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่ลดลงเช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยากระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Trans-esterification) นั้นพบว่า การกรองน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยผ้าขาวบางจะทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณของน้ำมันไปบางส่วน 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 หรือมีปริมาณเมทิลเอสเตอร์ (Methyl Ester) ที่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 96.5 โดยมวลของน้ำมันเชื้อเพลิง หรือมากกว่าหรือเท่ากับ 96.5% wt ตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2556

รายการอ้างอิง

- การุญ พิงสุวรรณรักษ์. (2556). รายงานการวิจัย การศึกษาผลของการเติมสารเร่งในน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล.
- การุญ พิงสุวรรณรักษ์. (2554). ผลกระทบของการเติมสารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่อ สมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7. หาดกระเจา จังหวัดภูเก็ต.
- กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย และคณะ. (2551). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ การใช้ น้ำมันสบู่อัดกับ เครื่องยนต์รอบต่ำ. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน : กรุงเทพมหานคร.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). สถานการณ์น้ำมันปาล์มดิบซึ่งเป็น วัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลของประเทศไทย. กระทรวงพลังงาน.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). กระทรวงพลังงานเร่งแก้ปัญหาปาล์ม น้ำมันผันผวน. กระทรวงพลังงาน.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงาน ทางเลือก 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 ในลักษณะทางอิมัลชันของ การผสมน้ำมันดีเซลกับเอทานอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและ ปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทวิช จิตรสมบูรณ์. (2544). โอกาสและปัญหาจากการใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซลในประเทศไทย. เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15. เล่มที่ 1. หน้า 20–29 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพมหานคร.
- สมรัฐ เกิดสุวรรณ. (2549). การเผาไหม้และการควบคุมมลพิษ. ปทุมธานี: สำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- สุภัทรา มั่นสกุล และ พิศมัย เจนวนิชปัญญกุล. (2524). แนวคิดและความก้าวหน้าของการใช้น้ำมันพืชเป็นพลังงานทดแทนกับเครื่องยนต์ดีเซล. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. ฉบับที่ 14. หน้า 157-163. กรุงเทพมหานคร.
- สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา. (2544). ผลกระทบของการใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืชต่อเครื่องยนต์และมลพิษทางอากาศ. เอกสารการประชุมระดมความคิดเรื่องแนวทางการวิจัยและพัฒนาไบโอดีเซลไปสู่เชิงพาณิชย์. 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 Verhe', 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.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- 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. Predojevic'. (2008). The production of biodiesel from waste frying oil : A comparison of different purification steps. **Fuel**, Vol. 87, pp. 3522 – 3528.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลอง และตัวอย่างการคำนวณอัตราการผลิตเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1 สัดส่วนในการผสมน้ำมันประเภทต่างๆ (โดยผสมที่ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร)

ประเภทน้ำมัน	สัดส่วน (มิลลิลิตร)			
	น้ำมันดีเซล	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

หมายเหตุ : R-B100 คือ น้ำมันไบโอดีเซล B100 ที่ผ่านกระบวนการกลั่นซ้ำ และการผสม ZnO เข้ากับน้ำมันจะใช้เครื่องมือ Ultrasonic Shaker ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองการวัดความหนืดของน้ำมันดีเซล และน้ำมันปาล์มดิบ

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	เวลา (s)	ความหนืด (cSt)
Diesel	1	14	3.619
	2	14	
	3	14	
	เฉลี่ย	14.00	
Palm Oil	1	150	38.97
	2	151	
	3	151	
	เฉลี่ย	150.67	

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองการวัดความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์ม (B100) ที่ผสมกับน้ำมัน
ดีเซลในสัดส่วนต่างๆ

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	เวลา (s)	ความหนืด (cSt)
B10	1	15	3.878
	2	15	
	3	16	
	เฉลี่ย	15.33	
B20	1	16	4.136
	2	16	
	3	16	
	เฉลี่ย	16.00	
B30	1	18	4.653
	2	18	
	3	18	
	เฉลี่ย	18.00	
B40	1	18	4.653
	2	18	
	3	18	
	เฉลี่ย	18.00	
B500	1	18	6.204
	2	18	
	3	18	
	เฉลี่ย	18.00	
B100	1	31	8.013
	2	31	
	3	31	
	เฉลี่ย	31.00	

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองการวัดความหนืดของ B100 + ZnO 0.05 g.

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	เวลา (s)	ความหนืด (cSt)
B10 + ZnO	1	15	3.910
	2	16	
	3	16	
	เฉลี่ย	15.67	
B20 + ZnO	1	16	4.157
	2	16	
	3	17	
	เฉลี่ย	16.33	
B30 + ZnO	1	18	4.668
	2	18	
	3	19	
	เฉลี่ย	18.33	
B40 + ZnO	1	18	4.741
	2	19	
	3	19	
	เฉลี่ย	18.67	
B50 + ZnO	1	25	6.248
	2	24	
	3	24	
	เฉลี่ย	24.33	
B100 + ZnO	1	31	8.054
	2	31	
	3	32	
	เฉลี่ย	31.33	

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองการวัดความหนืดของ R – B100

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	เวลา (s)	ความหนืด (cSt)
R – B10	1	14	3.619
	2	14	
	3	14	
	เฉลี่ย	14.00	
R – B20	1	16	4.136
	2	16	
	3	16	
	เฉลี่ย	16.00	
R – B30	1	17	4.395
	2	17	
	3	18	
	เฉลี่ย	17.33	
R – B40	1	17	4.395
	2	17	
	3	18	
	เฉลี่ย	17.33	
R – B50	1	17	4.555
	2	18	
	3	18	
	เฉลี่ย	17.67	
R – B100	1	19	4.912
	2	19	
	3	20	
	เฉลี่ย	19.33	

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองการวัดความหนืดของ R-B100 + ZnO 0.05 g.

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	เวลา (s)	ความหนืด (cSt)
R – B10 +ZnO	1	14	3.651
	2	14	
	3	15	
	เฉลี่ย	14.33	
R – B20 +ZnO	1	16	4.157
	2	16	
	3	17	
	เฉลี่ย	16.33	
R – B30 +ZnO	1	17	4.410
	2	17	
	3	19	
	เฉลี่ย	17.67	
R – B40 +ZnO	1	17	4.483
	2	17	
	3	18	
	เฉลี่ย	17.33	
R – B50 +ZnO	1	17	4.591
	2	18	
	3	18	
	เฉลี่ย	17.67	
R – B100 +ZnO	1	19	4.953
	2	20	
	3	20	
	เฉลี่ย	19.67	

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองการวัดความถ่วงจำเพาะ และความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	เวลา (s)	ความถ่วงจำเพาะ	ความหนาแน่น (kg/m^3)
Diesel	1	0.810	0.810	809.25
	2	0.810		
	3	0.810		
	เฉลี่ย	0.810		

ค่าความหนาแน่นสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{ความหนาแน่นของสารที่ } 15.6^{\circ}\text{C}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำที่ } 15.6^{\circ}\text{C}}$$

หรือจะได้ว่า

$$\text{ความหนาแน่นของสารที่ } 15.6^{\circ}\text{C} = \text{ความถ่วงจำเพาะ} \times \text{ความหนาแน่นของน้ำที่ } 15.6^{\circ}\text{C}$$

เมื่อความหนาแน่นของน้ำที่ 15.6°C มีค่าเท่ากับ 999.07 kg/m^3 และเมื่อทราบค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันตัวอย่าง

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองการวัดความถ่วงจำเพาะ และความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์ม
ที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	เวลา (s)	ความถ่วงจำเพาะ	ความหนาแน่น (kg/m^3)
B10	1	0.820	0.820	819.24
	2	0.820		
	3	0.820		
	เฉลี่ย	0.820		
B20	1	0.825	0.825	824.23
	2	0.825		
	3	0.825		
	เฉลี่ย	0.825		
B30	1	0.830	0.830	829.23
	2	0.830		
	3	0.830		
	เฉลี่ย	0.830		
B40	1	0.835	0.835	834.22
	2	0.835		
	3	0.835		
	เฉลี่ย	0.835		
B50	1	0.850	0.850	849.21
	2	0.850		
	3	0.850		
	เฉลี่ย	0.850		
B100	1	0.875	0.875	874.19
	2	0.875		
	3	0.875		
	เฉลี่ย	0.875		

ตารางที่ ก.9 ผลการทดลองการวัดความถ่วงจำเพาะ และความหนาแน่นของ B100 + ZnO 0.05 g.

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	เวลา (s)	ความถ่วงจำเพาะ	ความหนาแน่น (kg/m ³)
B10 + ZnO	1	0.825	0.825	824.33
	2	0.825		
	3	0.825		
	เฉลี่ย	0.825		
B20 + ZnO	1	0.830	0.830	829.23
	2	0.830		
	3	0.830		
	เฉลี่ย	0.830		
B30 + ZnO	1	0.835	0.835	834.22
	2	0.835		
	3	0.835		
	เฉลี่ย	0.835		
B40 + ZnO	1	0.840	0.840	839.22
	2	0.840		
	3	0.840		
	เฉลี่ย	0.840		
B50 + ZnO	1	0.855	0.855	854.20
	2	0.855		
	3	0.855		
	เฉลี่ย	0.855		
B100 + ZnO	1	0.875	0.875	874.19
	2	0.875		
	3	0.875		
	เฉลี่ย	0.875		

ตารางที่ ก.10 ผลการทดลองการวัดความถ่วงจำเพาะ และความหนาแน่นของ R - B100 ที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	เวลา (s)	ความถ่วงจำเพาะ	ความหนาแน่น (kg/m ³)
R - B10	1	0.820	0.820	819.24
	2	0.820		
	3	0.820		
	เฉลี่ย	0.820		
R - B20	1	0.825	0.825	824.33
	2	0.825		
	3	0.825		
	เฉลี่ย	0.825		
R - B30	1	0.830	0.830	829.23
	2	0.830		
	3	0.830		
	เฉลี่ย	0.830		
R - B40	1	0.835	0.835	834.22
	2	0.835		
	3	0.835		
	เฉลี่ย	0.835		
R - B50	1	0.850	0.850	849.21
	2	0.850		
	3	0.850		
	เฉลี่ย	0.850		
R - B100	1	0.870	0.870	869.19
	2	0.870		
	3	0.870		
	เฉลี่ย	0.870		

ตารางที่ ก.11 ผลการทดลองการวัดความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของ R-B100 + ZnO 0.05 g.

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	เวลา (s)	ความถ่วงจำเพาะ	ความหนาแน่น (kg/m^3)
R - B10 + ZnO	1	0.825	0.825	824.23
	2	0.825		
	3	0.825		
	เฉลี่ย	0.825		
R - B20 + ZnO	1	0.830	0.830	829.23
	2	0.830		
	3	0.830		
	เฉลี่ย	0.830		
R - B30 + ZnO	1	0.835	0.835	834.22
	2	0.835		
	3	0.835		
	เฉลี่ย	0.835		
R - B40 + ZnO	1	0.840	0.840	839.22
	2	0.840		
	3	0.840		
	เฉลี่ย	0.840		
R - B50 + ZnO	1	0.855	0.855	854.20
	2	0.855		
	3	0.855		
	เฉลี่ย	0.855		
R - B100 + ZnO	1	0.875	0.875	874.19
	2	0.875		
	3	0.875		
	เฉลี่ย	0.875		

ตารางที่ ก.12 ผลการวัดอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซล

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	อุณหภูมิ (C)	อุณหภูมิ (C)
Diesel	1	300	300
	2	300	
	3	300	
	เฉลี่ย	300	



ตารางที่ ก.13 ผลการวัดอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซล
ปาล์ม (B100) ที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	อุณหภูมิ (C)	อุณหภูมิ (C)
B10	1	304	304
	2	302	
	3	306	
	เฉลี่ย	304	
B20	1	308	308
	2	310	
	3	306	
	เฉลี่ย	308	
B30	1	318	318
	2	318	
	3	318	
	เฉลี่ย	318	
B40	1	322	322
	2	324	
	3	320	
	เฉลี่ย	322	
B50	1	324	324
	2	326	
	3	322	
	เฉลี่ย	324	
B100	1	328	328
	2	330	
	3	326	
	เฉลี่ย	328	

ตารางที่ ก.14 ผลการวัดอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของน้ำมันเชื้อเพลิงของ B100 + ZnO 0.05 g.

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	อุณหภูมิ (C)	อุณหภูมิ (C)
B10 + ZnO	1	306	306
	2	304	
	3	308	
	เฉลี่ย	306	
B20 + ZnO	1	308	308
	2	310	
	3	306	
	เฉลี่ย	308	
B30 + ZnO	1	318	318
	2	320	
	3	316	
	เฉลี่ย	318	
B40 + ZnO	1	322	322
	2	322	
	3	322	
	เฉลี่ย	322	
B50 + ZnO	1	324	324
	2	322	
	3	326	
	เฉลี่ย	324	
B100 + ZnO	1	328	328
	2	326	
	3	330	
	เฉลี่ย	328	

ตารางที่ ก.15 ผลการวัดอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของน้ำมันเชื้อเพลิงของ R - B100

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	อุณหภูมิ (C)	อุณหภูมิ (C)
R - B10	1	308	308
	2	310	
	3	306	
	เฉลี่ย	308	
R - B20	1	310	310
	2	312	
	3	308	
	เฉลี่ย	310	
R - B30	1	320	320
	2	320	
	3	320	
	เฉลี่ย	320	
R - B40	1	324	324
	2	322	
	3	326	
	เฉลี่ย	324	
R - B50	1	326	326
	2	324	
	3	328	
	เฉลี่ย	326	
R - B100	1	330	330
	2	328	
	3	332	
	เฉลี่ย	330	

ตารางที่ ก.16 ผลการวัดอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของน้ำมันเชื้อเพลิงของ R-B100+ZnO 0.05 g.

ชนิดเชื้อเพลิง	ครั้งที่	อุณหภูมิ (C)	อุณหภูมิ (C)
R - B10 + ZnO	1	308	308
	2	308	
	3	308	
	เฉลี่ย	308	
R - B20 + ZnO	1	312	312
	2	314	
	3	310	
	เฉลี่ย	312	
R - B30 + ZnO	1	320	320
	2	318	
	3	322	
	เฉลี่ย	320	
R - B40 + ZnO	1	326	326
	2	328	
	3	324	
	เฉลี่ย	326	
R - B50 + ZnO	1	326	326
	2	326	
	3	326	
	เฉลี่ย	326	
R - B100 + ZnO	1	332	332
	2	334	
	3	330	
	เฉลี่ย	332	

ตารางที่ ก.17 ผลการทดลองการวัดค่าความร้อนเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

ชนิดเชื้อเพลิง	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (MJ/kg)
Diesel	45.424
B10	44.224
B20	44.186
B30	43.559
B40	42.648
B50	42.290
B100	38.592
B10 + ZnO	44.224
B20 + ZnO	44.186
B30 + ZnO	43.559
B40 + ZnO	42.648
B50 + ZnO	42.290
B100 + ZnO	38.592
R – B10	44.224
R – B20	44.186
R – B30	43.559
R – B40	42.648
R – B50	42.290
R – B100	39.592
R – B10 + ZnO	44.224
R – B20 + ZnO	44.186
R – B30 + ZnO	43.559
R – B40 + ZnO	42.648
R – B50 + ZnO	42.290
R – B100 + ZnO	38.592

ตารางที่ ก.18 ผลการทดสอบค่าดัชนีซีเทน

ชนิดเชื้อเพลิง	S.G.	API	Distillation @ 50% Recovered		Cetane Index
			Distillation (°C)	Distillation (°F)	
Diesel	0.810	43.19	300.00	572.00	67.47
B10	0.820	41.06	304.00	579.20	63.97
B10 + ZnO	0.825	40.02	306.00	582.80	62.29
R-B10	0.820	41.06	308.00	586.40	64.42
R-B10 + ZnO	0.825	40.02	308.00	586.40	62.51
B20	0.825	40.02	308.00	586.40	62.51
B20 + ZnO	0.830	38.98	308.00	586.40	60.65
R-B20	0.825	40.02	310.00	590.00	62.72
R-B20 + ZnO	0.830	38.98	312.00	593.60	61.06
B30	0.830	38.98	318.00	604.40	61.61
B30 + ZnO	0.835	37.96	318.00	604.40	59.81
R-B30	0.830	38.98	320.00	608.00	61.77
R-B30 + ZnO	0.835	37.96	320.00	608.00	59.97
B40	0.835	37.96	322.00	611.60	60.12
B40 + ZnO	0.840	36.95	322.00	611.60	58.37
R-B40	0.835	37.96	324.00	615.20	60.27
R-B40 + ZnO	0.840	36.95	326.00	618.80	58.65
B50	0.850	34.97	324.00	615.20	55.18
B50 + ZnO	0.855	34.00	324.00	615.20	53.58
R-B50	0.850	34.97	326.00	618.80	55.31
R-B50 + ZnO	0.855	34.00	326.00	618.80	53.71
B100	0.875	30.21	328.00	622.40	47.92
B100 + ZnO	0.875	30.21	328.00	622.40	47.92
R-B100	0.870	31.14	330.00	626.00	49.44
R-B100 + ZnO	0.875	30.21	332.00	629.60	48.13

ตารางที่ ก.19 ผลการทดลองการวัดการปล่อยมลพิษของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

มลพิษ			NO _x	HC	CO	CO ₂
ชนิดเชื้อเพลิง	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (RPM)	ครั้งที่	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(%Vol.)
Diesel	2500	1	120	45	3551	3.79
		2	118	43	3544	3.87
		3	119	46	3545	3.83
		เฉลี่ย	119	44	3546	3.83
	3000	1	131	59	3468	4.47
		2	127	57	3465	4.45
		3	129	57	3467	4.47
		เฉลี่ย	129	57	3466	4.46
Palm Oil	2500	1	349	179	7122	9.70
		2	351	177	7119	9.65
		3	350	174	7121	9.64
		เฉลี่ย	350	176	7120	9.66
	3000	1	362	202	6978	10.65
		2	361	200	6976	10.63
		3	361	204	6980	10.68
		เฉลี่ย	361	202	6978	10.65
B100	2500	1	145	70	2695	6.22
		2	143	71	2689	6.25
		3	147	67	2692	6.10
		เฉลี่ย	145	69	2692	6.19
	3000	1	155	90	2526	6.57
		2	157	87	2521	6.60
		3	152	89	2524	6.49
		เฉลี่ย	155	88	2523	6.55

ตารางที่ ก.19 ผลการทดลองการวัดการปล่อยมลพิษของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ (ต่อ)

มลพิษ			NO _x	HC	CO	CO ₂
ชนิดเชื้อเพลิง	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (RPM)	ครั้งที่	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(%Vol.)
B100 + ZnO	2500	1	65	2640	6.35	65
		2	62	2643	6.33	62
		3	61	2645	6.34	61
		เฉลี่ย	62	2642	6.34	62
	3000	1	87	2490	6.82	87
		2	88	2487	6.79	88
		3	84	2489	6.80	84
		เฉลี่ย	86	2488	6.80	86
R - B100	2500	1	56	1395	7.22	56
		2	57	1387	7.30	57
		3	56	1390	7.18	56
		เฉลี่ย	56	1390	7.23	56
	3000	1	63	1360	8.02	63
		2	65	1353	7.99	65
		3	61	1357	8.10	61
		เฉลี่ย	63	1356	8.04	63
R-B100 + ZnO	2500	1	54	1380	8.79	54
		2	56	1376	8.77	56
		3	51	1379	8.69	51
		เฉลี่ย	53	1378	8.75	53
	3000	1	61	1340	8.97	61
		2	62	1347	8.95	62
		3	60	1345	8.90	60
		เฉลี่ย	61	1344	8.94	61

ตารางที่ ก.20 ผลการทดลองการวัดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ชนิดเชื้อเพลิง	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (RPM)	ครั้งที่	น้ำหนัก เชื้อเพลิง (g)	อัตราการไหลมวล เชื้อเพลิง(g/s)
Diesel	2500	1	12.50	0.2044
		2	12.10	
		3	12.20	
		เฉลี่ย	12.27	
	3000	1	14.70	0.2494
		2	14.90	
		3	15.30	
		เฉลี่ย	14.97	
Palm Oil	2500	1	28.10	0.4550
		2	26.70	
		3	27.10	
		เฉลี่ย	27.30	
	3000	1	31.20	0.5017
		2	29.70	
		3	29.40	
		เฉลี่ย	30.10	
B100	2500	1	19.70	0.3244
		2	19.50	
		3	19.20	
		เฉลี่ย	19.47	
	3000	1	21.30	0.6561
		2	21.90	
		3	20.90	
		เฉลี่ย	21.37	

ตารางที่ ก.20 ผลการทดลองการวัดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ (ต่อ)

ชนิดเชื้อเพลิง	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (RPM)	ครั้งที่	น้ำหนัก เชื้อเพลิง (g)	อัตราการไหลมวล เชื้อเพลิง(g/s)
B100 + ZnO	2500	1	19.10	0.3283
		2	20.30	
		3	19.70	
		เฉลี่ย	19.70	
	3000	1	21.50	0.3589
		2	21.70	
		3	21.40	
		เฉลี่ย	21.53	
R – B100	2500	1	14.30	0.2350
		2	14.10	
		3	13.90	
		เฉลี่ย	14.10	
	3000	1	18.10	0.3011
		2	17.80	
		3	18.30	
		เฉลี่ย	18.07	
R-B100 + ZnO	2500	1	14.20	0.2356
		2	13.80	
		3	14.40	
		เฉลี่ย	14.13	
	3000	1	18.50	0.3017
		2	18.10	
		3	17.70	
		เฉลี่ย	18.10	

ตัวอย่างการคำนวณอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

การคำนวณออกมาเป็นอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกได้จากสมการต่อไปนี้ คือ

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \quad (1.1ก)$$

โดยที่ $bsfc$ คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก หน่วยเป็น (kg/kW-hr)

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

P_b คือ กำลังเบรก หน่วยเป็น Watt (W)

$$P_b = 2\rho NT \quad (1.2ก)$$

โดยที่ P_b คือ กำลังเบรก หน่วยเป็น Watt (W)

T คือ แรงบิด หน่วยเป็น (N-m)

N คือ รอบการหมุนของเพลาช้อเหวี่ยง หน่วยเป็น (RPM)

ในกรณีกำหนดให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 รอบ/นาที ($N = 2,500$ RPM) ภายใต้ภาระกระทำเท่ากับ 6 นิวตันเมตร ($T = 6$ N-m)

$\dot{m}_f = 0.2044$ g/s จะได้ว่า

$$P_b = 2\rho (2500)(6) = 94,248 \text{ W}$$

ดังนั้น อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ($bsfc$) มีค่าเท่ากับ

$$bsfc = \frac{0.2044 \times 3,600 \times 60}{94,248} = 0.4686 \text{ kg / kW.hr}$$

ในกรณีกำหนดให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 3,000 รอบ/นาที ($N = 3,000$ RPM) ภายใต้ภาระกระทำเท่ากับ 6 นิวตันเมตร ($T = 6$ N-m)

$\dot{m}_f = 0.2494$ g/s จะได้ว่า

$$P_b = 2\rho(3000)(6) = 113,097 \text{ W}$$

ดังนั้น อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (*bsfc*) มีค่าเท่ากับ

$$bsfc = \frac{0.2494 \times 3,600 \times 60}{113,097} = 0.4760 \text{ kg / kW.hr}$$





ภาคผนวก ข

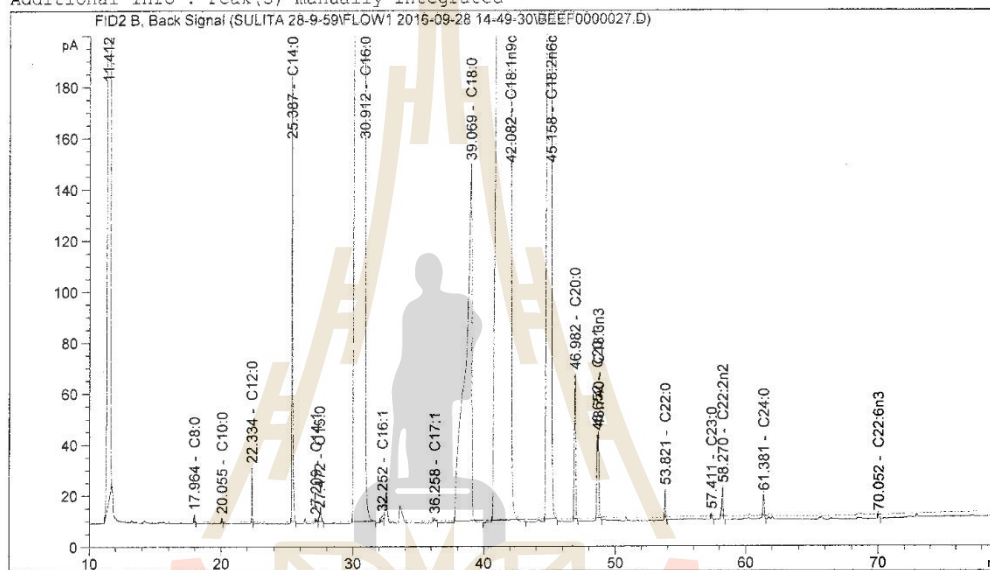
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Data File C:\CHEM32\1\DATA\SULITA 28-9-59\FLOW1 2016-09-28 14-49-30\BEEF0000027.D
 Sample Name: Befor-10x

```

=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line : 27
Acq. Instrument : 7890 GC                     Location  : Vial 26
Injection Date  : 9/30/2016 4:18:26 AM       Inj       : 1
                                                Inj Volume: 1 µl
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\SULITA 28-9-59\FLOW1 2016-09-28 14-49-30\FAMEJARUNAN_
                                                Fl.M
Last changed   : 9/28/2016 2:49:30 PM by SYSTEM
Analysis Method : C:\CHEM32\1\METHODS\FAMEJARUNAN_F120160930-CLA.M
Last changed   : 10/4/2016 10:58:40 AM by SYSTEM
                (modified after loading)
Additional Info : Peak(s) manually integrated
=====
  
```



External Standard Report

```

Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : Tuesday, October 04, 2016 10:58:40 AM
Multiplier    : 1.0000
Dilution      : 10.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
  
```

Signal 1: FID2 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [ug/ul]	Grp	Name
13.618	-	-	-	-	-	C4:0
15.922	-	-	-	-	-	C6:0
17.964	BB	12.60115	5.54989e-4	6.99350e-2	-	C8:0
20.055	BB	6.26982	5.21068e-4	3.26700e-2	-	C10:0
21.128	-	-	-	-	-	C11:0
22.334	BB	69.53970	4.99053e-4	3.47040e-1	-	C12:0
23.738	-	-	-	-	-	C13:0
25.387	BB	868.27600	4.87081e-4	4.22921	-	C14:0
27.209	BB	11.10416	5.08673e-4	5.64839e-2	-	C14:1

Data File C:\CHEM32\1\DATA\SULITA 28-9-59\FLOW1 2016-09-28 14-49-30\BEEF0000027.D
 Sample Name: Befor-10x

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [ug/ul]	Grp	Name
27.472	BB	46.14619	4.94414e-4	2.28153e-1		C15:0
29.453		-	-	-		C15:1
30.912	BB	4.56609e4	4.80493e-4	219.39707		C16:0
32.252	BV	26.68984	5.01175e-4	1.33763e-1		C16:1
36.258	BB	19.44846	4.98136e-4	9.68798e-2		C17:1
39.069	BB	4727.64453	4.73827e-4	22.40083		C18:0
39.844		-	-	-		C18:1n9t
42.082	BB	3.98582e4	4.79068e-4	190.94791		C18:1n9c
42.841		-	-	-		C18:2n6t
45.158	BB	9450.99707	5.35114e-4	50.57360		C18:2n6c
46.982	BB	372.40366	4.55617e-4	1.69674		C20:0
47.153		-	-	-		C18:3n6
48.652	BV	205.50864	5.72847e-4	1.17725		C20:1
48.740	VB	188.23305	4.75735e-4	8.95491e-1		C18:3n3
50.261		-	-	-		C21:0
51.561		-	-	-		C20:2
53.000		-	-	-		C20:3n6
53.821	BB	61.13125	4.90501e-4	2.99849e-1		C22:0
55.157		-	-	-		C22:1n9
55.456		-	-	-		C20:4n6
55.700		-	-	-		C20:3n3
57.411	BB	12.70722	4.82441e-4	6.13048e-2		C23:0
58.270	BB	86.07915	5.50675e-4	4.74017e-1		C22:2n2
59.717		-	-	-		C20:5n3
61.381	BB	59.13334	4.67838e-4	2.76648e-1		C24:0
63.544		-	-	-		C24:1
70.052	BB	8.29707	8.40621e-4	6.97469e-2		C22:6n3
Totals :				493.46459		

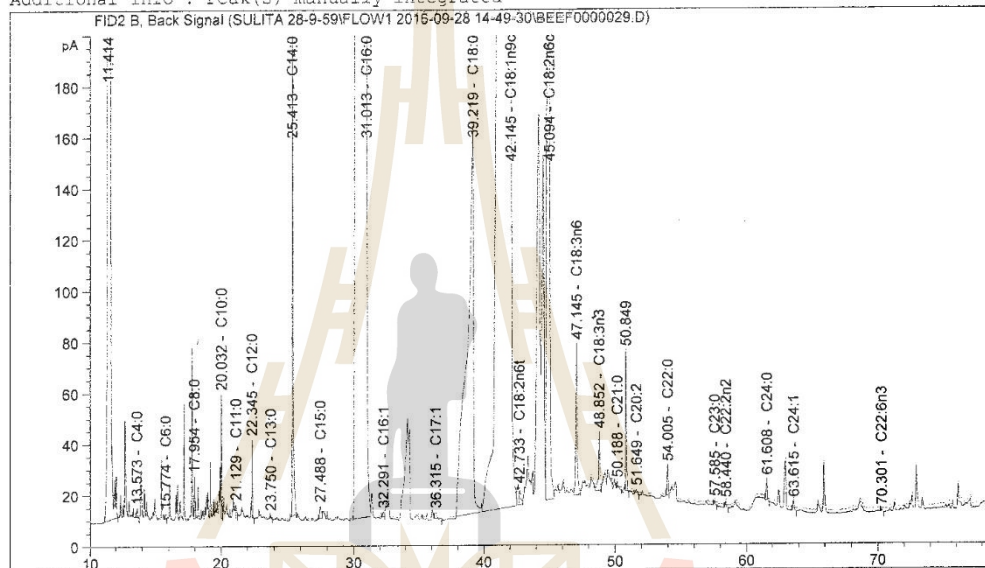
2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)
 Warning : Calibrated compound(s) not found

*** End of Report ***

Data File C:\CHEM32\1\DATA\SULITA 28-9-59\FLOW1 2016-09-28 14-49-30\BEEF0000029.D
 Sample Name: After-10x

```
=====
Acq. Operator   : SYSTEM                      Seq. Line : 29
Acq. Instrument : 7890 GC                     Location  : Vial 28
Injection Date  : 9/30/2016 7:11:22 AM       Inj       : 1
                                                Inj Volume: 1 µl
Acq. Method    : C:\CHEM32\1\DATA\SULITA 28-9-59\FLOW1 2016-09-28 14-49-30\FAMEJARUNAN_
                                                F1.M
Last changed   : 9/28/2016 2:49:30 PM by SYSTEM
Analysis Method: C:\CHEM32\1\METHODS\FAMEJARUNAN_F120160930-CLA.M
Last changed   : 10/4/2016 11:06:48 AM by SYSTEM
                                                (modified after loading)
Additional Info : Peak(s) manually integrated
=====
```



External Standard Report

```
Sorted By      : Signal
Calib. Data Modified : 10/4/2016 11:06:37 AM
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 10.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
```

Signal 1: FID2 B, Back Signal

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [ug/ui]	Grp	Name
13.573	VB	15.86976	7.48322e-4	1.18757e-1	C4:0	
15.774	BV	12.72124	6.20998e-4	7.89987e-2	C6:0	
17.954	VV	67.83075	5.54989e-4	3.76453e-1	C8:0	
20.032	VV	158.05679	5.21068e-4	8.23584e-1	C10:0	
21.129	VV	33.47697	5.16691e-4	1.72972e-1	C11:0	
22.345	VB	101.36736	4.99053e-4	5.05877e-1	C12:0	
23.750	VB	4.69145	5.05005e-4	2.36921e-2	C13:0	
25.413	BB	1026.04321	4.87081e-4	4.99767	C14:0	
27.209		-	-	-	C14:1	

Data File C:\CHEM32\1\DATA\SULITA 28-9-59\FLOW1 2016-09-28 14-49-30\BEEF0000029.D
 Sample Name: After-10x

RetTime [min]	Type	Area [pA*s]	Amt/Area	Amount [ug/ul]	Grp	Name
27.468	BV	47.61966	4.94414e-4	2.35438e-1		C15:0
29.453		-	-	-		C15:1
31.013	BV	5.05958e4	4.80493e-4	243.10922		C16:0
32.291	BV	24.82445	5.01175e-4	1.24414e-1		C16:1
36.315	VB	33.03456	4.96136e-4	1.64558e-1		C17:1
39.219	BV	5235.09766	4.73827e-4	24.80528		C18:0
39.844		-	-	-		C18:1n9t
42.145	VV	4.02643e4	4.79068e-4	192.89340		C18:1n9c
42.733	VV	105.62247	5.28208e-4	5.57906e-1		C18:2n6t
45.094	VV	4046.96753	5.35114e-4	21.65589		C18:2n6c
46.982		-	-	-		C20:0
47.145	VB	485.94424	5.94312e-4	2.88803		C18:3n6
48.500		-	-	-		C20:1
48.852	VV	197.37640	4.75735e-4	9.38989e-1		C18:3n3
50.188	VB	23.04576	4.68610e-4	1.07995e-1		C21:0
51.649	VV	20.45747	5.34937e-4	1.09435e-1		C20:2
53.000		-	-	-		C20:3n6
54.005	BV	82.35313	4.90501e-4	4.03943e-1		C22:0
55.157		-	-	-		C22:1n9
55.456		-	-	-		C20:4n6
55.700		-	-	-		C20:3n3
57.585	BB	11.82549	4.82441e-4	5.70510e-2		C23:0
58.440	BB	15.45056	5.50675e-4	8.50824e-2		C22:2n2
59.717		-	-	-		C20:5n3
61.608	BB	75.28589	4.67838e-4	3.52216e-1		C24:0
63.615	BB	26.92037	4.74822e-4	1.27824e-1		C24:1
70.301	BB	5.89533	8.40621e-4	4.95574e-2		C22:6n3
Totals :				495.76422		

2 Warnings or Errors :

Warning : Calibration warnings (see calibration table listing)
 Warning : Calibrated compound(s) not found

*** End of Report ***

ตารางที่ ข.1 องค์ประกอบหลักของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ B100 และ R – B100

No. of Carbon	Acid Name	Peak Area (mg.s)	
		B100	R - 100
C12 : 0	Lauric Acid	69.54	101.37
C14 : 0	Myristic Acid	868.28	1026.04
C16 : 0	Palmitic Acid	45660.90	50595.80
C18 : 0	Stearic Acid	4727.64	5235.10
C18 : 1	Oleic Acid	39858.20	40264.30
C18 : 2	Linoleic Acid	9451.00	4046.97

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความบริสุทธิ์ หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

ความบริสุทธิ์ หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) และน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการกลั่น (R - B100) สามารถหาได้จากสมการ

$$C = \frac{\sum A - (AEI)}{AEI} \times \frac{CEI \times VEI}{m} \times 100\% \quad (1.1ข)$$

- โดย C คือ ความบริสุทธิ์ หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ หน่วยเป็น (%wt)
 $\sum A$ คือ พื้นที่ใต้กราฟขององค์ประกอบทั้งหมด (C_{12:0} ถึง C_{20:0}) หน่วยเป็น (mg.s)
 AEI คือ พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายเมทิล-เฮปทาดีเค โนเอต (mg.s)
 CEI คือ ความเข้มข้นของสารละลายเมทิล-เฮปทาดีเค โนเอต (mg/mL)
 VEI คือ ปริมาตรของสารละลายเมทิล-เฮปทาดีเค โนเอต (mL)
 M คือ มวลหรือน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงตัวอย่าง หน่วยเป็น (mg)

โดยในกรณีการหาค่าความบริสุทธิ์ หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) นั้น

$$\begin{aligned} \sum A &= 101,751.31 \text{ mg.s} \\ AEI &= 1,224,620.00 \text{ mg.s} \end{aligned}$$

$$CEI = 493.46 \text{ mg/mL}$$

$$VEI = 1.00 \text{ mL}$$

$$M = 490.92 \text{ mg}$$

ดังนั้น ค่าความบริสุทธิ์หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) มีค่าเท่ากับ

$$C = \frac{(101,751.31) - (1,224,620)}{1,224,620} \times \frac{(493.46) - (1.00)}{490.92} \times 100 = 92.17\%$$

ในกรณีเดียวกัน การหาค่าความบริสุทธิ์ หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (R - 100) นั้น

$$\sum A = 102,717.88 \text{ mg.s}$$

$$AEI = 1,232,320.00 \text{ mg.s}$$

$$CEI = 495.76 \text{ mg/mL}$$

$$VEI = 1.00 \text{ mL}$$

$$M = 487.97 \text{ mg}$$

ดังนั้น ค่าความบริสุทธิ์หรือมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) ของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (B100) มีค่าเท่ากับ

$$C = \frac{(102,717.88) - (1,232,320)}{1,232,320} \times \frac{(495.76) - (1.00)}{487.97} \times 100 = 93.13\%$$



ภาคผนวก ค

คู่มือการใช้เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure ตามมาตรฐาน ASTM D86

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



Designation: D 86 – 05

An American National Standard

Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure¹

This standard is issued under the fixed designation D 86; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers the atmospheric distillation of petroleum products using a laboratory batch distillation unit to determine quantitatively the boiling range characteristics of such products as natural gasolines, light and middle distillates, automotive spark-ignition engine fuels, aviation gasolines, aviation turbine fuels, 1-D and 2-D regular and low sulfur diesel fuels, special petroleum spirits, naphthas, white spirits, kerosines, and Grades 1 and 2 burner fuels.

1.2 The test method is designed for the analysis of distillate fuels; it is not applicable to products containing appreciable quantities of residual material.

1.3 This test method covers both manual and automated instruments.

1.4 Unless otherwise noted, the values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are provided for information only.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 All standards are subject to revision, and parties to agreement on this test method are to apply the most recent edition of the standards indicated below, unless otherwise specified, such as in contractual agreements or regulatory rules where earlier versions of the method(s) identified may be required.

2.2 *ASTM Standards:*²

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D02 on Petroleum Products and Lubricants and is the direct responsibility of Subcommittee D02.08 on Volatility.

In the IP, the equivalent test method is published under the designation IP 123. It is under the jurisdiction of the Standardization Committee.

Current edition approved July 1, 2005. Published August 2005. Originally approved in 1921. Last previous edition approved in 2004 as D 86-04b.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

- D 97 Test Method for Pour Point of Petroleum Products
- D 323 Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method)
- D 2892 Test Method for Distillation of Crude Petroleum (15-Theoretical Plate Column)
- D 4057 Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products
- D 4177 Practice for Automatic Sampling of Petroleum and Petroleum Products
- D 4953 Test Method for Vapor Pressure of Gasoline and Gasoline-Oxygenate Blends (Dry Method)
- D 5190 Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Automatic Method)
- D 5191 Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Mini Method)
- D 5482 Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Mini Method-Atmospheric)
- D 5949 Test Method for Pour Point of Petroleum Products (Automatic Pressure Pulsing Method)
- D 5950 Test Method for Pour Point of Petroleum Products (Automatic Tilt Method)
- D 5985 Test Method for Pour Point of Petroleum Products (Rotational Method)
- E 1 Specification for ASTM Liquid-in-Glass Thermometers
- E 77 Test Method for Inspection and Verification of Thermometers
- E 1272 Specification for Laboratory Glass Graduated Cylinders
- E 1405 Specification for Laboratory Glass Distillation Flasks
- 2.3 *Energy Institute Standards:*³
- IP 69 Determination of Vapour Pressure—Reid Method
- IP 123 Petroleum Products—Determination of Distillation Characteristics
- IP 394 Determination of Air Saturated Vapour Pressure
- IP Standard Methods for Analysis and Testing of Petroleum and Related Products 1996—Appendix A

³ Available from the Energy Institute, 61 New Cavendish St., London, W1G 7AR, UK.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.


 D 86 – 05

TABLE 1 Preparation of Apparatus

	Group 0	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Flask, mL	100	125	125	125	125
ASTM distillation thermometer	7C (7F)	7C (7F)	7C (7F)	7C (7F)	8C (8F)
IP distillation thermometer range	low	low	low	low	high
Flask support board diameter of hole, mm	A	B	B	C	C
Flask support board diameter of hole, mm	32	38	38	50	50
Temperature at start of test					
Flask °C	0–5	13–18	13–18	13–18	not above
Flask °F	32–40	55–65	55–65	55–65	ambient
Flask support and shield	not above ambient	not above ambient	not above ambient	not above ambient	not above ambient
Receiving cylinder and 100 mL charge					
°C	0–5	13–18	13–18	13–18 ^a	13–ambient ^a
°F	32–40	55–65	55–65	55–65 ^a	55–ambient ^a

^a See 10.3.1.1 for exceptions.

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *charge volume, n*—the volume of the specimen, 100 mL, charged to the distillation flask at the temperature specified in Table 1.

3.1.2 *decomposition, n—of a hydrocarbon*, the pyrolysis or cracking of a molecule yielding smaller molecules with lower boiling points than the original molecule.

3.1.2.1 *Discussion*—Characteristic indications of thermal decomposition are evolution of fumes and erratic temperature readings that usually decrease after any attempt is made to adjust the heat.

3.1.3 *decomposition point, n*—the corrected thermometer reading that coincides with the first indications of thermal decomposition of the liquid in the flask.

3.1.3.1 *Discussion*—The decomposition point, as determined under the conditions of this test method, does not necessarily correspond to the decomposition temperature in other applications.

3.1.4 *dry point, n*—the corrected thermometer reading that is observed at the instant the last drop of liquid (exclusive of any drops or film of liquid on the side of the flask or on the temperature sensor), evaporates from the lowest point in the distillation flask.

3.1.4.1 *Discussion*—The end point (final boiling point), rather than the dry point, is intended for general use. The dry point can be reported in connection with special purpose naphthas, such as those used in the paint industry. Also, it is substituted for the end point (final boiling point) whenever the sample is of such a nature that the precision of the end point (final boiling point) cannot consistently meet the requirements given in the precision section.

3.1.5 *dynamic holdup, n*—the amount of material present in the neck of the flask, in the sidearm of the flask, and in the condenser tube during the distillation.

3.1.6 *emergent stem effect, n*—the offset in temperature reading caused by the use of total immersion mercury-in-glass thermometers in the partial immersion mode.

3.1.6.1 *Discussion*—In the partial immersion mode, a portion of the mercury thread, that is, the emergent portion, is at a lower temperature than the immersed portion, resulting in a shrinkage of the mercury thread and a lower temperature reading.

3.1.7 *end point (EP) or final boiling point (FBP), n*—the maximum corrected thermometer reading obtained during the test.

3.1.7.1 *Discussion*—This usually occurs after the evaporation of all liquid from the bottom of the flask. The term maximum temperature is a frequently used synonym.

3.1.8 *front end loss, n*—loss due to evaporation during transfer from receiving cylinder to distillation flask, vapor loss during the distillation, and uncondensed vapor in the flask at the end of the distillation.

3.1.9 *initial boiling point (IBP), n*—the corrected thermometer reading that is observed at the instant the first drop of condensate falls from the lower end of the condenser tube.

3.1.10 *percent evaporated, n*—the sum of the percent recovered and the percent loss.

3.1.11 *percent loss (or observed loss), n*—one hundred minus the percent total recovery.

3.1.11.1 *corrected loss, n*—percent loss corrected for barometric pressure.

3.1.12 *percent recovered, n*—the volume of condensate observed in the receiving cylinder, expressed as a percentage of the charge volume, associated with a simultaneous temperature reading.

3.1.13 *percent recovery, n*—the maximum percent recovered, as observed in accordance with 10.18.

3.1.13.1 *corrected percent recovery, n*—the percent recovery, adjusted for the difference between the observed loss and the corrected loss, as described in Eq 8.

3.1.13.2 *percent total recovery, n*—the combined percent recovery and residue in the flask, as determined in accordance with 11.1.

3.1.14 *percent residue, n*—the volume of residue in the flask, measured in accordance with 10.19, and expressed as a percentage of the charge volume.

3.1.15 *rate of change (or slope), n*—the change in temperature reading per percent evaporated or recovered, as described in 13.2.

3.1.16 *temperature lag, n*—the offset between the temperature reading obtained by a temperature sensing device and the true temperature at that time.

3.1.17 *temperature measurement device, n*—a thermometer, as described in 6.3.1, or a temperature sensor, as described in 6.3.2.

 D 86 – 05

3.1.18 *temperature reading, n*—the temperature obtained by a temperature measuring device or system that is equal to the thermometer reading described in 3.1.19.

3.1.18.1 *corrected temperature reading, n*—the temperature reading, as described in 3.1.18, corrected for barometric pressure.

3.1.19 *thermometer reading (or thermometer result), n*—the temperature of the saturated vapor measured in the neck of the flask below the vapor tube, as determined by the prescribed thermometer under the conditions of the test.

3.1.19.1 *corrected thermometer reading, n*—the thermometer reading, as described in 3.1.19, corrected for barometric pressure.

4. Summary of Test Method

4.1 Based on its composition, vapor pressure, expected IBP or expected EP, or combination thereof, the sample is placed in one of five groups. Apparatus arrangement, condenser temperature, and other operational variables are defined by the group in which the sample falls.

4.2 A 100-mL specimen of the sample is distilled under prescribed conditions for the group in which the sample falls. The distillation is performed in a laboratory batch distillation unit at ambient pressure under conditions that are designed to provide approximately one theoretical plate fractionation. Systematic observations of temperature readings and volumes of condensate are made, depending on the needs of the user of the data. The volume of the residue and the losses are also recorded.

4.3 At the conclusion of the distillation, the observed vapor temperatures can be corrected for barometric pressure and the data are examined for conformance to procedural requirements, such as distillation rates. The test is repeated if any specified condition has not been met.

4.4 Test results are commonly expressed as percent evaporated or percent recovered versus corresponding temperature, either in a table or graphically, as a plot of the distillation curve.

5. Significance and Use

5.1 The basic test method of determining the boiling range of a petroleum product by performing a simple batch distillation has been in use as long as the petroleum industry has existed. It is one of the oldest test methods under the jurisdiction of ASTM Committee D02, dating from the time when it was still referred to as the Engler distillation. Since the test method has been in use for such an extended period, a tremendous number of historical data bases exist for estimating end-use sensitivity on products and processes.

5.2 The distillation (volatility) characteristics of hydrocarbons have an important effect on their safety and performance, especially in the case of fuels and solvents. The boiling range gives information on the composition, the properties, and the behavior of the fuel during storage and use. Volatility is the major determinant of the tendency of a hydrocarbon mixture to produce potentially explosive vapors.

5.3 The distillation characteristics are critically important for both automotive and aviation gasolines, affecting starting, warm-up, and tendency to vapor lock at high operating

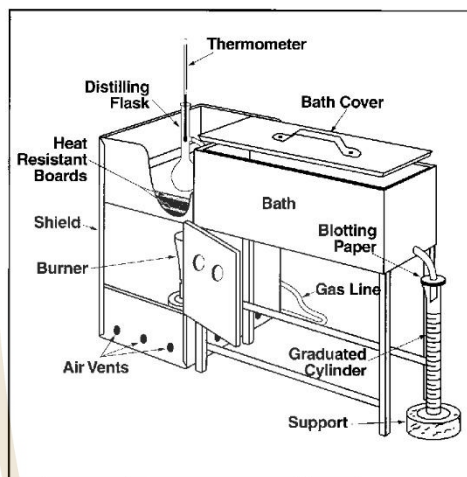


FIG. 1 Apparatus Assembly Using Gas Burner

temperature or at high altitude, or both. The presence of high boiling point components in these and other fuels can significantly affect the degree of formation of solid combustion deposits.

5.4 Volatility, as it affects rate of evaporation, is an important factor in the application of many solvents, particularly those used in paints.

5.5 Distillation limits are often included in petroleum product specifications, in commercial contract agreements, process refinery/control applications, and for compliance to regulatory rules.

6. Apparatus

6.1 Basic Components of the Apparatus:

6.1.1 The basic components of the distillation unit are the distillation flask, the condenser and associated cooling bath, a metal shield or enclosure for the distillation flask, the heat source, the flask support, the temperature measuring device, and the receiving cylinder to collect the distillate.

6.1.2 Figs. 1 and 2 are examples of manual distillation units.

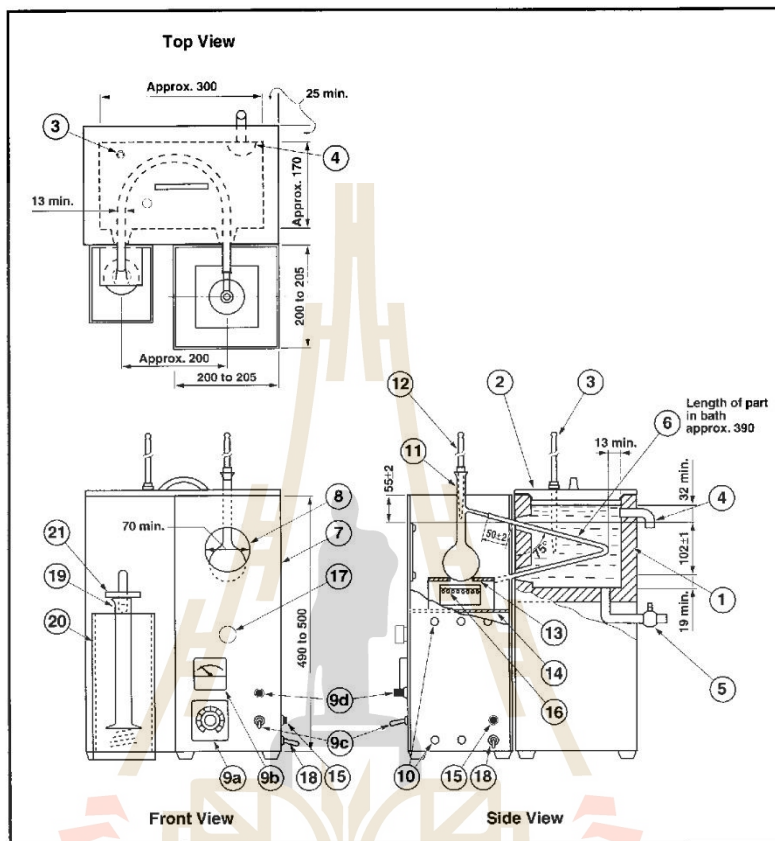
6.1.3 In addition to the basic components described in 6.1.1, automated units also are equipped with a system to measure and automatically record the temperature and the associated recovered volume in the receiving cylinder.

6.2 A detailed description of the apparatus is given in Annex A2.

6.3 Temperature Measuring Device:

6.3.1 Mercury-in-glass thermometers, if used, shall be filled with an inert gas, graduated on the stem and enamel backed. They shall conform to Specification E 1 or IP Standard Methods for Analysis and Testing of Petroleum and Related Products 1996, Appendix A, or both, for thermometers ASTM

D 86 - 05



- | | |
|---------------------------|---|
| 1-Condenser bath | 11-Distillation flask |
| 2-Bath cover | 12-Temperature sensor |
| 3-Bath temperature sensor | 13-Flask support board |
| 4-Bath overflow | 14-Flask support platform |
| 5-Bath drain | 15-Ground connection |
| 6-Condenser tube | 16-Electric heater |
| 7-Shield | 17-Knob for adjusting level of support platform |
| 8-Viewing window | 18-Power source cord |
| 9a-Voltage regulator | 19-Receiver cylinder |
| 9b-Voltmeter or ammeter | 20-Receiver cooling bath |
| 9c-Power switch | 21-Receiver cover |
| 9d-Power light indicator | |
| 10-Vent | |

FIG. 2 Apparatus Assembly Using Electric Heater

D 86 – 05

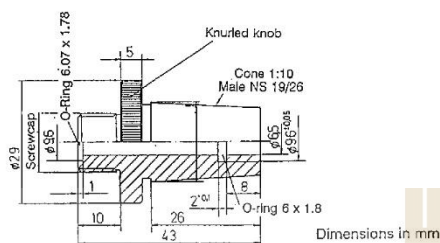


FIG. 3 PTFE Centering Device for Ground Glass Joint

7C/IP 5C and ASTM 7F for the low range thermometers, and ASTM 8C/IP 6C and ASTM 8F for the high range thermometers.

6.3.1.1 Thermometers that have been exposed for an extended period above an observed temperature of 370°C shall not be reused without a verification of the ice point or checked as prescribed in Specification E 1 and Test Method E 77.

NOTE 1—At an observed thermometer reading of 370°C, the temperature of the bulb is approaching a critical range in the glass and the thermometer may lose its calibration.

6.3.2 Temperature measurement systems other than those described in 6.3.1 are satisfactory for this test method, provided that they exhibit the same temperature lag, emergent stem effect, and accuracy as the equivalent mercury-in-glass thermometer.

6.3.2.1 The electronic circuitry or the algorithms, or both, used shall include the capability to simulate the temperature lag of a mercury-in-glass thermometer.

6.3.2.2 Alternatively, the sensor can also be placed in a casing with the tip of the sensor covered so that the assembly, because of its adjusted thermal mass and conductivity, has a temperature lag time similar to that of a mercury-in-glass thermometer.

NOTE 2—In a region where the temperature is changing rapidly during the distillation, the temperature lag of a thermometer can be as much as 3 seconds.

6.3.3 In case of dispute, the referee test method shall be carried out with the specified mercury-in-glass thermometer.

6.4 Temperature Sensor Centering Device:

6.4.1 The temperature sensor shall be mounted through a snug-fitting device designed for mechanically centering the sensor in the neck of the flask without vapor leakage. Examples of acceptable centering devices are shown in Figs. 3 and 4. (**Warning**—The use of a plain stopper with a hole drilled through the center is not acceptable for the purpose described in 6.4.1.)

NOTE 3—Other centering devices are also acceptable, as long as they position and hold the temperature sensing device in the proper position in the neck of the distillation column, as shown in Fig. 5 and described in 10.5.

NOTE 4—When running the test by the manual method, products with

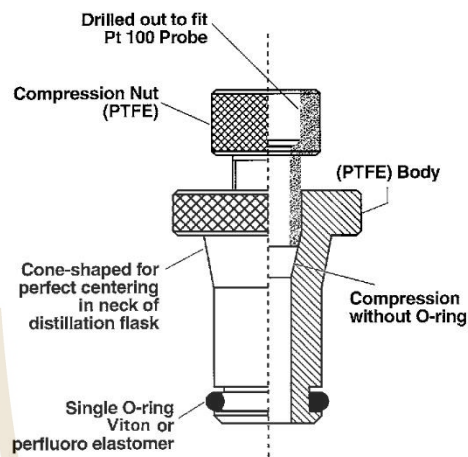


FIG. 4 Example of Centering Device Designs for Straight-Bore Neck Flasks

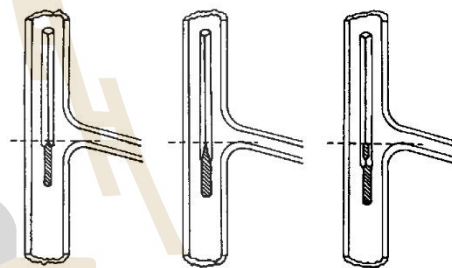


FIG. 5 Position of Thermometer in Distillation Flask

a low IBP may have one or more readings obscured by the centering device. See also 10.14.4.1.

6.5 Automated equipment manufactured in 1999 and later shall be equipped with a device to automatically shut down power to the unit and to spray an inert gas or vapor in the chamber where the distillation flask is mounted in the event of fire.

NOTE 5—Some causes of fires are breakage of the distillation flask, electrical shorts, and foaming and spilling of liquid sample through the top opening of the flask.

6.6 **Barometer**—A pressure measuring device capable of measuring local station pressure with an accuracy of 0.1 kPa (1 mm Hg) or better, at the same elevation relative to sea level as the apparatus in the laboratory. (**Warning**—Do not take readings from ordinary aneroid barometers, such as those used


 D 86 – 05

TABLE 2 Group Characteristics

	Group 0	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Sample characteristics					
Distillate type		natural			
		gasoline			
Vapor pressure at					
37.8°C, kPa		≥65.5	<65.5	<65.5	<65.5
100°F, psi		≥9.5	<9.5	<9.5	<9.5
(Test Methods D 923, D 4953, D 5190, D 5191, D 5482, IP 69 or IP 394)					
Distillation, IBP °C				≤100	>100
°F				≤212	>212
EP °C		≤250	≤250	>250	>250
°F		≤482	≤482	>482	>482

at weather stations and airports, since these are precorrected to give sea level readings.)

7. Sampling, Storage, and Sample Conditioning

7.1 Determine the Group characteristics that correspond to the sample to be tested (see Table 2). Where the procedure is dependent upon the group, the section headings will be so marked.

7.2 Sampling:

7.2.1 Sampling shall be done in accordance with Practice D 4057 or D 4177 and as described in Table 3.

7.2.1.1 *Group 0*—Condition the sample container to below 5°C, preferably by filling the bottle with the cold liquid sample and discarding the first sample. If this is not possible because, for instance, the product to be sampled is at ambient temperature, the sample shall be drawn into a bottle, prechilled to below 5°C, in such a manner that agitation is kept at a minimum. Close the bottle immediately with a tight-fitting closure and place the sample in an ice bath or refrigerator.

7.2.1.2 *Group 1*—Collect the sample as described in 7.2.1.1 at a temperature below 10°C. If this is not possible because, for instance, the product to be sampled is at ambient temperature, the sample shall be drawn into a bottle prechilled to below 10°C, in such a manner that agitation is kept at a minimum. Close the bottle immediately with a tight-fitting closure. (Warning—Do not completely fill and tightly seal a cold bottle of sample because of the likelihood of breakage on warming.)

7.2.1.3 *Groups 2, 3, and 4*—Collect the sample at ambient temperature. After sampling, close the sample bottle immediately with a tight-fitting closure.

7.2.1.4 If the sample received by the testing laboratory has been sampled by others and it is not known whether sampling has been performed as described in 7.2, the sample shall be assumed to have been so sampled.

7.3 Sample Storage:

7.3.1 If testing is not to start immediately after collection, store the samples as indicated in 7.3.2, 7.3.3, 7.3.4, and Table 3. All samples shall be stored away from direct sunlight or sources of direct heat.

7.3.2 *Group 0*—Samples shall be stored in a refrigerator below a temperature of 5°C.

7.3.3 *Group 1*—Store the sample at a temperature below 10°C.

NOTE 6—If there are no, or inadequate, facilities for storage below 10°C, the sample may also be stored at a temperature below 20°C, provided the operator ensures that the sample container is tightly closed and leak-free.

7.3.4 *Group 2*—Store the sample at a temperature below 10°C.

NOTE 7—If there are no, or inadequate, facilities for storage below 10°C, the sample may also be stored at a temperature below 20°C, provided the operator ensures that the sample container is tightly closed and leak-free.

7.3.5 *Groups 3 and 4*—Store the sample at ambient or lower temperature.

7.4 Sample Conditioning Prior to Analysis:

7.4.1 Samples shall be conditioned to the temperature shown in Table 3 before opening the sample container.

7.4.1.1 *Group 0*—Samples shall be conditioned to a temperature of less than 5°C (40°F) before opening the sample container.

7.4.1.2 *Groups 1 and 2*—Samples shall be conditioned to a temperature of less than 10°C (50°F) before opening the sample container.

7.4.1.3 *Groups 3 and 4*—If the sample is not fluid at ambient temperature, it is to be heated to a temperature of 9 to 21°C above its pour point (Test Method D 97, D 5949, or D 5985) prior to analysis. If the sample has partially or completely solidified during storage, it shall be vigorously shaken after melting prior to opening the sample container to ensure homogeneity.

7.4.1.4 If the sample is not fluid at room temperature, the temperature ranges shown in Table 3 for the flask and for the sample do not apply.

7.5 Wet Samples:


7.5.1 Samples of materials that visibly contain water are not suitable for testing. If the sample is not dry, obtain another sample that is free from suspended water.

7.5.2 *Groups 0, 1, and 2*—If such a sample cannot be obtained, the suspended water can be removed by maintaining the sample at 0 to 10°C, adding approximately 10 g of anhydrous sodium sulfate per 100 mL of sample, shaking the mixture for approximately 2 min, and then allowing the mixture to settle for approximately 15 min. Once the sample shows no visible signs of water, use a decanted portion of the sample, maintained between 1 and 10°C, for the analysis. Note in the report that the sample has been dried by the addition of a desiccant.

NOTE 8—Suspended water in hazy samples in Groups 1 and 2 can be removed by the addition of anhydrous sodium sulfate and separating the liquid sample from the drying agent by decanting without statistically affecting the results of the test.⁴

7.5.3 *Groups 3 and 4*—In cases in which a water-free sample is not practical, the suspended water can be removed by shaking the sample with anhydrous sodium sulfate or other suitable drying agent and separating it from the drying agent by decanting. Note in the report that the sample has been dried by the addition of a desiccant.

⁴ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR: D02-1455.


D 86 – 05
TABLE 3 Sampling, Storage, and Sample Conditioning

		Group 0	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Temperature of sample bottle	°C	<5	<10			
	°F	<40	<50			
Temperature of stored sample	°C	<5	<10 ^A	<10	ambient	ambient
	°F	<40	<50 ^A	<50	ambient	ambient
Temperature of sample after conditioning prior to analysis	°C	<5	<10	<10	Ambient or 9 to 21°C above pour point ^E	Ambient or 9 to 21°C above pour point ^E
	°F	<40	<50	<50	Ambient or 48 to 70°F above pour point ^E	Ambient or 48 to 70°F above pour point ^E
If sample is wet		resample	resample	resample		
If resample is still wet ^C			dry in accordance with 7.5.2			dry in accordance with 7.5.3

^A Under certain circumstances, samples can also be stored at temperatures below 20°C (68°F). See also 7.3.3 and 7.3.4.

^B If sample is (semi)-solid at ambient temperature, see also 10.3.1.1.

^C If sample is known to be wet, resampling may be omitted. Dry sample in accordance with 7.5.2 and 7.5.3.

8. Preparation of Apparatus

8.1 Refer to Table 1 and prepare the apparatus by choosing the appropriate distillation flask, temperature measuring device, and flask support board, as directed for the indicated group. Bring the temperature of the receiving cylinder, the flask, and the condenser bath to the indicated temperature.

8.2 Make any necessary provisions so that the temperature of the condenser bath and the receiving cylinder will be maintained at the required temperatures. The receiving cylinder shall be in a bath such that either the liquid level is at least as high as the 100-mL mark or the entire receiving cylinder is surrounded by an air circulation chamber.

8.2.1 *Groups 0, 1, 2, and 3*—Suitable media for low temperature baths include, but are not limited to, chopped ice and water, refrigerated brine, and refrigerated ethylene glycol.

8.2.2 *Group 4*—Suitable media for ambient and higher bath temperatures include, but are not limited to, cold water, hot water, and heated ethylene glycol.

8.3 Remove any residual liquid in the condenser tube by swabbing with a piece of soft, lint-free cloth attached to a cord or wire.

9. Calibration and Standardization

9.1 *Temperature Measurement System*—Temperature measurement systems using other than the specified mercury-in-glass thermometers shall exhibit the same temperature lag, emergent stem effect, and accuracy as the equivalent mercury-in-glass thermometer. Confirmation of the calibration of these temperature measuring systems shall be made at intervals of not more than six months, and after the system has been replaced or repaired.

9.1.1 The accuracy and the calibration of the electronic circuitry or computer algorithms, or both, shall be verified by the use of a standard precision resistance bench. When performing this verification, no algorithms shall be used to correct the temperature for lag and the emergent stem effect (see manufacturer's instructions).

9.1.2 Verification of the calibration of temperature measuring devices shall be conducted by distilling toluene in accordance with Group 1 of this test method and comparing the 50% recovered temperature with that shown in Table 4.⁵

⁵ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR: D02-1580.

9.1.2.1 If the temperature reading is not within the values shown in Table 4 for the respective apparatus being used (see Note 10 and Table 4), the temperature measurement system shall be considered defective and shall not be used for the test.

NOTE 9—Toluene is used as a verification fluid for calibration; it will yield almost no information on how well an electronic measurement system simulates the temperature lag of a liquid-in-glass thermometer.

9.1.2.2 Reagent grade toluene and hexadecane (cetane), conforming to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society,⁶ shall be used. However, other grades may also be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficient purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

NOTE 10—At 101.3 kPa, toluene is shown in reference manuals as boiling at 110.6°C when measured using a partial immersion thermometer. Because this test method uses thermometers calibrated for total immersion, the results typically will be lower and, depending on the thermometer and the situation, may be different for each thermometer. At 101.3 kPa, hexadecane is shown in reference manuals as boiling at 287.0°C when measured using a partial immersion thermometer. Because this test method uses thermometers calibrated for total immersion, the results typically will be lower, and, depending on the thermometer and the situation, may be different for each thermometer.

9.1.3 A procedure to determine the magnitude of the temperature lag is described in Annex A3.

9.1.4 A procedure to emulate the emergent stem effect is described in Appendix X4.


9.1.5 To verify the calibration of the temperature measurement system at elevated temperatures, use hexadecane. The temperature measurement system shall indicate, at 50% recovered, a temperature comparable to that shown in Table 4 for the respective apparatus under Group 4 distillation conditions.

NOTE 11—Because of the high melting point of hexadecane, Group 4 verification distillations will have to be carried out with condenser temperatures >20°C.

9.2 Automated Method:

9.2.1 *Level Follower*—For an automated distillation apparatus, the level follower/recording mechanism of the apparatus

⁶ Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Analar Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopoeia and National Formulary*, U.S. Pharmacopoeial Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.


D 86 – 05
TABLE 4 True and Min and Max D 86 50 % Recovered Boiling Points (°C)^A

		Manual		Automated	
		Distillation conditions min D 86 50 % boiling point	Distillation conditions max D 86 50 % boiling point	Distillation conditions min D 86 50 % boiling point	Distillation conditions max D 86 50 % boiling point
Toluene	ASTM/IP true boiling point	Group 1, 2, and 3	Group 1, 2, and 3	Group 1, 2, and 3	Group 1, 2, and 3
		110.6	105.9	111.8	108.5
Hexadecane	ASTM/IP true boiling point	Group 4	Group 4	Group 4	Group 4
		287.0	272.2	283.1	277.0

^A The manual and automated temperatures show in this table are the values for the 95 % tolerance interval for the 99 % population coverage. The proposed tolerance is approximately $3 \times \sigma$. Information on the values in this table can be found in RR:D02-1580.

shall have a resolution of 0.1 mL or better with a maximum error of 0.3 mL between the 5 and 100 mL points. The calibration of the assembly shall be verified in accordance with manufacturer's instructions at intervals of not more than three months and after the system has been replaced or repaired.

NOTE 12—The typical calibration procedure involves verifying the output with the receiver containing 5 and 100 mL of material respectively.

9.2.2 *Barometric Pressure*—At intervals of not more than six months, and after the system has been replaced or repaired, the barometric reading of the instrument shall be verified against a barometer, as described in 6.6.

10. Procedure

10.1 Record the prevailing barometric pressure.

10.2 *Groups 0, 1, and 2*—Fit a low range thermometer provided with a snug-fitting cork or stopper of silicone rubber, or equivalent polymeric material, tightly into the neck of the sample container and bring the temperature of the sample to the temperature indicated in Table 3.

10.3 *Groups 0, 1, 2, 3, and 4*—Check that the temperature of the sample is as shown in Table 3. Pour the specimen precisely to the 100-mL mark of the receiving cylinder, and transfer the contents of the receiving cylinder as completely as practical into the distillation flask, ensuring that none of the liquid flows into the vapor tube.

NOTE 13—It is important that the difference between the temperature of the specimen and the temperature of the bath around the receiving cylinder is as small as practically possible. A difference of 5°C can make a difference of 0.7 mL.

10.3.1 *Groups 3 and 4*—If the sample is not fluid at ambient temperature, it is to be heated to a temperature between 9 and 21°C above its pour point (Test Method D 97, D 5949, D 5950, or D 5985) prior to analysis. If the sample has partially or completely solidified in the intervening period, it shall be vigorously shaken after melting, and prior to sampling, to ensure homogeneity.

10.3.1.1 If the sample is not fluid at ambient temperatures, disregard the temperature range shown in Table 1 for the receiving cylinder and sample. Prior to analysis, heat the receiving cylinder to approximately the same temperature as the sample. Pour the heated specimen precisely to the 100-mL mark of the receiving cylinder, and transfer the contents of the

receiving cylinder as completely as practical into the distillation flask, ensuring that none of the liquid flows into the vapor tube.

NOTE 14—Any material that evaporates during the transfer will contribute to the loss; any material that remains in the receiving cylinder will contribute to the observed recovery volume at the time of the IBP.

10.4 If the sample can be expected to demonstrate irregular boiling behavior, that is, bumping, add a few boiling chips to the specimen. The addition of a few boiling chips is acceptable for any distillation.

10.5 Fit the temperature sensor through a snug-fitting device, as described in 6.4, to mechanically center the sensor in the neck of the flask. In the case of a thermometer, the bulb is centered in the neck and the lower end of the capillary is level with the highest point on the bottom of the inner wall of the vapor tube (see Fig. 5). In the case of a thermocouple or resistance thermometer, follow the manufacturer's instructions as to placement.


NOTE 15—If vacuum grease is used on the mating surface of the centering device, use the minimum amount of grease that is practical.

10.6 Fit the flask vapor tube, provided with a snug-fitting cork or rubber stopper of silicone, or equivalent polymeric material, tightly into the condenser tube. Adjust the flask in a vertical position so that the vapor tube extends into the condenser tube for a distance from 25 to 50 mm. Raise and adjust the flask support board to fit it snugly against the bottom of the flask.

10.7 Place the receiving cylinder that was used to measure the specimen, without drying the inside of the cylinder, into its temperature-controlled bath under the lower end of the condenser tube. The end of the condenser tube shall be centered in the receiving cylinder and shall extend therein for a distance of at least 25 mm, but not below the 100-mL mark.

10.8 *Initial Boiling Point:*

10.8.1 *Manual Method*—To reduce evaporation loss of the distillate, cover the receiving cylinder with a piece of blotting paper, or similar material, that has been cut to fit the condenser tube snugly. If a receiver deflector is being used, start the distillation with the tip of the deflector just touching the wall of the receiving cylinder. If a receiver deflector is not used, keep the drip tip of the condenser away from the wall of the receiving cylinder. Note the start time. Observe and record the


D 86 – 05
TABLE 5 Conditions During Test Procedure

	Group 0	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Temperature of cooling bath ^a	0–1	0–1	0–5	0–5	0–60
	32–34	32–34	32–40	32–40	32–140
Temperature of bath around receiving cylinder	0–4	13–18	13–18	13–18	±3
	32–40	55–65	55–65	55–65	±5
					of charge temperature
Time from first application of heat to initial boiling point, min	2–5	5–10	5–10	5–10	5–15
Time from initial boiling point to 5 % recovered, s		60–100	60–100		
Time from initial boiling point to 10 % recovered, min	3–4				
Uniform average rate of condensation from 5 % recovered to 5 mL in flask, mL/min	4–5	4–5	4–5	4–5	4–5
Time recorded from 5 mL residue to end point, min	5 max	5 max	5 max	5 max	5 max

^a The proper condenser bath temperature will depend upon the wax content of the sample and of its distillation fractions. The test is generally performed using one single condenser temperature. Wax formation in the condenser can be deduced from (a) the presence of wax particles in the distillate coming off the drip tip, (b) a higher distillation loss than what would be expected based on the initial boiling point of the specimen, (c) an erratic recovery rate and (d) the presence of wax particles during the removal of residual liquid by swabbing with a lint-free cloth (see 8.3). The minimum temperature that permits satisfactory operation shall be used. In general, a bath temperature in the 0 to 4°C range is suitable for kerosine, Grade No. 1 fuel oil and Grade No. 1-D diesel fuel oil. In some cases involving Grade No. 2 fuel oil, Grade No. 2-D diesel fuel oil, gas oils and similar distillates, it may be necessary to hold the condenser bath temperature in the 38 to 60°C range.

IBP to the nearest 0.5°C (1.0°F). If a receiver deflector is not being used, immediately move the receiving cylinder so that the tip of the condenser touches its inner wall.

10.8.2 *Automated Method*—To reduce evaporation loss of the distillate, use the device provided by the instrument manufacturer for this purpose. Apply heat to the distillation flask and contents with the tip of the receiver deflector just touching the wall of the receiving cylinder. Note the start time. Record the IBP to the nearest 0.1°C (0.2°F).

10.9 Regulate the heating so that the time interval between the first application of heat and the IBP is as specified in Table 5.

10.10 Regulate the heating so that the time from IBP to 5 or 10 % recovered is as indicated in Table 5.

10.11 Continue to regulate the heating so that the uniform average rate of condensation from 5 or 10 % recovered to 5 mL residue in the flask is 4 to 5 mL per min. (**Warning**—Due to the configuration of the boiling flask and the conditions of the test, the vapor and liquid around the temperature sensor are not in thermodynamic equilibrium. The distillation rate will consequently have an effect on the measured vapor temperature. The distillation rate shall, therefore, be kept as constant as possible throughout the test.)

NOTE 16—When testing gasoline samples, it is not uncommon to see the condensate suddenly form non-miscible liquid phases and bead up on the temperature measuring device and in the neck of the boiling flask at a vapor temperature of around 160°C. This may be accompanied by a sharp (about 3°C) dip in the vapor temperature and a drop in the recovery rate. The phenomenon, which may be due to the presence of trace water in the sample, may last for 10 to 30 s before the temperature recovers and the condensate starts flowing smoothly again. This point is sometimes colloquially referred to as the Hesitation Point.

10.12 Repeat any distillation that did not meet the requirements described in 10.9, 10.10, and 10.11.

10.13 If a decomposition point, as described in 3.1.3, is observed, discontinue the heating and proceed as directed in 10.17.

10.14 In the interval between the IBP and the end of the distillation, observe and record data necessary for the calculation

and reporting of the results of the test as required by the specification involved, or as previously established for the sample under test. These observed data can include temperature readings at prescribed percentages recovered or percentages recovered at prescribed temperature readings, or both.

10.14.1 *Manual Method*—Record all volumes in the graduated cylinder to the nearest 0.5 mL, and all temperature readings to the nearest 0.5°C (1.0°F).


10.14.2 *Automated Method*—Record all volumes in the receiving cylinder to the nearest 0.1 mL, and all temperature readings to the nearest 0.1°C (0.2°F).

10.14.3 *Group 0*—In cases in which no specific data requirements have been indicated, record the IBP, the EP (FBP), and temperature readings at each 10 % multiple of volume recovered from 10 to 90, inclusive.

10.14.4 *Group 1, 2, 3, and 4*—In cases in which no specific data requirements have been indicated, record the IBP and the EP (FBP) or the dry point, or both, and temperature readings at 5, 15, 85, and 95 % recovered, and at each 10 % multiple of volume recovered from 10 to 90, inclusive.

10.14.4.1 *Group 4*—When a high range thermometer is used in testing aviation turbine fuels and similar products, pertinent thermometer readings can be obscured by the centering device. If these readings are required, perform a second distillation in accordance with Group 3. In such cases, reading from a low range thermometer can be reported in place of the obscured high range thermometer readings, and the test report shall so indicate. If, by agreement, the obscured readings are waived, the test report shall so indicate.

10.14.5 When it is required to report the temperature reading at a prescribed percent evaporated or recovered for a sample that has a rapidly changing slope of the distillation curve in the region of the prescribed percent evaporated or recovered reading, record temperature readings at every 1 % recovered. The slope is considered rapidly changing if the change in slope (C) of the data points described in 10.14.2 in that particular area is greater than 0.6 (change of slope (F) is greater than 1.0) as calculated by Eq 1 (Eq 2).


D 86 – 05

$$\text{Change of Slope } (C) = \frac{(C_2 - C_1)(V_2 - V_1) - (C_3 - C_2)(V_3 - V_2)}{(1)}$$

$$\text{Change of Slope } (F) = \frac{(F_2 - F_1)(V_2 - V_1) - (F_3 - F_2)(V_3 - V_2)}{(2)}$$

where:

C_1 = temperature at the volume % recorded one reading prior to the volume % in question, °C,

C_2 = temperature at the volume % recorded in question, °C,

C_3 = temperature at the volume % recorded following the volume % in question, °C,

F_1 = temperature at the volume % recorded one reading prior to the volume % in question, °F,

F_2 = temperature at the volume % recorded in question, °F,

F_3 = temperature at the volume % recorded following the volume % in question, °F,

V_1 = volume % recorded one reading prior to the volume % in question,

V_2 = volume % recorded at the volume % in question, and

V_3 = volume % recorded following the volume % in question.

10.15 When the residual liquid in the flask is approximately 5 mL, make a final adjustment of the heat. The time from the 5 mL of liquid residue in the flask to the EP (FBP) shall be within the limits prescribed in Table 5. If this condition is not satisfied, repeat the test with appropriate modification of the final heat adjustment.

NOTE 17—Since it is difficult to determine when there is 5 mL of boiling liquid left in the flask, this time is determined by observing the amount of liquid recovered in the receiving cylinder. The dynamic holdup has been determined to be approximately 1.5 mL at this point. If there are no front end losses, the amount of 5 mL in the flask can be assumed to correspond with an amount of 93.5 mL in the receiving cylinder. This amount has to be adjusted for the estimated amount of front end loss.

10.15.1 If the actual front end loss differs more than 2 mL from the estimated value, the test shall be rerun.

10.16 Observe and record the EP (FBP) or the dry point, or both, as required, and discontinue the heating.

10.17 Allow the distillate to drain into the receiving cylinder, after heating has been discontinued.

10.17.1 *Manual Method*—While the condenser tube continues to drain into the graduated cylinder, observe and note the volume of condensate to the nearest 0.5 mL at 2 min intervals until two successive observations agree. Measure the volume in the receiving cylinder accurately, and record it to the nearest 0.5 mL.

10.17.2 *Automated Method*—The apparatus shall continually monitor the recovered volume until this volume changes by no more than 0.1 mL in 2 min. Record the volume in the receiving cylinder accurately to the nearest 0.1 mL.

10.18 Record the volume in the receiving cylinder as percent recovery. If the distillation was previously discontinued under the conditions of a decomposition point, deduct the percent recovered from 100, report this difference as the sum of percent residue and percent loss, and omit the procedure given in 10.19.

10.19 After the flask has cooled and no more vapor is observed, disconnect the flask from the condenser, pour its contents into a 5-mL graduated cylinder, and with the flask suspended over the cylinder, allow the flask to drain until no appreciable increase in the volume of liquid in the cylinder is observed. Measure the volume in the graduated cylinder to the nearest 0.1 mL, and record as percent residue.

10.19.1 If the 5-mL graduated cylinder does not have graduations below 1 mL and the volume of liquid is less than 1 mL, prefill the cylinder with 1 mL of a heavy oil to allow a better estimate of the volume of the material recovered.

10.19.1.1 If a residue greater than expected is obtained, and the distillation was not purposely terminated before the EP, check whether adequate heat was applied towards the end of the distillation and whether conditions during the test conformed to those specified in Table 5. If not, repeat test.

NOTE 18—Test Method D 86 distillation residues for gasoline, kerosene, and distillate diesel are typically 0.9–1.3, 0.9–1.3, and 1.0–1.4 volume %, respectively.

NOTE 19—The test method is not designed for the analysis of distillate fuels containing appreciable quantities of residual material (see 1.2).

10.19.2 *Group 0*—Cool the 5-mL graduated cylinder to below 5°C. Record the volume in the graduated cylinder, to the nearest 0.1 mL, as percent residue.

10.19.3 *Groups 1, 2, 3, and 4*—Record the volume in the 5-mL graduated cylinder, to the nearest 0.1 mL, as percent residue.

10.20 If the intent of the distillation is to determine the percent evaporated or percent recovered at a predetermined corrected temperature reading, modify the procedure to conform to the instructions described in Annex A4.

10.21 Examine the condenser tube and the side arm of the flask for waxy or solid deposits. If found, repeat the test after making adjustments described in Footnote A of Table 5.

11. Calculations

11.1 The percent total recovery is the sum of the percent recovery (see 10.18) and the percent residue (see 10.19). Deduct the percent total recovery from 100 to obtain the percent loss.

11.2 Do not correct the barometric pressure for meniscus depression, and do not adjust the pressure to what it would be at sea level.

NOTE 20—The observed barometric reading does not have to be corrected to a standard temperature and to standard gravity. Even without performing these corrections, the corrected temperature readings for the same sample between laboratories at two different locations in the world will, in general, differ less than 0.1°C at 100°C. Almost all data obtained earlier have been reported at barometric pressures that have not been corrected to standard temperature and to standard gravity.

11.3 Correct temperature readings to 101.3 kPa (760 mm Hg) pressure. Obtain the correction to be applied to each temperature reading by means of the Sydney Young equation as given in Eq 3, Eq 4, or Eq 5, as appropriate, or by the use of Table 6. For Celsius temperatures:

$$C_c = 0.0009 (101.3 - P_k) (273 + t_c) \quad (3)$$


D 86 – 05
TABLE 6 Approximate Thermometer Reading Correction

Temperature Range		Correction ^a per 1.3 kPa (10 mm Hg) Difference in Pressure	
°C	°F	°C	°F
10–30	50–86	0.35	0.63
30–50	86–122	0.38	0.68
50–70	122–158	0.40	0.72
70–90	158–194	0.42	0.76
90–110	194–230	0.45	0.81
110–130	230–266	0.47	0.85
130–150	266–302	0.50	0.89
150–170	302–338	0.52	0.94
170–190	338–374	0.54	0.98
190–210	374–410	0.57	1.02
210–230	410–446	0.59	1.07
230–250	446–482	0.62	1.11
250–270	482–518	0.64	1.15
270–290	518–554	0.66	1.20
290–310	554–590	0.69	1.24
310–330	590–626	0.71	1.28
330–350	626–662	0.74	1.33
350–370	662–698	0.76	1.37
370–390	698–734	0.78	1.41
390–410	734–770	0.81	1.46

^a Values to be added when barometric pressure is below 101.3 kPa (760 mm Hg) and to be subtracted when barometric pressure is above 101.3 kPa.

$$C_c = 0.00012 (760 - P) (273 + t_c) \quad (4)$$

For Fahrenheit temperatures:

$$C_f = 0.00012 (760 - P) (460 + t_f) \quad (5)$$

where:

- t_c = the observed temperature reading in °C,
- t_f = the observed temperature reading in °F,
- C_c and C_f = corrections to be added algebraically to the observed temperature readings,
- P_k = barometric pressure, prevailing at the time and location of the test, kPa, and
- P = barometric pressure, prevailing at the time and location of the test, mm Hg.

After applying the corrections and rounding each result to the nearest 0.5°C (1.0°F) or 0.1°C (0.2°F), as appropriate to the apparatus being used, use the corrected temperature readings in all further calculations and reporting.

NOTE 21—Temperature readings are not corrected to 101.3 kPa (760 mm Hg) when product definitions, specifications, or agreements between the parties involved indicate, specifically, that such correction is not required or that correction shall be made to some other base pressure.

11.4 Correct the actual loss to 101.3 kPa (760 mm Hg) pressure when temperature readings are corrected to 101.3 kPa pressure. The corrected loss, L_c , is calculated from Eq 6 or Eq 7, as appropriate, or can be read from the tables presented as Fig. X3.1 or Fig. X3.2.

$$L_c = 0.5 + (L - 0.5) \{1 + (101.3 - P_k) / 8.00\} \quad (6)$$

$$L_c = 0.5 + (L - 0.5) \{1 + (760 - P) / 60.0\} \quad (7)$$

where:

- L = observed loss,
- L_c = corrected loss,

P_k = pressure, kPa, and
 P = pressure, mm Hg.

NOTE 22—Eq 6 and 7 above have been derived from the data in Table 7 and Eqs 5 and 6 in Test Method D 86 – 95 and earlier versions. It is probable that Eq 6 and 7 shown were the original empirical equations from which the table and equations in the Test Method D 86 – 95 and earlier versions were derived.

11.4.1 Calculate the corresponding corrected percent recovery in accordance with the following equation:

$$R_c = R + (L - L_c) \quad (8)$$

where:

- L = percent loss or observed loss,
- L_c = corrected loss,
- R = percent recovery, and
- R_c = corrected percent recovery.

11.5 To obtain the percent evaporated at a prescribed temperature reading, add the percent loss to each of the observed percent recovered at the prescribed temperature readings, and report these results as the respective percent evaporated, that is:

$$P_e = P_r + L \quad (9)$$

where:

- L = observed loss,
- P_e = percent evaporated, and
- P_r = percent recovered.

11.6 To obtain temperature readings at prescribed percent evaporated, and if no recorded temperature data is available within 0.1 volume % of the prescribed percent evaporated, use either of the two following procedures, and indicate on the report whether the arithmetical procedure or the graphical procedure has been used.

11.6.1 *Arithmetical Procedure*—Deduct the observed loss from each prescribed percent evaporated to obtain the corresponding percent recovered. Calculate each required temperature reading as follows:


$$T = T_L + (T_H - T_L) (R - R_L) / (R_H - R_L) \quad (10)$$

where:

- R = percent recovered corresponding to the prescribed percent evaporated,
- R_H = percent recovered adjacent to, and higher than R ,
- R_L = percent recovered adjacent to, and lower than R ,
- T = temperature reading at the prescribed percent evaporated,
- T_H = temperature reading recorded at R_H , and
- T_L = temperature reading recorded at R_L .

Values obtained by the arithmetical procedure are affected by the extent to which the distillation graphs are nonlinear. Intervals between successive data points can, at any stage of the test, be no wider than the intervals indicated in 10.18. In no case shall a calculation be made that involves extrapolation.

11.6.2 *Graphical Procedure*—Using graph paper with uniform subdivisions, plot each temperature reading corrected for barometric pressure, if required (see 11.3), against its corresponding percent recovered. Plot the IBP at 0 % recovered.

 D 86 – 05
TABLE 7 Data Points for Determining Slope, S_C or S_F

Slope at %	IBP	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	EP
T_L at %	0	0	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
T_U at %	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	V_{EP}	
$V_U - V_L$	5	10	20	20	20	20	20	20	20	20	10	5	V_{EP-95}

Draw a smooth curve connecting the points. For each prescribed percent evaporated, deduct the distillation loss to obtain the corresponding percent recovered and take from the graph the temperature reading that this percent recovered indicates. Values obtained by graphical interpolation procedures are affected by the care with which the plot is made.

NOTE 23—See Appendix X1 for numerical examples illustrating the arithmetical procedure.

11.6.3 In most automated instruments, temperature-volume data are collected at 0.1 volume % intervals or less and stored in memory. To report a temperature reading at a prescribed percent evaporated, neither of the procedures described in 11.6.1 and 11.6.2 have to be used. Obtain the desired temperature directly from the database as the temperature closest to and within 0.1 volume % of the prescribed percent evaporated.

12. Report

12.1 Report the following information (see Appendix X5 for examples of reports):

12.2 Report the barometric pressure to the nearest 0.1 kPa (1 mm Hg).

12.3 Report all volumetric readings in percentages.

12.3.1 *Manual Method*—Report volumetric readings to the nearest 0.5, and all temperature readings to the nearest 0.5°C (1.0°F).

12.3.2 *Automated Method*—Report volumetric readings to the nearest 0.1, and all temperature readings to the nearest 0.1°C (0.2°F) or less.

12.4 After barometric corrections of the temperature readings have been made, the following data require no further calculation prior to reporting: IBP, dry point, EP (FBP), decomposition point, and all pairs of corresponding values involving percent recovered and temperature readings.

12.4.1 The report shall state if the temperature readings have not been corrected for barometric pressure.

12.5 When the temperature readings have not been corrected to 101.3 kPa (760 mm Hg) pressure, report the percent residue and percent loss as *observed* in accordance with 10.19 and 11.1, respectively.

12.6 Do not use the corrected loss in the calculation of percent evaporated.

12.7 It is advisable to base the report on relationships between temperature readings and percent evaporated when the sample is a gasoline, or any other product classified under Group 0 or 1, or in which the percent loss is greater than 2.0. Otherwise, the report can be based on relationships between temperature readings and percent evaporated or percent recovered. Every report must indicate clearly which basis has been used.

12.7.1 In the manual method, if results are given in percent evaporated versus temperature readings, report if the arithmetical or the graphical procedure was used (see 11.6).

12.8 Report if a drying agent, as described in 7.5.2 or 7.5.3, was used.

12.9 Fig. X1.1 is an example of a tabular report. It shows the percent recovered versus the corresponding temperature reading and versus the corrected temperature reading. It also shows the percent loss, the corrected loss, and the percent evaporated versus the corrected temperature reading.

13. Precision and Bias

13.1 Precision:

13.1.1 The precision of this test method has been determined by the statistical examination of interlaboratory test results obtained by 26 laboratories on 14 gasolines, by 4 laboratories on 8 samples of kerosine by the manual procedure, 3 laboratories on 6 samples of kerosine by the automated procedure, and 5 laboratories on 10 samples of diesel fuel by both the manual and automated procedures. Table A1.1 lists which tables and figures are to be used for the different fuel groups, distillation methods, and temperature scales.

13.1.2 The following terms are used in this section: (1) r = repeatability and (2) R = reproducibility. The value of any of these terms will depend upon whether the calculations were carried out in °C or °F.

13.2 Slope or Rate of Change of Temperature:

13.2.1 To determine the precision of a result, it is generally necessary to determine the slope or rate of change of the temperature at that particular point. This variable, denoted as S_C or S_F , is equal to the change in temperature, either in °C or in °F, respectively, per percent recovered or evaporated.

13.2.2 For Group 1 in the manual method and for all groups in the automated method, the precision of the IBP and EP does not require any slope calculation.

13.2.3 With the exception stated in 13.2.2 and in 13.2.4, the slope at any point during the distillation is calculated from the following equations, using the values shown in Table 7:

$$S_C \text{ (or } S_F) = (T_U - T_L) / (V_U - V_L) \quad (11)$$

where:

S_C = is the slope, °C/volume %,

S_F = is the slope, °F/volume %,

T_U = is the upper temperature, °C (or °F),

T_L = is the lower temperature, °C (or °F),


V_U = is the volume % recovered or evaporated corresponding to T_U ,

V_L = is the volume % recovered or evaporated corresponding to T_L , and

V_{EP} = is the volume % recovered or evaporated corresponding to the end point.

13.2.4 In the event that the distillation end point occurs prior to the 95% point, the slope at the end point is calculated as follows:

$$S_C \text{ (or } S_F) = (T_{EP} - T_{HR}) / (V_{EP} - V_{HR}) \quad (12)$$


D 86 – 05
TABLE 8 Repeatability and Reproducibility for Group 1

Evaporated Point, %	Manual Repeatability ^A		Manual Reproducibility ^A		Automated Repeatability ^A		Automated Reproducibility ^A	
	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F
IBP	3.3	6	5.6	10	3.9	7	7.2	13
5	1.9+0.86S _C	3.4+0.86S _F	3.1+1.74S _C	5.6+1.74S _F	2.1+0.67S _C	3.8+0.67S _F	4.4+2.0S _C	7.9+2.0S _F
10	1.2+0.86S _C	2.2+0.86S _F	2.0+1.74S _C	3.6+1.74S _F	1.7+0.67S _C	3.0+0.67S _F	3.3+2.0S _C	6.0+2.0S _F
20	1.2+0.86S _C	2.2+0.86S _F	2.0+1.74S _C	3.6+1.74S _F	1.1+0.67S _C	2.0+0.67S _F	3.3+2.0S _C	6.0+2.0S _F
30-70	1.2+0.86S _C	2.2+0.86S _F	2.0+1.74S _C	3.6+1.74S _F	1.1+0.67S _C	2.0+0.67S _F	2.6+2.0S _C	4.7+2.0S _F
80	1.2+0.86S _C	2.2+0.86S _F	2.0+1.74S _C	3.6+1.74S _F	1.1+0.67S _C	2.0+0.67S _F	1.7+2.0S _C	3.0+2.0S _F
90	1.2+0.86S _C	2.2+0.86S _F	0.8+1.74S _C	1.4+1.74S _F	1.1+0.67S _C	2.0+0.67S _F	0.7+2.0S _C	1.2+2.0S _F
95	1.2+0.86S _C	2.2+0.86S _F	1.1+1.74S _C	1.9+1.74S _F	2.5+0.67S _C	4.5+0.67S _F	2.6+2.0S _C	4.7+2.0S _F
FBP	3.9	7	7.2	13	4.4	8	8.9	16

^A S_C or S_F is the average slope (or rate of change) calculated in accordance with 13.2.

TABLE 9 Repeatability and Reproducibility for Groups 2, 3 and 4 (Manual Method)

	Repeatability ^A		Reproducibility ^A	
	°C	°F	°C	°F
IBP	1.0+0.35S _C	1.9+0.35S _F	2.8+0.93S _C	5.0+0.93S _F
5-95 %	1.0+0.41S _C	1.8+0.41S _F	1.8+1.33S _C	3.3+1.33S _F
FBP	0.7+0.36S _C	1.3+0.36S _F	3.1+0.42S _C	5.7+0.42S _F
% volume at temperature reading	0.7+0.92/S _C	0.7+1.66/S _F	1.5+1.78/S _C	1.53+3.20/S _F

^A Calculate S_C or S_F from 13.2.

where:

T_{EP} or T_{HR} is the temperature, in °C or °F at the percent volume recovered indicated by the subscript,

V_{EP} or V_{HR} is the volume % recovered.

13.2.4.1 The subscripts in Eq 12 refer to:

EP = end point

HR = highest reading, either 80 % of 90 %, prior to the end point.

13.2.5 For points between 10 to 85 % recovered which are not shown in Table 7, the slope is calculated as follows:

$$S_C \text{ (or } S_F) = 0.05 (T_{(V+10)} - T_{(V-10)}) \quad (13)$$

13.2.6 For samples in Group 1, the precision data reported are based on slope values calculated from percent evaporated data.

13.2.7 For samples in Group 2, 3, and 4, the precision data reported (Table 8) are based on slope values calculated from percent recovered data.

13.2.8 When results are reported as volume % recovered, slope values for the calculation of precision are to be determined from percent recovered data; when results are reported as volume % evaporated slope values are to be determined from % evaporated data.

13.3 Manual Method:

13.3.1 Repeatability:

13.3.1.1 **GROUP 0**—Duplicate results obtained for the EP shall not differ from each other by more than 3.5°C (6°F) in one case in twenty. Differences in duplicate temperature readings for each prescribed percentage point shall not exceed the amounts equivalent to 2 mL of distillate at each point in question. The calculation of this maximum difference is described in Annex A5.

13.3.1.2 **GROUP 1**—The difference between successive results obtained by the same operator with the same apparatus

under constant operating conditions on identical test material would, in the long run, in the normal and correct operation of this test method, exceed the values calculated from Table 9 in only one case in twenty.

13.3.1.3 **GROUPS 2, 3, and 4**—The difference between successive results obtained by the same operator with the same apparatus under constant operating conditions on identical test material would, in the long run, in the normal and correct operation of this test method, exceed the values calculated from the values in Table 9 in only one case in twenty.

13.3.2 Reproducibility:

13.3.2.1 **GROUP 0**—The reproducibility of the test method for this group has not been determined.

13.3.2.2 **GROUP 1**—The difference between two single and independent results obtained by different operators working in different laboratories on identical test material would, in the normal and correct operation of this method, exceed the values calculated from Table 9 in only one case in twenty.⁷

13.3.2.3 **GROUPS 2, 3, and 4**—The difference between two single and independent results obtained by different operators working in different laboratories on identical test material would, in the normal and correct operation of this test method, exceed the values calculated from the data in Table 9 in only one case in twenty.⁸

13.4 Automated Method:

13.4.1 Repeatability:

13.4.1.1 **GROUP 0**—Duplicate results obtained for the endpoint shall not differ from each other by more than 3.5°C (6°F) in one case in twenty. Differences in duplicate temperature readings for each prescribed percentage point shall not

⁷ Precision data obtained from RR study on both manual and automated D 86 units by North American and IP Laboratories.

⁸ Table 9 has been derived from the nomographs in Figs. 6 and 7 in ASTM D 86-97.

D 86 – 05
TABLE 10 Repeatability and Reproducibility for Groups 2, 3 and 4 (Automated)

Collected, %	Repeatability ^A		Reproducibility ^A	
	°C	°F	°C	°F
IBP	3.5	6.3	8.5	15.3
2 %	3.5	6.3	2.6 + 1.92S _C	4.7 + 1.92S _F
5 %	1.1 + 1.08S _C	2.0 + 1.08S _F	2.0 + 2.53S _C	3.6 + 2.53S _F
10 %	1.2 + 1.42S _C	2.2 + 1.42S _F	3.0 + 2.64S _C	5.4 + 2.64S _F
20–70 %	1.2 + 1.42S _C	2.2 + 1.42S _F	2.9 + 3.97S _C	5.2 + 3.97S _F
80 %	1.2 + 1.42S _C	2.2 + 1.42S _F	3.0 + 2.64S _C	5.4 + 2.64S _F
90–95 %	1.1 + 1.08S _C	2.0 + 1.08S _F	2.0 + 2.53S _C	3.6 + 2.53S _F
FBP	3.5	6.3	10.5	18.9

^A S_C or S_F is the average slope (or rate of change) calculated in accordance with 13.5.

exceed the amounts equivalent to 2 mL of distillate at each point in question. The calculation of this maximum difference is described in Annex A5.

13.4.1.2 *GROUP 1*—The difference between successive results obtained by the same operator with the same apparatus under constant operating conditions on identical test material would, in the long run, in the normal and correct operation of this test method, exceed the values calculated from Table 8 in only one case in twenty.

13.4.1.3 *GROUPS 2, 3, and 4*—The difference between successive results obtained by the same operator with the same apparatus under constant operating conditions on identical test material would, in the long run, in the normal and correct operation of this test method, exceed the values calculated from Table 10 in only one case in twenty.

13.4.2 *Reproducibility*:

13.4.2.1 *GROUP 0*—The reproducibility of the test method for this group has not been determined.

13.4.2.2 *GROUP 1*—The difference between two single and independent results obtained by different operators working in different laboratories on identical test material would, in the normal and correct operation of this test method, exceed the values calculated from Table 8 in only one case in twenty.⁷

13.4.2.3 *GROUPS 2, 3, and 4*—The difference between two single and independent results obtained by different operators

working in different laboratories on identical test material would, in the normal and correct operation of this test method, exceed the values calculated from Table 10 in only one case in twenty.

13.5 *Bias*:

13.5.1 *Bias*—Due to the use of total immersion thermometers, or temperature sensing systems designed to emulate them, the distillation temperatures in this test method are somewhat lower than the true temperatures. The amount of bias depends on the product being distilled and the thermometer used.

13.5.2 *Relative Bias*—There exists a bias between the empirical results of distillation properties obtained by this test method and the true boiling point distillation curve obtained by Test Method D 2892. The magnitude of this bias, and how it relates to test precision, has not been rigorously studied.

13.5.3 *Relative Bias*—An interlaboratory study⁵ conducted in 2003 using manual and automated apparatus has concluded that there is no statistical evidence to suggest that there is a bias between manual and automated results.

14. Keywords

14.1 batch distillation; distillates; distillation; laboratory distillation; petroleum products

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY DEFINITION AIDS

A1.1 Table A1.1 is an aid for determining which repeatability and reproducibility table or section, is to be used.



D 86 – 05

TABLE A1.1 Summary of Aids for Definition of Repeatability and Reproducibility

Group	Method	Temperature Scale	Table or Section to Use	
			Repeatability	Reproducibility
0	Manual	°C or °F	13.3.1.1	13.3.2.1
	Automated	°C or °F	13.4.1.1	13.4.2.1
1	Manual	°C	Table 8	Table 8
		°F	Table 8	Table 8
1	Automated	°C	Table 8	Table 8
		°F	Table 8	Table 8
2,3,4	Manual	°C	Table 9	Table 9
		°F	Table 9	Table 9
2,3,4	Automated	°C	Table 10	Table 10
		°F	Table 10	Table 10

A2. DETAILED DESCRIPTION OF APPARATUS

A2.1 *Distillation Flasks*—Flasks shall be of heat resistant glass, constructed to the dimensions and tolerances shown in Fig. A2.1 and shall otherwise comply with the requirements of Specification E 1405. Flask A (100 mL) may also be constructed with a ground glass joint, in which case the diameter of the neck shall be the same as the 125-mL flask.

NOTE A2.1—For tests specifying dry point, specially selected flasks with bottoms and walls of uniform thickness are desirable.

A2.2 *Condenser and Condenser Bath*—Typical types of condenser and condenser baths are illustrated in Figs. 1 and 2.

A2.2.1 The condenser shall be made of seamless noncorrosive metal tubing, 560 ± 5 mm in length, with an outside diameter of 14 mm and a wall thickness of 0.8 to 0.9 mm.

NOTE A2.2—Brass or stainless steel has been found to be a suitable material for this purpose.

A2.2.2 The condenser shall be set so that 393 ± 3 mm of the tube is in contact with the cooling medium, with 50 ± 3 mm outside the cooling bath at the upper end, and with 114 ± 3 mm outside at the lower end. The portion of the tube projecting at the upper end shall be set at an angle of $75 \pm 3^\circ$ with the vertical. The portion of the tube inside the condenser bath shall be either straight or bent in any suitable continuous smooth curve. The average gradient shall be $15 \pm 1^\circ$ with respect to the horizontal, with no 10-cm section having a gradient outside of the $15 \pm 3^\circ$ range. The projecting lower portion of the condenser tube shall be curved downward for a length of 76 mm and the lower end shall be cut off at an acute angle. Provisions shall be made to enable the flow of the distillate to run down the side of the receiving cylinder. This can be accomplished by using a drip-deflector, which is attached to the outlet of the tube. Alternatively, the lower portion of the condenser tube can be curved slightly backward to ensure contact with the wall of the receiving cylinder at a point 25 to 32 mm below the top of the receiving cylinder. Fig. A2.3 is a drawing of an acceptable configuration of the lower end of the condenser tube.

A2.2.3 The volume and the design of the bath will depend on the cooling medium employed. The cooling capacity of the bath shall be adequate to maintain the required temperature for the desired condenser performance. A single condenser bath may be used for several condenser tubes.

A2.3 *Metal Shield or Enclosure for Flask*. (Manual units only).

A2.3.1 *Shield for Gas Burner* (see Fig. 1)—The purpose of this shield is to provide protection for the operator and yet allow easy access to the burner and to the distillation flask during operation. A typical shield would be 480-mm high, 280-mm long and 200-mm wide, made of sheet metal of 0.8-mm thickness (22 gage). The shield shall be provided with at least one window to observe the dry point at the end of the distillation.

A2.3.2 *Shield for Electric Heater* (see Fig. 2)—A typical shield would be 440-mm high, 200-mm long, and 200-mm wide, made of sheet metal of approximately 0.8-mm thickness (22 gage) and with a window in the front side. The shield shall be provided with at least one window to observe the dry point at the end of the distillation.

A2.4 Heat Source:

A2.4.1 *Gas Burner* (see Fig. 1), capable of bringing over the first drop from a cold start within the time specified and of continuing the distillation at the specified rate. A sensitive manual control valve and gas pressure regulator to give complete control of heating shall be provided.

A2.4.2 *Electric Heater* (see Fig. 2), of low heat retention.

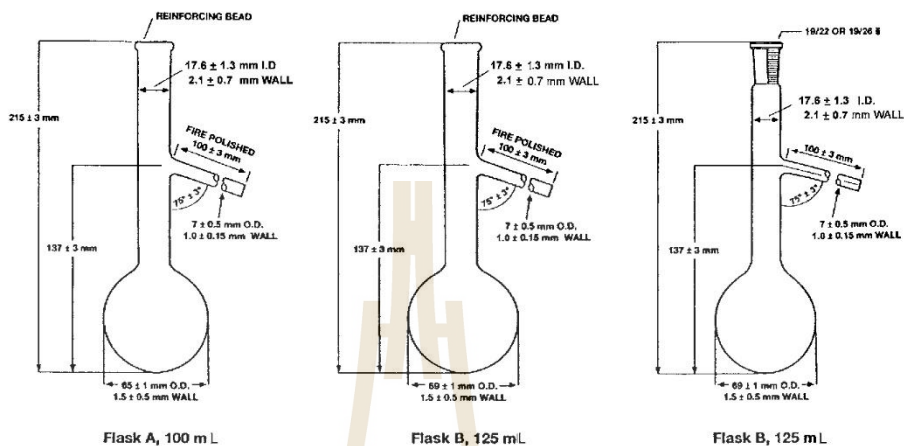
NOTE A2.3—Heaters, adjustable from 0 to 1000 W, have been found to be suitable for this purpose.

A2.5 Flask Support:

A2.5.1 *Type 1*—Use a Type 1 flask support with a gas burner (see Fig. 1). This support consists of either a ring support of the ordinary laboratory type, 100 mm or larger in diameter, supported on a stand inside the shield, or a platform adjustable from the outside of the shield. On this ring or platform is mounted a hard board made of ceramic or other heat-resistant material, 3 to 6 mm in thickness, with a central opening 76 to 100 mm in diameter, and outside line dimensions slightly smaller than the inside boundaries of the shield.

A2.5.2 *Type 2*—Use a Type 2 flask support assembly with electric heating (see Fig. 2 as one example). The assembly consists of an adjustable system onto which the electric heater is mounted with provision for placement of a flask support

D 86 - 05



Flask A, 100 mL

Flask B, 125 mL

Flask B, 125 mL

FIG. A2.1 Flask A, 100 mL, Flask B, 125 mL, and Flask B with Ground Glass Joint, 125 mL

board (see A2.6) above the electric heater. The whole assembly is adjustable from the outside of the shield.

A2.6 *Flask Support Board*—The flask support board shall be constructed of ceramic or other heat-resistant material, 3 to 6 mm in thickness. Flask support boards are classified as A, B, or C, based on the size of the centrally located opening, the dimension of which is shown in Table 1. The flask support board shall be of sufficient dimension to ensure that thermal heat to the flask only comes from the central opening and that extraneous heat to the flask other than through the central opening is minimized. (**Warning**—Asbestos-containing materials shall not be used in the construction of the flask support board.)

A2.7 The flask support board can be moved slightly in different directions on the horizontal plane to position the distillation flask so that direct heat is applied to the flask only through the opening in this board. Usually, the position of the flask is set by adjusting the length of the side-arm inserted into the condenser.

A2.8 Provision shall be made for moving the flask support assembly vertically so that the flask support board is in direct contact with the bottom of the distillation flask during the distillation. The assembly is moved down to allow for easy mounting and removal of the distillation flask from the unit.

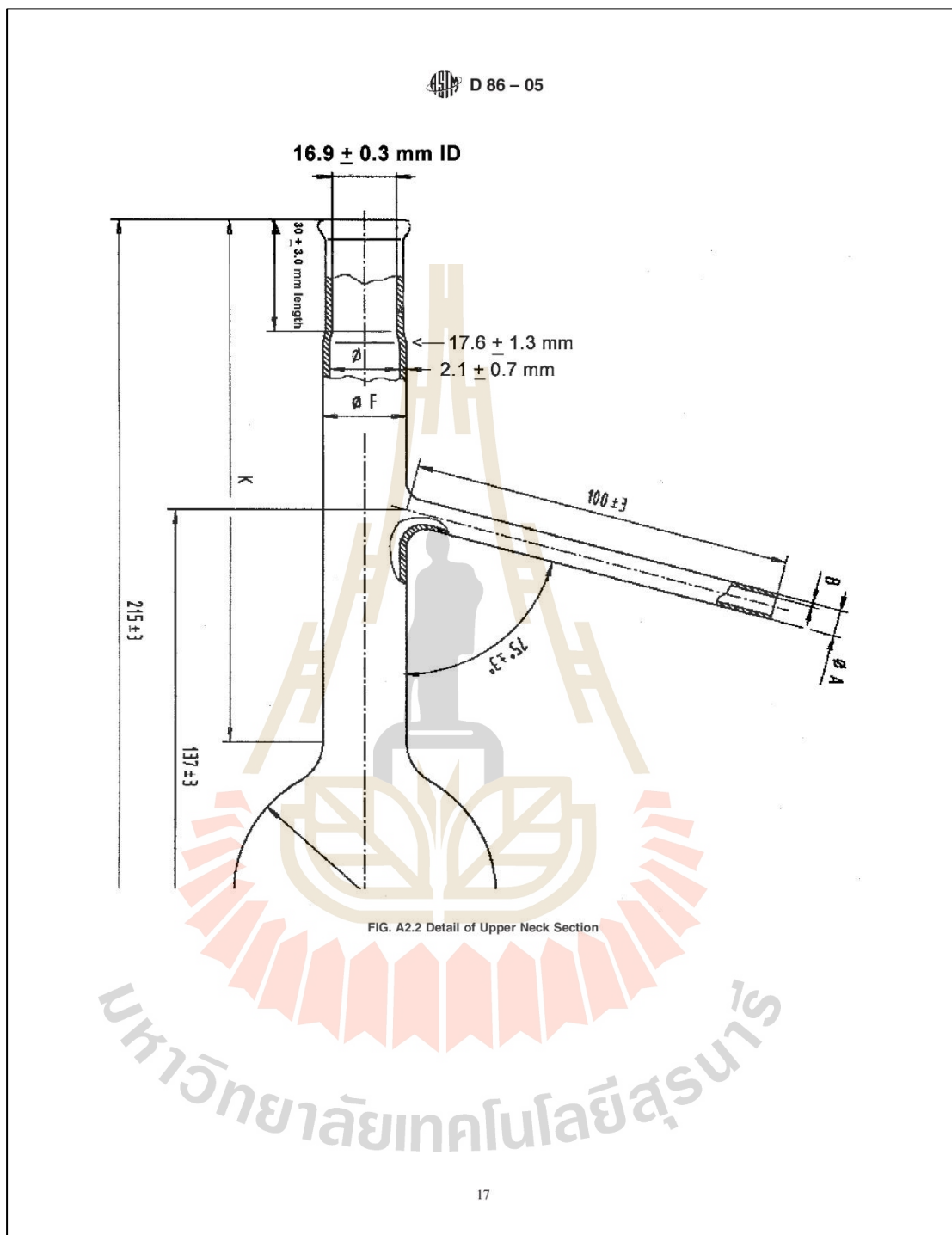
A2.9 *Receiving Cylinders*—The receiving cylinder shall have a capacity to measure and collect 100 mL. The shape of the base shall be such that the receiver does not topple when placed empty on a surface inclined at an angle of 13° from the horizontal.

A2.9.1 *Manual Method*—The cylinder shall be graduated at intervals of 1 mL and have a graduation at the 100-mL mark. Construction details and tolerances for the graduated cylinder are shown in Fig. A2.4.

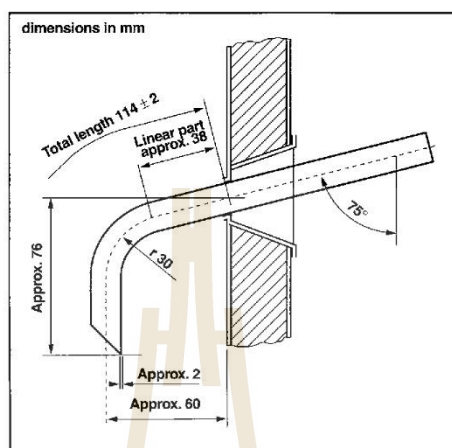
A2.9.2 *Automated Method*—The cylinder shall conform to the physical specifications described in Fig. A2.4, except that graduations below the 100-mL mark are permitted, as long as they do not interfere with the operation of the level follower. Receiving cylinders for use in automated units may also have a metal base.

A2.9.3 If required, the receiving cylinder shall be immersed during the distillation to above the 100-mL graduation line in a cooling liquid contained in a cooling bath, such as a tall-form beaker of clear glass or transparent plastic. Alternatively, the receiving cylinder may be placed in a thermostated bath air circulation chamber.

A2.10 *Residue Cylinder*—The graduated cylinder shall have a capacity of 5 or 10 mL, with graduations into 0.1 mL subdivisions, beginning at 0.1 mL. The top of the cylinder may be flared, the other properties shall conform to Specification E 1272.



D 86 – 05



Lower End of Condenser Tube

FIG. A2.3 Lower End of Condenser Tube

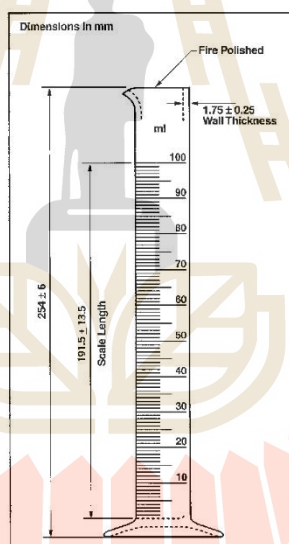
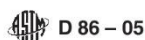
NOTE—1 to 100 mL in 1 mL graduations; tolerance ± 1.0 mL.

FIG. A2.4 100 mL Graduated Cylinder



A3. DETERMINATION OF THE DIFFERENCE IN LAG TIME BETWEEN AN ELECTRONIC TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM AND A MERCURY-IN-GLASS THERMOMETER

A3.1 The response time of an electronic temperature measuring device is inherently more rapid than that of a mercury-in-glass thermometer. The temperature measuring device assembly in general use, consisting of the sensor and its casing, or an electronic system and its associated software, or both, is so designed that the temperature measuring system will simulate the temperature lag of the mercury-in-glass thermometer.

A3.2 To determine the difference in lag time between such a temperature measuring system and a mercury-in-glass thermometer, analyze a sample such as gasoline, kerosine, jet fuel, or light diesel fuel with the electronic temperature measurement system in place and in accordance with the procedures described in this test method. In most cases this is the standard distillation step performed with an automated unit.

A3.2.1 Do not use a single pure compound, a very narrow boiling range product, or a synthetic blend of less than six compounds for this test.

A3.2.2 Best results are obtained with a sample that is typical of the sample load of the laboratory. Alternatively, use a full-range mixture with a 5 to 95 % boiling range of at least 100°C.

A3.3 Replace the electronic temperature measuring device with a low range or a high range mercury-in-glass thermometer, depending on the boiling range of the sample.

A3.4 Repeat the distillation with this thermometer, and manually record the temperature at the various percent recovered as described in 10.14.

A3.5 Calculate the values for the repeatability for the observed slope ($\Delta T/\Delta V$) for the different readings in the test.

A3.6 Compare the test data obtained using these two temperature measuring devices. The difference at any point shall be equal to, or less than, the repeatability of the method at that point. If this difference is larger, replace the electronic temperature measuring device or adjust the electronics involved, or both.

A4. PROCEDURE TO DETERMINE THE PERCENT EVAPORATED OR PERCENT RECOVERED AT A PRESCRIBED TEMPERATURE READING

A4.1 Many specifications require specific percentages evaporated or recovered at prescribed temperature readings, either as maxima, minima, or ranges. The procedures to determine these values are frequently designated by the terms Exxx or Rxxx, where xxx is the desired temperature.

Note A4.1—Regulatory standards on the certification of reformulated gasoline under the complex model procedure require the determination of E 200 and E 300, defined as the percent evaporated fuel at 93.3°C (200°F) and 148.9°C (300°F), respectively. E 158, the percent evaporated at a distillation temperature of 70°C (158°F), is also used in describing fuel volatility characteristics. Other typical temperatures are R 200 for kerosines and R 250 and R 350 for gas oils, where R 200, R 250, and R 350 are the percent recovered fuel at 200°C, 250°C, and 350°C, respectively.

A4.2 Determine the barometric pressure, and calculate the correction to the desired temperature reading using Eq 3, Eq 4, or Eq 5 for $t = xxx^\circ\text{C}$ (or $t_f = xxx^\circ\text{F}$).

A4.2.1 *Manual Method*—Determine this correction to 0.5°C (1°F).

A4.2.2 *Automated Method*—Determine this correction to 0.1°C (0.2°F).

A4.3 Determine the expected temperature reading to yield xxx°C (or xxx°F) after the barometric correction. To obtain the expected value, add the absolute value of the calculated correction to the desired temperature if the barometric pressure is above 101.3 kPa. If the barometric pressure is below 101.3 kPa, subtract the absolute value of the calculated correction from the desired temperature.

A4.4 Perform the distillation, as described in Section 10,

while taking into account A4.5 and A4.6.

A4.5 *Manual Distillation:*

A4.5.1 In the region between about 10°C below and 10°C above the desired expected temperature reading determined in A4.3 record the temperature reading in intervals of 1 volume %.


A4.5.2 If the intent of the distillation is to solely determine the value of Exxx or Rxxx, discontinue the distillation after at least another 2 mL of distillate have been collected. Otherwise, continue the distillation, as described in Section 10, and determine the observed loss, as described in 11.1.

A4.5.2.1 If the intent of the distillation is to determine the value of Exxx and the distillation was terminated after about 2 mL of distillate was collected beyond the desired temperature, allow the distillate to drain into the receiving graduate. Allow the contents of the flask to cool to below approximately 40°C and then drain its contents into the receiving graduate. Note the volume of product in the receiving graduate to the nearest 0.5 mL at 2 min intervals until two successive observations agree.

A4.5.2.2 The amount recovered in the receiving graduate is the percent recovery. Determine the amount of observed loss by subtracting the percent recovery from 100.0.

A4.6 *Automated Distillation:*

A4.6.1 In the region between about 10°C below and 10°C above the desired expected temperature reading determined in A4.3, collect temperature-volume data at 0.1 volume % intervals or less.


D 86 – 05

A4.6.2 Continue the distillation, as described in Section 10, and determine the percent loss, as described in 11.1.

A4.7 Calculations:

A4.7.1 *Manual Method*—If a volume % recovered reading is not available at the exact temperature calculated in A4.3, determine the percent recovered by interpolation between the two adjacent readings. Either the linear, as described in 11.6.1, or the graphical procedure, as described in 11.6.2, is permitted. The percent recovered is equal to Rxxx.

A4.7.2 *Automated Method*—Report the observed volume to 0.1 volume % corresponding to the temperature closest to the expected temperature reading. This is the percent recovered, or Rxxx.

A4.7.3 *Manual and Automated Methods*—To determine the value of Exxx, add the observed loss to the percent recovered, Rxxx, as determined in A4.7.1 or A4.7.2 and as described in Eq 9.

A4.7.3.1 As prescribed in 12.6, do not use the corrected loss.

A4.8 Precision:

A4.8.1 The statistical determination of the precision of the volume % evaporated or recovered at a prescribed temperature has not been directly measured in an interlaboratory program. It can be shown that the precision of the volume % evaporated or recovered at a prescribed temperature is equivalent to the precision of the temperature measurement at that point divided by the rate of change of temperature versus volume % evaporated or recovered. The estimation of precision becomes less precise at high slope values.

A4.8.2 Calculate the slope or rate of change in temperature reading, S_C (or S_F), as described in 13.2 and Eq 11 and using temperature values bracketing the desired temperature.

A4.8.3 Calculate the repeatability, r , or the reproducibility, R , from the slope, S_C (or S_F), and the data in Table 8, Table 9, or Table 10.

A4.8.4 Determine the repeatability or reproducibility, or both, of the volume % evaporated or recovered at a prescribed temperature from the following formulas:

$$r_{\text{volume \%}} = rS_C(S_F) \quad (\text{A4.1})$$

$$R_{\text{volume \%}} = RS_C(S_F) \quad (\text{A4.2})$$

where:

- $r_{\text{volume \%}}$ = repeatability of the volume % evaporated or recovered,
- $R_{\text{volume \%}}$ = reproducibility of the volume % evaporated or recovered,
- r = repeatability of the temperature at the prescribed temperature at the observed percent distilled,
- R = reproducibility of the temperature at the prescribed temperature at the observed percent distilled, and
- $S_C(S_F)$ = rate of change in temperature reading in °C (°F) per the volume % evaporated or recovered.

A4.8.5 Examples on how to calculate the repeatability and the reproducibility are shown in Appendix X2.

A5. REPEATABILITY FOR GROUP 0 SAMPLES

A5.1 Differences in duplicate temperature readings for each prescribed percentage point should not exceed the amounts equivalent to 2 mL of distillate at each point in question.

A5.2 The difference, d , in temperature between two readings 2 mL apart for Determination 1 at Volume V is either:

$$d_1 = |T_1(V-2) - T_1(V)| \quad (\text{A5.1})$$

$$d_2 = |T_1(V+2) - T_1(V)| \quad (\text{A5.2})$$

A5.2.1 For Determination 2, the two values of d are

$$d_3 = |T_2(V-2) - T_2(V)| \quad (\text{A5.3})$$

$$d_4 = |T_2(V+2) - T_2(V)| \quad (\text{A5.4})$$

where:

- $T_x(V)$ = temperature reading of sample x at volume V ,
- $T_x(V+2)$ = temperature reading of sample x at volume $V+2$ mL, and
- $T_x(V-2)$ = temperature reading of sample x at volume $V-2$ mL.

A5.2.2 To be conservative, we now choose the smallest of these four values, that is,

$$d_{\min} = \text{lowest value of } d_1, d_2, d_3, \text{ or } d_4 \quad (\text{A5.5})$$

A5.2.3 Duplicate temperature readings are deemed to be within the repeatability criterion if

$$|T_1(V) - T_2(V)| \leq d_{\min} \quad (\text{A5.6})$$


D 86 – 05
APPENDICES

(Nonmandatory Information)

X1. EXAMPLES ILLUSTRATING CALCULATIONS FOR REPORTING OF DATA

% recovered	Barometric pressure observed 98.6 kPa 740 mm Hg		Barometric pressure corrected 101.3 kPa 760 mm Hg		% evaporated	procedure arithmetic/graphical	
	°C	°F	°C	°F		°C	°F
IBP	25.5	78	26.2	79.2	5	26.7	80.0
5	33.0	91	33.7	92.7	10	34.1	93.4
10	39.5	103	40.3	104.5	15	40.7	105.2
15	46.0	115	46.8	116.2	20	47.3	117.1
20	54.5	130	55.3	131.5	30	65.7	150.2
30	74.0	165	74.8	166.7	40	84.9	184.9
40	93.0	199	93.9	201.0	50	101.9	215.3
50	108.0	226	108.9	228.0	60	116.9	242.4
60	123.0	253	124.0	255.1	70	134.1	273.3
70	142.0	288	143.0	289.4	80	156.0	312.8
80	166.5	332	167.6	333.6	85	168.4	335.1
85	180.5	357	181.6	358.9	90	182.8	361.0
90	200.4	393	201.6	394.8	95	202.4	396.3
EP	215.0	419	216.2	421.1			
recovered, %	94.2		95.3				
residue, %	1.1		1.1				
loss, %	4.7		3.6				

FIG. X1.1 Example of Test Report

X1.1 The observed distillation data used for the calculation of the examples below are shown in the first three columns of Fig. X1.1.

X1.1.1 Temperature readings corrected to 101.3 kPa (760 mm Hg) pressure (see 11.3) are as follows:

$$\text{correction } (^{\circ}\text{C}) = 0.0009(101.3 - 98.6)(273 + t_o) \quad (\text{X1.1})$$

$$\text{correction } (^{\circ}\text{F}) = 0.00012(760 - 740)(460 + t_o) \quad (\text{X1.2})$$

X1.1.2 Loss correction to 101.3 kPa (see 11.4) are as follows. The data for the examples are taken from Fig. X1.1.

$$\text{corrected loss} = (0.5 + (4.7 - 0.5)l) \quad (\text{X1.3})$$

$$\{1 + (101.3 - 98.6)/8.0\} = 3.6$$

X1.1.3 Recovery correction to 101.3 kPa (see 11.4.1) are as follows:

$$\text{corrected recovery} = 94.2 + (4.7 - 3.6) = 95.3 \quad (\text{X1.4})$$

X1.2 Temperature Readings at Prescribed Percent Evaporated:

X1.2.1 Temperature reading at 10% evaporated (4.7% observed loss = 5.3% recovered) (see 11.6.1) are as follows:

$$T_{10E} (^{\circ}\text{C}) = 33.7 + [(40.3 - 33.7)] \quad (\text{X1.5})$$

$$(5.3 - 5)/(10 - 5) = 34.1^{\circ}\text{C}$$

$$T_{10E} (^{\circ}\text{F}) = 92.7 + [(104.5 - 92.7)] \quad (\text{X1.6})$$

$$(5.3 - 5)/(10 - 5) = 93.1^{\circ}\text{F}$$

X1.2.2 Temperature reading at 50% evaporated (45.3% recovered) (see 11.6.1) are as follows:

$$T_{50E} (^{\circ}\text{C}) = 93.9 + [(108.9 - 93.9)] \quad (\text{X1.7})$$

$$(45.3 - 40)/(50 - 40) = 101.9^{\circ}\text{C}$$

$$T_{50E} (^{\circ}\text{F}) = 201 + [(228 - 201)] \quad (\text{X1.8})$$

$$(45.3 - 40)/(50 - 40) = 215.3^{\circ}\text{F}$$

X1.2.3 Temperature reading at 90% evaporated (85.3% recovered) (see 11.6.1) are as follows:

$$T_{90E} (^{\circ}\text{C}) = 181.6 + [(201.6 - 181.6)] \quad (\text{X1.9})$$

$$(85.3 - 85)/(90 - 85) = 182.8^{\circ}\text{C}$$

$$T_{90E} (^{\circ}\text{F}) = 358.9 + [(394.8 - 358.9)] \quad (\text{X1.10})$$

$$(85.3 - 85)/(90 - 85) = 361.0^{\circ}\text{F}$$

X1.2.4 Temperature reading at 90% evaporated (85.3% recovered) not corrected to 101.3 kPa pressure (see 11.6.1) are as follows:

$$T_{90E} (^{\circ}\text{C}) = 180.5 + [(200.4 - 180.5)] \quad (\text{X1.11})$$

$$(85.3 - 85)/(90 - 85) = 181.7^{\circ}\text{C}$$

$$T_{90E} (^{\circ}\text{F}) = 357 + [(392 - 357)] \quad (\text{X1.12})$$

$$(85.3 - 85)/(90 - 85) = 359.1^{\circ}\text{F}$$

NOTE X1.1—Results calculated from $^{\circ}\text{C}$ data may not correspond exactly to results calculated from $^{\circ}\text{F}$ data because of errors in rounding.

X2. EXAMPLES OF CALCULATION OF REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY OF VOLUME % (RECOVERED OR EVAPORATED) AT A PRESCRIBED TEMPERATURE READING

X2.1 Some specifications require the reporting of the volume % evaporated or recovered at a prescribed temperature. Table X2.1 shows the distillation data of a Group 1 sample as obtained by an automated unit.

X2.2 Example Calculation:

X2.2.1 For a Group 1 sample exhibiting distillation characteristics as per Table X2.1, as determined by an automated unit, the reproducibility of the volume evaporated, R_v volume %, at 93.3 $^{\circ}\text{C}$ (200 $^{\circ}\text{F}$) is determined as follows:

X2.2.1.1 Determine first the slope at the desired temperature:

$$S_C \% = 0.1(T_{(20)} - T_{(10)}) \quad (\text{X2.1})$$

$$= 0.1(94 - 83)$$

$$= 1.1$$

$$S_F \% = 0.1(T_{(20)} - T_{(10)})$$

$$= 0.1(201 - 182)$$

$$= 1.9$$


D 86 – 05
TABLE X2.1 Distillation Data from a Group 1 Sample Automated Distillation

Distillation Point Recovered, mL	Temperature° C	Temperature °F	Volume (mL) Recovered at 93.3°C (200°F)
10	84	183	18.0
20	94	202	
30	103	217	
40	112	233	

Distillation Point Evaporated, mL	Temperature° C	Temperature° F	Volume (mL) Evaporated at 93.3°C (200°F)
10	83	182	18.4
20	94	201	
30	103	217	
40	111	232	

X2.2.2 From Table 9, determine the value of R , the reproducibility at the observed percentage distilled. In this case, the observed percentage distilled is 18 % and

$$R = 3.3 + 2.0 (S_C) \quad (X2.2)$$

$$= 3.3 + 2.0 \times 1.1$$

$$= 5.5$$

$$R = 6.0 + 2.0 (S_F)$$

$$= 6.0 + 2.0 \times 1.9$$

$$= 9.8$$

X2.2.3 From the calculated value of R , determine the value of volume, as described in A4.8.4.

$$R \text{ volume } \% = R/(S_C) \quad (X2.3)$$

$$= 5.5/1.1$$

$$= 5.0$$

$$R \text{ volume } \% = R/(S_F)$$

$$= 9.8/1.9$$

$$= 5.1$$

X3. TABLES OF CORRECTED LOSS FROM MEASURED LOSS AND BAROMETRIC PRESSURE

X3.1 The table presented as Fig. X3.1 can be used to determine the corrected loss from the measured loss and the barometric pressure in kPa.

X3.2 The table presented as Fig. X3.2 can be used to determine the corrected loss from the measured loss and the barometric pressure in mm Hg.



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

D 86 - 05

Barometric Pressure, kPa


from through	76.1	80.9	84.5	87.3	89.6	91.5	93.1	94.1	95.5	96.4	97.2	97.9	98.4	98.9	99.5	100.0	100.4	100.8	101.2	101.5	102.0	102.4	102.8	103.2	
Observed Loss	80.8	84.4	87.2	89.5	91.4	93.0	94.0	95.4	96.3	97.1	97.8	98.3	98.8	99.4	99.9	100.3	100.7	101.1	101.4	101.9	102.3	102.7	103.1	103.5	
Units	0	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.11	0.09	0.06	0.04	0.02	-0.00	-0.02	-0.06	-0.09	-0.13	-0.17
Tenths	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

FIG. X3.1 Corrected Loss from Observed Loss and Barometric Pressure kPa

Barometric Pressure, mm Hg.

from through	571	607	634	655	672	686	698	706	716	723	729	734	738	742	746	750	753	756	759	762	765	768	771	774	
Observed Loss	606	633	654	671	685	697	705	715	722	728	733	737	741	745	749	752	755	758	761	764	767	770	773	776	
Units	0	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.11	0.09	0.07	0.05	0.02	-0.00	-0.03	-0.06	-0.09	-0.13	-0.17
Tenths	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

FIG. X3.2 Corrected Loss from Observed Loss and Barometric Pressure mm Hg


D 86 – 05
X4. PROCEDURE TO EMULATE THE EMERGENT STEM ERROR OF A MERCURY-IN-GLASS THERMOMETER

X4.1 When an electronic or other sensor without an emergent stem error is used, the output of this sensor or the associated data system should emulate the output of a mercury-in-glass thermometer. Based on information supplied by four manufacturers of automated Test Method D 86 equipment, the averaged equations shown in X4.2 and X4.3 have been reported to be in use.

X4.1.1 The equations shown in X4.2 have limited applicability and are shown for information purposes only. In addition to the correction for the emergent stem, the electronic sensor and associated data system will also have to emulate the lag in response time observed for mercury-in-glass thermometers.

X4.2 When a low range thermometer would have been used, no stem correction is to be applied below 20°C. Above this temperature, the correction is calculated using the following formula:

$$ASTM\ 7C\ T_{ehr} = T_t - 0.000162 \times (T_t - 20^\circ C)^2 \quad (X4.1)$$

X4.3 When a high range thermometer would have been used, no stem correction is to be applied below 35°C. Above this temperature the correction is calculated using the following formula:

$$ASTM\ 8C\ T_{ehr} = T_t - 0.000131 \times (T_t - 35^\circ C)^2 \quad (X4.2)$$

where:

T_{elr} = emulated temperature in °C for low range thermometers,

T_{ehr} = emulated temperature in °C for high range thermometers, and

T_t = true temperature in °C.

X5. EXPLANATORY REPORT FORMS

X5.1 Fig. X5.1 and Fig. X5.2 show report forms.



D 86 – 05

"Percent Recovered" Report Form

Date: _____
 Time: _____
 Operator: _____

Ambient temperature (°C) _____
 Atmospheric pressure (kPa) _____
 Condenser temperature (°C) _____
 Temperature of the bath around receiving cylinder (°C) _____

Percent Recovered	Corrected Temperature Reading (°C)	Time or ml / min
IBP		
5		
10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		
55		
60		
65		
70		
75		
80		
85		
90		
5 ml residue		
FBP		

Percent Recovery _____
 Percent Residue _____
 Percent Total Recovery _____
 Percent Loss _____
 Corrected Percent Recovery _____
 Corrected Total Recovery _____

Comments:

- Ambient temperature at the start of the test
- Ambient barometric pressure at the start of the test
- Volume of condensate observed in the receiving cylinder at any point in the distillation, expressed as a percentage of the charge volume, in connection with simultaneous temperature reading
- Temperature measuring device readings which are corrected to 101.3 kPa barometric pressure
- Group 1, 2 & 3: 5 to 10 minutes
Group 4: 5 to 15 minutes
- Group 1 & 2: 60 to 100 seconds
- 4 to 5 ml / min uniform average rate from 5% recovered to 5 ml in flask
- Volume of condensate observed in the receiving cylinder when the 5 ml conditons are reached
- Volume of condensate observed in the receiving cylinder when the final boiling point is observed
- Maximum percent recovered
- Volume of residue in the flask expressed as a percentage of the charge volume
- Combined Percent Recovery and Percent Residue in the flask
- Time from 5 ml in flask to TDP = < 5 minutes
- 100 minus the Total Recovery
- Percent Recovery corrected for barometric pressure
- Percent Loss corrected for barometric pressure
- Combined Percent Recovery and Percent Residue in the flask corrected for barometric pressure

FIG. X5.1 Percent Recovered Report Form



ASTM D 86 - 05

"Percent Evaporated" Report Form

Laboratory: _____

Date: _____
 Time: _____
 Operator: _____

Ambient temperature (°C) _____
 Atmospheric pressure (kPa) _____
 Condenser temperature (°C) _____
 Temperature of the bath around receiving cylinder (°C) _____

Percent Recovered	Corrected Temperature Reading (°C)	Time or ml. / min	Percent Evaporated	Temperature Readings at prescribed percent evaporated (°C)
IBP			IBP	
5			5	
10			10	
15			15	
20			20	
25			25	
30			30	
35			35	
40			40	
45			45	
50			50	
55			55	
60			60	
65			65	
70			70	
75			75	
80			80	
85			85	
90			90	
5 ml residue				
95			95	
FBP			FBP	

Percent Recovery _____
 Percent Residue _____
 Percent Total Recovery _____
 Percent Loss _____
 Corrected Percent Recovery _____
 Corrected Total Recovery _____

Comments: _____

Ambient temperature at the start of the test

Ambient barometric pressure at the start of the test

Volume of condensate observed in the receiving cylinder at any point in the distillation, expressed as a percentage of the charge volume, in connection with simultaneous temperature reading

Temperature measuring device readings which are corrected to 101.3 kPa barometric pressure

Sum of the percent recovered and the percent loss

Temperature measuring device readings at specified percentages evaporated calculated with arithmetical or graphical procedures

Group 0: 2 to 5 minutes
 Group 1, 2 & 3: 5 to 10 minutes
 Group 4: 5 to 15 minutes
 Group 1 & 2: 60 to 100 seconds

Group 0: time from first application of heat to 10% recovered = 3 to 4 minutes
 Group 0, 1, 2, 3 & 4: 4 to 5 ml / min uniform average rate from 5% recovered to 5 ml in flask

Volume of condensate observed in the receiving cylinder when the 5ml conditions are reached

Volume of condensate observed in the receiving cylinder when the final boiling point is observed

Maximum percent recovered

Volume of residue in the flask expressed as a percentage of the charge volume

Combined Percent Recovery and Percent Residue in the flask

Time from 5 ml in flask to FBP =< 5 minutes

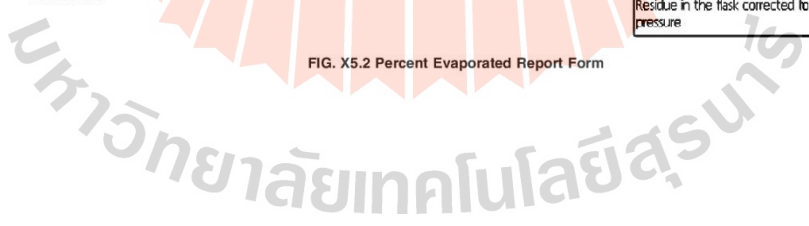
100 minus the Total Recovery

Percent Recovery corrected for barometric pressure

Percent Loss corrected for barometric pressure

Combined Percent Recovery and Percent Residue in the flask corrected for barometric pressure

FIG. X5.2 Percent Evaporated Report Form




D 86 – 05
SUMMARY OF CHANGES

Subcommittee D02.08 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue, (D 86–04b), that may impact the use of this standard. (Approved July 1, 2005.)

- (1) Replaced **Table 4** with new values.
- (2) Revised **9.1.2-9.1.2.2, 9.1.5, and Notes 9-11.**
- (3) Added **13.5.3** and footnote reference to the research report.
- (4) Added **Appendix X5**, and cross-reference in **Section 12.1.**

Subcommittee D02.08 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue, (D 86–04a), that may impact the use of this standard. (Approved May 1, 2004.)

- (1) Replaced dimensions in **Fig. A2.1** and added **Fig. A2.2.**

Subcommittee D02.08 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue, (D 86–04), that may impact the use of this standard. (Approved April 1, 2004.)

- (1) Revised **10.19.1.1** and added **Note 18.**

Subcommittee D02.08 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue, (D 86–03), that may impact the use of this standard. (Approved Feb. 1, 2004.)

- (1) Corrected section cross-reference in **3.1.13.**
- (2) Corrected table references in **10.2** and **10.3.**

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาคผนวก ง

ประกาศจากกรมธุรกิจพลังงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

พ.ศ. ๒๕๕๖

โดยที่เป็นการสมควรแก้ไขปรับปรุงข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลหมุนเร็วในสัดส่วนที่สูงขึ้น อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๒๕ วรรคหนึ่ง แห่งพระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. ๒๕๔๓ อธิบดีออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ประกาศนี้เรียกว่า “ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. ๒๕๕๖”

ข้อ ๒ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันที่ ๑ มกราคม ๒๕๕๗ เป็นต้นไป

ข้อ ๓ ให้ยกเลิกประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. ๒๕๕๒

ข้อ ๔ ประกาศนี้มิให้ใช้บังคับกับไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่จำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไปนอกราชอาณาจักร โดยการขนส่งทางทะเล

ข้อ ๕ ภายใต้บังคับของข้อ ๑๐ ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันให้เป็นไปตามรายละเอียดแนบท้ายประกาศนี้

การเติมสารเติมแต่งในไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ให้ผู้ค้าน้ำมันแจ้งขอความเห็นชอบและต้องได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีก่อน จึงจะดำเนินการได้

ข้อ ๖ ให้ผู้ค้าน้ำมันที่ประสงค์จะจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ยื่นแบบแจ้งเพื่อขอรับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พร้อมเอกสารประกอบต่ออธิบดี ตามแบบ ธพ. ค ๔๐๖ ท้ายประกาศนี้

ข้อ ๗ เมื่ออธิบดีพิจารณาแล้วเห็นสมควรให้ความเห็นชอบการจำหน่าย หรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามที่ผู้ค้าน้ำมันแจ้งแล้ว กรมธุรกิจพลังงานจะออกหนังสือรับรองการให้ความเห็นชอบ ตามแบบ ธพ. ค ๔๐๗ ท้ายประกาศนี้

หนังสือรับรองการให้ความเห็นชอบตามวรรคหนึ่ง ให้มีกำหนดระยะเวลาไม่เกินสามปี นับแต่วันที่ออกหนังสือ

ข้อ ๘ ผู้ค้าน้ำมันที่ได้รับความเห็นชอบให้จำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามข้อ ๗ ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไข ดังนี้

(๑) ผลิตหรือจำหน่ายไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ณ สถานที่ ที่กำหนดไว้ในหนังสือรับรอง

(๒) ส่งบัญชีตามแบบ ธพ. ๘ ๒๑๓ และแบบ ธพ. ค ๔๐๘ ท้ายประกาศนี้ เกี่ยวกับปริมาณของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่นำเข้ามาในราชอาณาจักร ชื่อ กลั่น ผลิต ได้มาจำหน่ายไปแล้ว และที่เหลืออยู่ในแต่ละเดือน ต่อกรมธุรกิจพลังงาน ภายในวันที่สิบห้าของเดือนถัดไป

(๓) ผู้ค้าน้ำมันที่ประสงค์จะเปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มเติม ชื่อ สถานที่ตั้งสำนักงานแห่งใหญ่ สถานที่ผลิต สถานที่จำหน่าย หรือรายละเอียดใด ๆ ที่ได้แจ้งหรือระบุไว้ในแบบแจ้งซึ่งได้รับความเห็นชอบแล้ว ให้ทำหนังสือแจ้งต่อกรมธุรกิจพลังงาน ล่วงหน้าไม่น้อยกว่าสิบห้าวัน ก่อนวันที่ประสงค์จะเปลี่ยนแปลง หรือเพิ่มเติม แล้วแต่กรณี

(๔) ผู้ค้าน้ำมันที่ประสงค์จะเลิกการผลิต การจำหน่ายไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ให้ทำหนังสือแจ้งต่อกรมธุรกิจพลังงาน ภายในสามสิบวันนับแต่วันที่เลิกการผลิต การจำหน่ายแล้วแต่กรณี

ข้อ ๙ การยื่นแบบแจ้งเพื่อขอรับความเห็นชอบตามข้อ ๖ ให้ยื่น ณ สถานที่ ดังต่อไปนี้

(๑) กรณีสถานประกอบการ หรือสำนักงานแห่งใหญ่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร ให้ยื่นที่กรมธุรกิจพลังงาน

(๒) กรณีสถานประกอบการ หรือสำนักงานแห่งใหญ่ตั้งอยู่ในจังหวัดอื่น ๆ ให้ยื่นที่สำนักงานพลังงานจังหวัด ณ จังหวัดที่สถานประกอบการตั้งอยู่

ข้อ ๑๐ ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ผู้ค้าน้ำมันจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายดังต่อไปนี้ จะไม่เป็นไปตามที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายประกาศนี้ได้ แต่ผู้ค้าน้ำมันต้องแจ้งลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดังกล่าวเฉพาะส่วนที่ไม่เป็นไปตามที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้าย เพื่อขอความเห็นชอบและต้องได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีก่อน

(๑) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการส่งออกป้อนราชอาณาจักรนอกจากการขนส่งทางทะเล

(๒) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการนำไปใช้กับยานพาหนะที่ส่งออกป้อนราชอาณาจักร

(๓) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการนำไปใช้ในการอื่นนอกเหนือจากการใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ทั้งนี้ ให้รวมถึงไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่นำเข้ามาในราชอาณาจักรเพื่อวัตถุประสงค์นี้ด้วย

(๔) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการนำไปใช้ตามโครงการหรือนโยบายของรัฐบาล หรืองานวิจัย หรืองานทดสอบเครื่องยนต์ ทั้งนี้ ให้รวมถึงไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่นำเข้ามาในราชอาณาจักรเพื่อวัตถุประสงค์นี้ด้วย

(๕) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ผู้ค้าน้ำมันซึ่งเป็นผู้ผลิตไบโอดีเซลนำเข้ามาในราชอาณาจักร สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล หรือเพื่อจำหน่ายให้แก่ผู้ค้าน้ำมันซึ่งเป็นผู้ผลิตไบโอดีเซลตามวัตถุประสงค์นี้ด้วย

หน้า ๑๗
เล่ม ๑๓๐ ตอนพิเศษ ๑๕๘ ง ราชกิจจานุเบกษา ๑๔ พฤศจิกายน ๒๕๕๖

(๖) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการจำหน่ายให้แก่ผู้ค้าน้ำมัน ซึ่งเป็นผู้ผลิตไบโอดีเซล เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

(๗) ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสำหรับการจำหน่ายให้แก่ผู้ค้าน้ำมันตาม (๑) (๒) (๓) และ (๔)

ข้อ ๑๑ การขอและการให้ความเห็นชอบตามข้อ ๕ วรรคสอง ข้อ ๖ และข้อ ๑๐ ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกำหนด

ข้อ ๑๒ ประกาศนี้ไม่กระทบกระเทือนการให้ความเห็นชอบการเติมสารเติมแต่งในไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน หรือการให้ความเห็นชอบลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้ให้ความเห็นชอบไปแล้วก่อนวันที่ประกาศนี้มีผลใช้บังคับ และให้คงใช้ต่อไปเท่าที่ไม่ขัดหรือแย้งกับประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๘ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๕๖

สมนึก บำรุงสาลี

อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน
เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน
พ.ศ. ๒๕๕๖

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ ^๕	
๑	เมทิลเอสเตอร์ (Methyl Ester,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่ต่ำกว่า	๙๖.๕	EN ๑๔๑๐๓
๒	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ ๑๕ °ซ (Density at 15 °C	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	๘๖๐ ๘๐๐	ASTM D ๑๒๙๘
๓	ความหนืด ณ อุณหภูมิ ๔๐ °ซ (Viscosity at 40 °C	เซนติสโตกส์ cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	๓.๕ ๕.๐	ASTM D ๔๔๕
๔	จุดวาบไฟ (Flash Point,	องศาเซลเซียส °C)	ไม่ต่ำกว่า	๑๒๐	ASTM D ๙๓
๕	กำมะถัน (Sulphur,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๐๐๑๐	ASTM D ๒๖๒๒
๖	กากถ่าน จากร้อยละ ๑๐ ของส่วนที่เหลือจากการกลั่น (Carbon Residue, on 10% Distillation Residue	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๓๐	ASTM D ๔๕๑๐
๗	จำนวนซีเทน (Cetane Number)		ไม่ต่ำกว่า	๕๑	ASTM D ๖๑๓
๘	เถ้าซัลเฟต (Sulphated Ash,	ร้อยละโดยน้ำหนัก %wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๐๒	ASTM D ๘๗๗๔
๙	น้ำ (Water	มิลลิกรัม/กิโลกรัม mg/kg)	ไม่สูงกว่า	๕๐๐	EN ISO ๑๒๙๓๗
๑๐	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total Contamination	มิลลิกรัม/กิโลกรัม mg/kg)	ไม่สูงกว่า	๒๔	EN ๑๒๖๖๒
๑๑	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)		ไม่สูงกว่า	หมายเลข ๑	ASTM D ๑๓๐
๑๒	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ ๑๑๐ °ซ (Oxidation Stability at 110 °C	ชั่วโมง hr.)	ไม่ต่ำกว่า	๑๐	EN ๑๕๗๕๑
๑๓	ค่าความเป็นกรด (Acid Value ,	มิลลิกรัมโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	๐.๕๐	ASTM D ๖๖๔

(ต่อ -๒-)

- ๒ -

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด ^{๑/}	วิธีทดสอบ ^{๒/}
๑๔	ค่าไอโอดีน (Iodine Value , กรณีนไอโอดีน/๑๐๐ กรัม) g Iodine / 100g	ไม่สูงกว่า	๑๒๐ EN ๑๔๑๑๑
๑๕	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (Linolenic Acid Methyl Ester , ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า	๑๒.๐ EN ๑๔๑๐๓
๑๖	เมทานอล (Methanol , ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๒๐ EN ๑๔๑๑๐
๑๗	โมนอกลิเซอไรต์ (Monoglyceride , ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๗๐ EN ๑๔๑๐๕
๑๘	ไดกลีเซอไรต์ (Diglyceride , ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๒๐ EN ๑๔๑๐๕
๑๙	ไตรกลีเซอไรต์ (Triglyceride , ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๒๐ EN ๑๔๑๐๕
๒๐	กลีเซอรินอิสระ (Free glycerin , ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๐๒ EN ๑๔๑๐๕
๒๑	กลีเซอรินทั้งหมด (Total glycerin , ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๒๕ EN ๑๔๑๐๕
๒๒	โลหะกลุ่ม ๑ (โซเดียมและโปแตสเซียม) (Group I metals (Na +K) , มิลลิกรัม/กิโลกรัม mg/kg)	ไม่สูงกว่า	๕.๐ EN ๑๔๕๓๘
	โลหะกลุ่ม ๒ (แคลเซียมและแมกนีเซียม) (Group II metals (Ca + Mg) , มิลลิกรัม/กิโลกรัม mg/kg)	ไม่สูงกว่า	๕.๐ EN ๑๔๕๓๘
๒๓	ฟอสฟอรัส (Phosphorus , ร้อยละโดยน้ำหนัก % wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๐๐๑๐ EN ๑๔๑๐๗
๒๔	จุดขุ่น (Cloud Point : CP องศาเซลเซียส °C)		รายงาน ^{๒/}
๒๕	จุดอุดตันการไหลที่อุณหภูมิต่ำ Cold Flow Plugging Point : CFPP องศาเซลเซียส °C)		รายงาน ^{๒/}
๒๖	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additives , If Any)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดี	

หมายเหตุ ๑/ วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายนี้
๒/ ให้ผู้ค้าน้ำมันรายงานต่ออธิบดีเป็นรายไตรมาส ภายในวันที่ ๑๕ ของเดือนถัดจากเดือนสุดท้ายของไตรมาสนั้น



หน้า ๕

เล่ม ๑๒๓ ตอนพิเศษ ๗๙ ง

ราชกิจจานุเบกษา

๒๑ กรกฎาคม ๒๕๔๙

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน)

พ.ศ. ๒๕๔๙

เพื่อเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนให้ชุมชนได้มีการผลิตและการใช้ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๒๕ วรรคหนึ่ง แห่งพระราชบัญญัติการค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. ๒๕๔๓ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๗ ประกอบกับมาตรา ๓๕ มาตรา ๔๘ และมาตรา ๕๐ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย อธิบดีกรมธุรกิจพลังงานออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ประกาศนี้เรียกว่า "ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลชุมชนสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. ๒๕๔๙"

ข้อ ๒ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ ๓ ในประกาศนี้

"เครื่องยนต์การเกษตร" หมายความว่า เครื่องยนต์สูบเดียว ๔ จังหวะ สูบนอน ระบายความร้อนด้วยน้ำ

ข้อ ๔ ประกาศนี้มิให้ใช้บังคับกับไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ที่จำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไปนอกราชอาณาจักรโดยการขนส่งทางทะเล

ข้อ ๕ ภายใต้อำนาจของข้อ ๑๑ ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ให้เป็นไปตามรายละเอียดแนบท้ายประกาศนี้

การเติมสารเติมแต่งในไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ให้ผู้ค้าน้ำมันแจ้งขอความเห็นชอบและต้องได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงานก่อน จึงจะดำเนินการได้

ข้อ ๖ ให้ผู้ค้าน้ำมันที่ประสงค์จะจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ยื่นแบบแจ้งขอรับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พร้อมเอกสารประกอบต่ออธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน ตามแบบ นพ.๔๒๕ ท้ายประกาศนี้

หน้า ๖

เล่ม ๑๒๓ ตอนพิเศษ ๗๙ ง

ราชกิจจานุเบกษา

๒๑ กรกฎาคม ๒๕๔๙

ข้อ ๗ เมื่ออธิบดีให้ความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อการจำหน่ายไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ตามที่ผู้ค้าน้ำมันแจ้งแล้ว กรมธุรกิจพลังงานจะออกหนังสือรับรองการให้ความเห็นชอบ ตามแบบ นพ. ๔๒๖ ท้ายประกาศนี้

หนังสือรับรองการให้ความเห็นชอบตามวรรคหนึ่ง ให้มีกำหนดระยะเวลาไม่เกิน ๓ ปี นับแต่วันที่ยื่น

ข้อ ๘ ผู้ค้าน้ำมันที่ได้รับความเห็นชอบให้จำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ตามข้อ ๗ ต้องปฏิบัติตามเงื่อนไข ดังนี้

(๑) ติดป้ายแสดงชื่อ "ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) สุบเดียว ๔ จังหวะ สุบนอน ระบายความร้อนด้วยน้ำ" ขนาดตัวอักษรไม่ต่ำกว่า ๕ เซนติเมตร ณ จุดจำหน่าย ให้เห็นได้อย่างชัดเจน

(๒) ผลิตหรือจำหน่ายไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ณ สถานที่ที่กำหนดไว้ในหนังสือรับรอง

(๓) จัดเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) เพื่อส่งมอบให้แก่พนักงานเจ้าหน้าที่ทำการตรวจสอบลักษณะและคุณภาพตามความจำเป็น เป็นครั้งคราวตามคำสั่งของพนักงานเจ้าหน้าที่

(๔) รายงานข้อมูลการจัดหา การจำหน่าย และยอดคงเหลือของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ตามแบบ นพ. ๔๒๗ ท้ายประกาศนี้ ต่อกรมธุรกิจพลังงาน ภายในวันที่ ๑๕ ของเดือนถัดไป

(๕) ผู้ค้าน้ำมันที่ประสงค์จะทำการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติม ชื่อ สถานที่ตั้งสำนักงานใหญ่ สถานที่ผลิต สถานที่จำหน่าย หรือรายละเอียดใดๆ ที่ได้แจ้งหรือระบุไว้ในแบบแจ้งซึ่งได้รับความเห็นชอบแล้ว ให้ทำหนังสือแจ้งต่อกรมธุรกิจพลังงาน ล่วงหน้าไม่น้อยกว่า ๑๕ วัน ก่อนวันที่ประสงค์จะเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติม แล้วแต่กรณี

(๖) ผู้ค้าน้ำมันประสงค์เลิกการผลิต การจำหน่าย ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ให้ทำหนังสือแจ้งต่อกรมธุรกิจพลังงาน ภายในสามสิบวันนับแต่วันที่เลิกการผลิต การจำหน่าย แล้วแต่กรณี

ข้อ ๙ การยื่นแบบแจ้งเพื่อขอรับความเห็นชอบตามข้อ ๖ ให้ยื่น ณ สถานที่ ดังต่อไปนี้

(๑) กรณีสถานประกอบการ หรือสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร ให้ยื่นที่ศูนย์บริการจุดเดียวเบ็ดเสร็จ กรมธุรกิจพลังงาน

(๒) กรณีสถานประกอบการหรือสำนักงานใหญ่ตั้งอยู่ในจังหวัดอื่นๆ ให้ยื่นต่อสำนักงานพลังงานภูมิภาค ที่กำกับดูแลในเขตรับผิดชอบจังหวัดนั้น หรือหน่วยงานบริการธุรกิจพลังงาน ณ จังหวัดที่สถานประกอบการตั้งอยู่

ข้อ ๑๐ ให้ผู้ค้าน้ำมันซึ่งอยู่ในข่ายที่จะต้องขอรับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ในวันที่ประกาศนี้มีผลใช้บังคับ ยื่นแบบแจ้งขอรับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ภายในหกสิบวันนับแต่วันที่ประกาศนี้มีผลใช้บังคับ

ข้อ ๑๑ ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ที่ผู้ค้าน้ำมันจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายดังต่อไปนี้ จะไม่เป็นไปตามที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายประกาศนี้ก็ได้ แต่ผู้ค้าน้ำมันต้องแจ้งลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดังกล่าวเฉพาะส่วนที่ไม่เป็นไปตามที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้าย เพื่อขอความเห็นชอบและต้องได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงานก่อน

(๑) ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) เพื่อการส่งออกไปนอกราชอาณาจักร นอกจากการขนส่งทางทะเล

(๒) ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) เพื่อการนำไปใช้ตามโครงการหรือนโยบายของรัฐบาล หรืองานวิจัย

(๓) ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ที่นำเข้ามาในราชอาณาจักร สำหรับใช้ตามโครงการหรือนโยบายของรัฐบาล หรืองานวิจัย

(๔) ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ที่นำเข้ามาในราชอาณาจักร สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

(๕) ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) เพื่อการจำหน่ายให้แก่ผู้ค้าน้ำมันซึ่งเป็นผู้ผลิตไบโอดีเซล สำหรับนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

(๖) ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) เพื่อการจำหน่ายให้แก่ผู้ค้าน้ำมัน สำหรับวัตถุประสงค์ตาม (๑)

หน้า ๘

เล่ม ๑๒๓ ตอนพิเศษ ๗๙ ง

ราชกิจจานุเบกษา

๒๑ กรกฎาคม ๒๕๔๙

(๗) ไปโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไปโอดีเซลชุมชน) เพื่อการจำหน่ายให้แก่ผู้ผลิตไปโอดีเซล หรือผู้ค้าน้ำมันตามมาตรา ๗ สำหรับวัตถุประสงค์ตาม (๒)

ข้อ ๑๒ การขอและการให้ความเห็นชอบตามข้อ ๕ วรรคสอง และข้อ ๑๑ ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขที่อธิบดีกรมธุรกิจพลังงานกำหนด

ประกาศ ณ วันที่ ๓๐ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๔๙

พานิช พงศ์พิโรดม

อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน
เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลชุมชนสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน)
พ.ศ. ๒๕๔๙

รายการ	ข้อกำหนด	ขีดจำกัด	ขีดสูงสุดต่ำ	วิธีทดสอบ ¹¹	
1	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °ซ (Density at 15 ° C,	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร <i>kg/m³</i>	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
2	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ (Viscosity at 40 ° C,	เซนติสโตกส์ <i>cSt</i>	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	1.9 8.0	ASTM D 445
3	จุดวาบไฟ (Flash Point,	องศาเซลเซียส <i>° C</i>	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
4	กำมะถัน Sulphur,	ร้อยละโดยน้ำหนัก <i>%wt.</i>	ไม่สูงกว่า	0.0015	ASTM D 2622
5	จำนวนซีเทน (Cetane Number)		ไม่ต่ำกว่า	47	ASTM D 613
6	เถ้าซัลเฟต (Sulphated Ash,	ร้อยละโดยน้ำหนัก <i>%wt.</i>	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
7	น้ำและตะกอน (Water and Sediment,	ร้อยละโดยน้ำหนัก <i>%vol</i>	ไม่สูงกว่า	0.2	ASTM D 2079
8	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)		ไม่สูงกว่า	หมายเลข 3	ASTM D 130
9	ค่าความเป็นกรด (Acid Number,	มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม <i>mgKOH/g</i>	ไม่สูงกว่า	0.80	ASTM D 664
10	กลีเซอรินอิสระ (Free glycerol,	ร้อยละโดยน้ำหนัก <i>%wt.</i>	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 6584
11	กลีเซอรินทั้งหมด (Total glycerol,	ร้อยละโดยน้ำหนัก <i>%wt.</i>	ไม่สูงกว่า	1.5	ASTM D 6584
12	สี			ม่วง ²¹	ตรวจพินิจด้วย สายตา
13	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)		ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจาก อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

หมายเหตุ ¹¹ วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่মনกกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายนี้

²¹ ใช้สารประกอบประเภท 1,4 - dialkylamino anthraquinone และ alkyl derivatives of azobenzene - azo - 2 - naphthol



ภาคผนวก จ

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Energy Procedia 100 (2016) 227 – 236

Energy

Procedia

3rd International Conference on Power and Energy Systems Engineering, CPESE 2016, 8-12
September 2016, Kitakyushu, Japan

Effect of bio-polymer additive on the fuel properties of palm biodiesel and on engine performance analysis and exhaust emission

Karoon Fangsuwannarak^{a,*}, Ponrawee Wanriko^a, and Thipwan Fangsuwannarak^b

^aSchool of Mechanical Engineering, ^bSchool of Electrical Engineering,
Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

Abstract

Biodiesel fuel produced from palm oil is becoming cost competitive with fossil fuels due to the massive resource on Southeast Asia and biodegradable, and environmental friendliness over fossil fuels. The aim of this work was to seek and improve the palm biodiesel fuel blends as possibly high fraction for supplying diesel engine based on modified bio-fuels with bio-polymer additive. This investigation considered simultaneously about the engine performance, the reduction of gas exhaust emissions and also compliance with the main regulation standards of ASTM and SEA. The use of bio-polymer additive in palm biodiesel blends effects on engine performance and reduction of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂) and nitric oxide (NO_x) emissions. A chassis dynamometer used under the simulation of road load conditions with eddy current brake was used to measure engine brake power, engine torque, wheel power, and specific fuel consumption. Exhaust emission values were measured directly by sampling from exhaust pipe with a probe of the analyzers. The experimental results show that the B40 blend with 0.1g bio-polymer additive the most effective improvement of properties included kinematic viscosity, specific gravity, flash point, and midpoint boiling temperature under criterion of ASTM D445, ASTM D1298, ASTM D93, and ASTM D86, respectively. Therefore, modified B40 fuel is strongly possible to be an alternative fuel for a diesel engine. In the term of engine performance, average brake power and engine torque under engine speed tests from 1500 rpm to 4000 rpm slightly decreased by 2.80% and 2.97%, respectively as compared to B2 reference test even though brake specific fuel consumption increased by 20.46%. However, it was found that gas exhaust emissions obviously decreased in diesel engine fuelled palm biodiesel blends additive. As compared to B2 reference test, B40 with 0.1g dosage obtains the great reduction in NO_x, CO, and CO₂ emissions by 63.17%, 14.33%, and 53.25%, respectively under the engine speed at 3000 rpm. The study suggests that B40 or other less palm biodiesel fractions with bio-polymer additive has the high potentiality for as a clean and alternative fuel.

© 2016 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Peer-review under responsibility of the organizing committee of CPESE 2016

* Corresponding author. Tel.: +66-44-224311; fax: +66-44-224613.
E-mail address: karoon@sut.ac.th

1876-6102 © 2016 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Peer-review under responsibility of the organizing committee of CPESE 2016
doi:10.1016/j.egypro.2016.10.170

Keywords: Palm biodiesel, bio-additive, indirect engine performance, exhaust emission ;

1. Introduction

Exhaust emissions from diesel engine combustion such as hydrocarbons (HCs), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), nitric oxide (NO_x), and particulate matter have a significant cause of high air pollution green-house effect. Therefore, alternative diesel fuel supported with no modifying engine has become important issue. Palm methyl-ester fuel is a kind of biodiesel fuel as an alternative fuels for diesel engines due to its various advantages, such as abundant biomass resources, biodegradable and environmental friendliness over fossil fuel [1], as the major conventional energy sources are gradually depleted. The ways to contribute palm biodiesel blend in diesel fuel safely adopted in diesel engine are widely researched and developed.

Many previous literatures were noted that biodiesel used in diesel engines can reduce exhaust emissions of CO, CO₂, HCs, and volatile organic compounds [2-4]. Due to containing high oxygen, biodiesel is biodegradable through antioxidants and contributes it to burn more fully, whereas petroleum has essentially none [1]. Nonetheless, the physicochemical properties of pure palm biodiesel fuel may cause some operability problems from the lower fuel quality than the traditional diesel, such as lower cetane index, higher viscosity, higher density and extremely higher flash point for palm biodiesel fuel. The lower cetane index affects the decrease of particulate at high load of automobile [5]. Moreover, higher density and viscosity of biodiesel can affect the volatility and poorer atomization of the fuel spray and, subsequently less accurate operation of the fuel injectors. Finally, the combustion suddenly deteriorates in chamber [6]. Therefore, there are many researchers to study the optimal fraction of biodiesel blends in conventional diesel fuel and develop the new additives for the improvement of its properties [3,7-9].

Additives mixed in biodiesel fuel blends act as combined antioxidants and as dispersants. Some demonstrations showed the fuel consumption slightly increases with a significant decrease in engine power that relates to increasing biodiesel with additive content used [10-13], whereas the role of additives for biodiesel blended fuels on the reduced emissions of engine test has been critically reviewed. However, the physicochemical properties of biodiesel blends with additive in various fractions and effective reaction of the blended biodiesel with additive are concerned because its properties hardly effect on the engine performances and the exhaust emissions.

Several works have succeeded in the synthesis of additive formulations based on bio-solution for biodiesel oil blends, for example, mixing 4-Nonyl phenoxy acetic acid (NPAA: C₁₇ H₂₇O₃) [14-15], ethers based (ETBE: C₆H₁₄O and TAEE: C₇H₁₆O etc.) [16], ethanol based (C₂H₅OH) [17] or glycerol based (C₃H₈O₃) [18] in palm biodiesel. In addition, the commercial multi-functional fuel additives have been claimed that they can enhance the combustion performance and also reduce exhaust gas after being dosed in commercial biodiesel fuel. However, perfective oil additives have not been found. Improvements of additive blends for increasing palm biodiesel quality are always needed.

This work is concerned with fuel quality improvements of the modified palm methyl-ester fuel by adding the commercial copolymer material as a fuel additive because of its reaction at low temperature with higher oxygen composition, based a block copolymer of 2-ethy-hexylmethacrylate and dimethyl aminoethyl methacrylate. In addition, the testes of comparative engine performances were conducted on a diesel engine without modifying under using the different additive levels in the various fractions of palm biodiesel blends in standard diesel fuel. The physical property tests of the blended palm methyl ester fuels were performed in this study including viscosity, specific gravity, flash point, fire point, and carbon residue which were evaluated under the ASTM standard. Moreover, an IDI pick-up diesel engine was tested on a FPS 2700 chassis dynamometer. All tests were performed without any modifying engine. NO_x, CO and CO₂ emissions from the engine were measured by Testo 350 gas analyzer. Moreover, the effects of the additive levels with various palm biodiesel blends were investigated on exhaust emissions.

2. Experimental detail and methods

2.1. Fuel blend preparation

In this study, the used bio additive is a commercial pellet product made from a block copolymer material. The various palm biodiesel blends of 2%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, and 100% palm biodiesel with the rest of diesel fuel fraction were denoted as B2, B10, B20, B30, B40, B50, and B100, respectively. They were investigated with and without adding bio-polymer additive in the palm biodiesel blends. The bio-polymer additive is used in the proportions of 0.1g, 0.2g, and 0.4g by 2.5 liters of tested fuels. Additive pellets were pulverized and then weighted by a precision electronic balance in order to accurately provide the required quantity of the bio additive.

The physical properties of the tested fuels were characterized that included kinematic viscosity, specific gravity, flash point, cetane index, and heating values. The influences of the different additive levels on the physical properties of the various fuels tested were investigated by using the standard test methods. The mixture method of palm biodiesel and bio-polymer additive was conducted by using an ultrasonic shaker for 15 minutes in order to provide the uniform suspension.

All properties measurements were complied with the standard of American Society of Testing Material (ASTM). Kinematic viscosity was measured at 40°C according to ASTM D445 using a capillary tube viscometer. Specific gravity was determined following ASTM D1298 using the calibrated glass API gravity hydrometers. Flash point was measured as according ASTM D93 using a Pensky-Martens. Midpoint boiling temperature was measured by Distillation at Atmospheric Pressure DU 4-Economy (manual) Ref.-No: 11-0904 (230V) 11-0905 (115V) as according ASTM D86. Cetane index was determined by nomograph method with mapping specific gravity and midpoint boiling temperature.

In this engine tests, the standard of a used pickup car with a manual gear box was used. The schematic of the experiment setup is shown in Fig.1. The FPS 2700 chassis dynamometer under the simulation of road load conditions with eddy current brake was conducted in this experiment. The tested engine specifications were listed in Table 1. Measuring accuracy of the chassis dynamometer is of $\pm 2\%$. The performance correction was used by following the standard of SAE J. 1349. The accuracy of wheel power of $\pm 3\%$ was obtained. Engine performance evaluated on this study included brake power, wheel power, torque, and specific fuel consumption. Fuel consumption system was designed and coupled with the fuel pump in order to examine the amount of fuel consumption. Each engine test was repeated for 3 times to ensure the average data calculation for the analysis. The standard of the operating conditions on each test was considered carefully. Engine tests under various speeds from 1500 rpm to 4000 rpm were performed to measure brake power and wheel power.

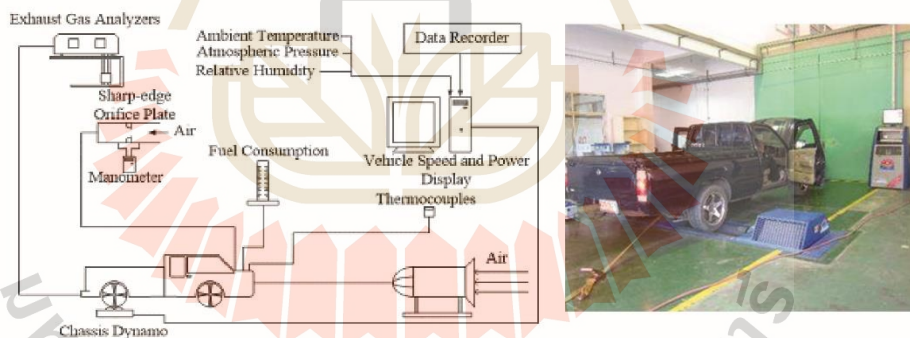


Fig. 1. The schematic of engine test and the used pickup car with the FPS 2700 chassis dynamometer for the experiment

Exhaust emissions and gas temperature, according to SAE J816B specifications were measured by a Testo 350 gas analyzer. Measurement resolutions for NO_x, CO, and CO₂ are 0.1%, 1.0%, and 0.01% ppm, respectively. Meanwhile, measurement capacity for NO_x, CO, and CO₂ are in the range of 0-500 ppm, 0-10,000 ppm, and 0-50% vol., respectively. Exhaust emission values were measured directly by sampling the gas emission data, which was detected at the exhaust pipe with the analyzer probe as shown in Fig.1. The test cycle was repeated for three times.

Table 1. Tested engine specifications.

Engine Type	4-Stroke, 4-Cylinder, compression ignition
Displacement Volume	2663 cc
Bore × Stroke	96.0 × 92.0 mm
Cooling System	Water
Intake Method	Natural aspiration
Maximum Power	62.5 kW (83.8 bhp) @ 4000 rpm
Maximum Torque	166 Nm @ 2200 rpm

3. Results and Discussions

3.1. Properties of blended palm biodiesel

The performed study on physical properties of palm biodiesel fuel blends was in full compliance with the standard of ASTM and were carried out under the identical laboratory condition. Kinematic viscosity, flash point, midpoint boiling temperature and specific gravity as shown in fig. 2-3 illustrates an upward trend with increasing palm biodiesel fraction. As shown in Fig. 2, it was found that the existence of bio-polymer additive in palm biodiesel fuels caused kinematic viscosity decreased significantly although an upshifting of kinematic viscosity occurred in palm biodiesel fuel blends with higher fraction. Normally, biodiesel fuel has the higher viscosity and opaque points than B2 reference diesel. With adding bio-polymer additive, the palm biodiesel blends from B10, B20 to B30 was in ASTM D445. Moreover, all palm biodiesel fuels with additive and no additive were fully accepted under ASTM D93. Level dosing has not the effect on clearly difference trend of flash point. The upshifting flash point with increasing palm biodiesel fraction has the high impact on safety and storage.

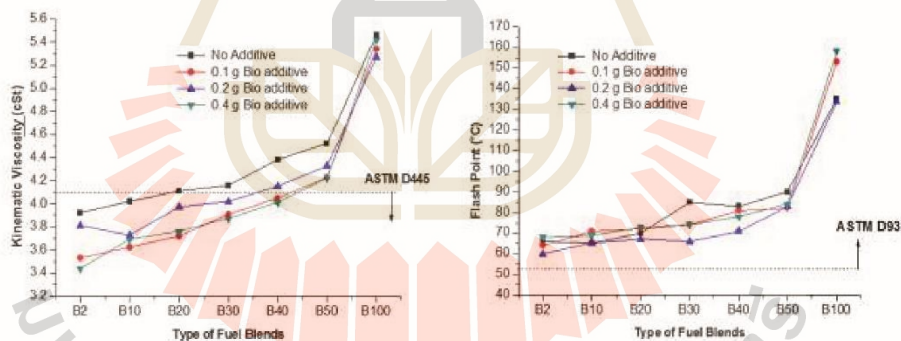


Fig.2. Kinematic viscosity and flash point of palm biodiesel fuels under the conditions of adding bio-polymer additive

Specific gravity and midpoint boiling temperature of all tested fuel were in ASTM D1298 and ASTM D86, respectively, except B100 to be unacceptable for specific gravity standard even the case of adding additive of 0.2g

as shown in fig. 3. Low cetane index occurred in B100 but the addition of low and high dosing levels at 0.1g and 0.4g was improvable the quality of cetane index for all blend conditions under ASTM 976 as illustrated in Fig. 4. Meanwhile, modified palm biodiesel blends from B20 to B50 with adding bio-polymer additive provided the highly increase of lower heating values in ASTM D240 due to increasing atomization in modified blend solution. It is closely related with combustion engine process. A model of chemical structure of diesel fuel changed with inclusions of the bio-additive based on clove oil well affected an increase in combustion reactivity oxygen internally [19]. With complying ASTM and the requirement of highest palm fuel fraction, it is clearly noted that fuel properties of B40 can be improved by adding bio-polymer additive.

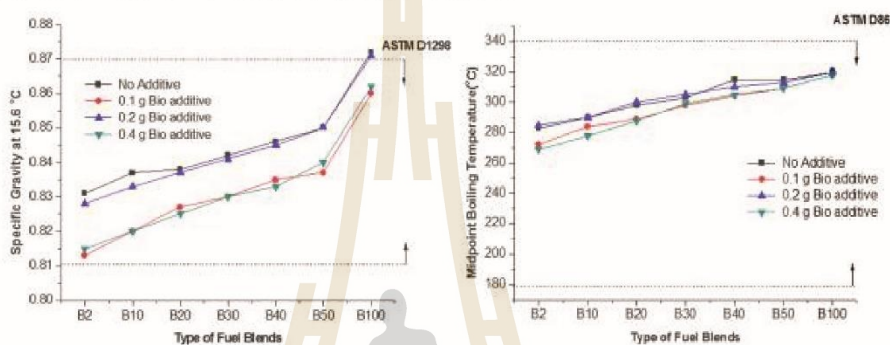


Fig. 3. Specific gravity and midpoint boiling temperature of palm biodiesel fuels under the conditions of adding bio-polymer additive

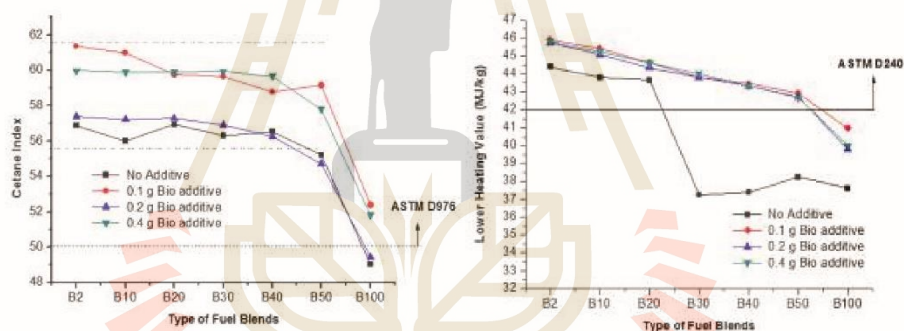


Fig. 4. Cetane index and lower heating value of palm biodiesel fuels under the conditions of adding bio-polymer additive

3.2. Engine performance

Profiles of brake and wheel power of an IDI engine fuelled with different fraction blends of palm biodiesel fuels with no additive and with 0.1g of additive dosage versus engine speed from 1500 rpm to 4000 rpm were shown in Fig. 5(a)-(b). It shows that upward trend of brake power relates to the increasing engine speed with all fraction of palm biodiesel blends whereas wheel power becomes steady at the high region of speed (3000 rpm-4000 rpm). With higher fractions of palm biodiesel blends with no additive, the experiment results obtain the more decrease of brake and wheel power over the entire speed range due to lower heating value and higher kinematic viscosity. Decrease of engine power with increasing palm oil fraction occurred in M.A. Kalam et.al report [20]. As can be seen in Fig. 5(b),

the brake power and wheel power outputs of the diesel engine are improved by the modified palm biodiesel with dosage. Addition of 0.1g dosage in the test fuels made the brake power and wheel power had similarity with the result of B2. Less decrease of average brake power by 2.80% in the case of using B40+0.1g Bio additive was compared with B2. The decreasing variation of brake power in different speed regions were summarized in Table 2.

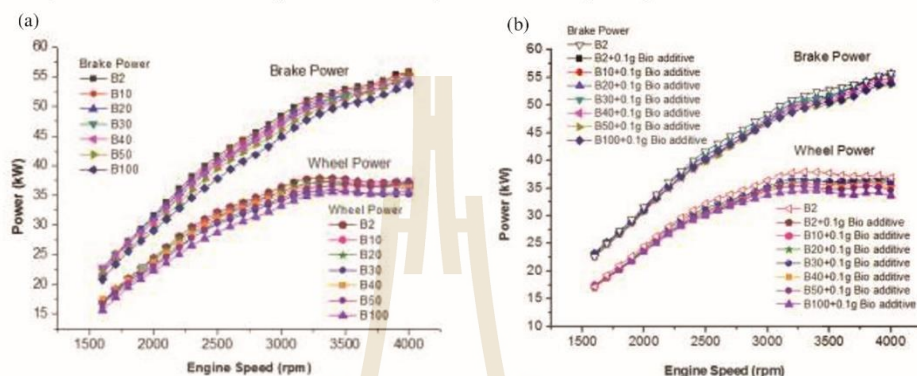


Fig. 5. Comparison of brake and wheel power of an IDI engine fuelled with different fraction blends with (a) no additive and (b) with additive

Table 2. Decreasing variation of brake power under the conditions of test fuels with 0.1g dosage.

Engine speed (rpm)	Variation of brake power under test fuels with 0.1g additive compared with B2 (%)						
	B2	B10	B20	B30	B40	B50	B100
Low speed (1500 rpm-2000 rpm)	-2.24	-0.88	-0.39	-0.19	-1.33	-1.37	-0.16
Middle speed (2100 rpm-3000 rpm)	-3.59	-3.71	-1.99	-1.79	-3.93	-4.40	-3.52
High speed (3100 rpm-4000 rpm)	-1.30	-2.23	-1.05	-0.94	-3.14	-4.21	-3.91
Average brake power 1500-4000 rpm	-2.37	-2.27	-1.14	-0.97	-2.80	-3.33	-2.53

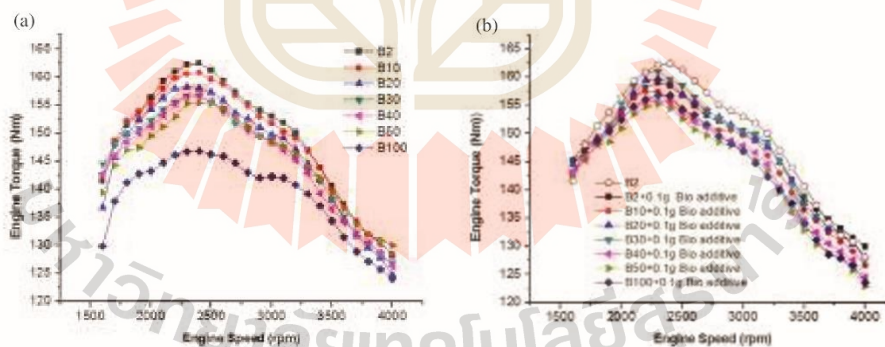


Fig. 6. Comparison of engine torque of an IDI engine fuelled with different fraction blends with (a) no additive and (b) with additive

Fig. 6(a) shows that the uptrend of engine torque and maximum torque at 2200 rpm - 2400rpm speed range under the conditions of test fuels are found correspondence with the highest torque of this engine specific of 166 Nm at 2200 rpm. The maximum torque of 162.40 Nm at 2400 rpm is found in the condition of B2. The results as shown in Fig. 6(b) implies that the addition of 0.1% dosage results in the less decreasing variation of engine torque compared with B2 profile. The average torque in the condition of B2-B100 adding 0.1g additive is lower than B2 by almost 4.51% but the case of B100 fuels with no additive provides much lower average torque than B2 by almost 9%. The decreasing variation of engine torque in different speed regions were summarized in Table 3. It is noticed that B100 with bio-polymer additive clearly provides the most influence on the improvement of engine torque. Because B100 contains a lot of oxygen that causes an oil reaction to accelerate the oil aerosol stimulation, this leads to the efficiency of the dosed B100 fuel to burn better than compared with B100[15,18].

The modified palm biodiesel fuels with bio-polymer additive provide the higher brake specific fuel consumption than test fuels with no additive as illustrated in Fig.7 although the existence of additive can improve their properties. However the profiles of less increasing variation of fuel consumption occur when the engine speed is higher. At engine speed between 2000 rpm and 3000 rpm, average brake specific fuel consumption in the condition of B30 with 0.1g additive has less increase by 8.55% compared with B2 as detailed in Table 4.

Table 3. Variation of engine torque under the conditions of test fuels with 0.1g dosage.

Engine speed (rpm)	Variation of engine torque under test fuels with 0.1g additive compared with B2 (%)						
	B2	B10	B20	B30	B40	B50	B100
Low speed (1500 rpm-2000 rpm)	-1.21	-0.72	-0.62	-0.24	-1.52	-2.06	-0.78
Middle speed (2100 rpm-3000 rpm)	-2.45	-3.60	-2.09	-1.81	-4.24	-5.03	-3.97
High speed (3100 rpm-4000 rpm)	+0.03	-1.72	-0.90	-0.74	-3.13	-4.51	-4.10
Average brake power 1500-4000 rpm	-1.21	-2.02	-1.21	-0.93	-2.97	-3.87	-2.96

Table 4. Variation of average brake specific fuel consumption at engine speed between 2000 rpm and 3000 rpm

Test fuels with additive	% Variation of average brake specific fuel consumption of test fuels with additive at various dosing levels compared with B2 at engine speed 2000 rpm - 3000 rpm		
	0.1g	0.2g	0.4g
B2	+9.08	+19.51	+15.07
B10	+8.66	+14.34	+18.23
B20	+17.55	+9.73	+18.92
B30	+8.55	+9.64	+20.52
B40	+20.46	+12.40	+22.18
B50	+22.47	+19.70	+20.59
B100	+55.16	+25.06	+40.21

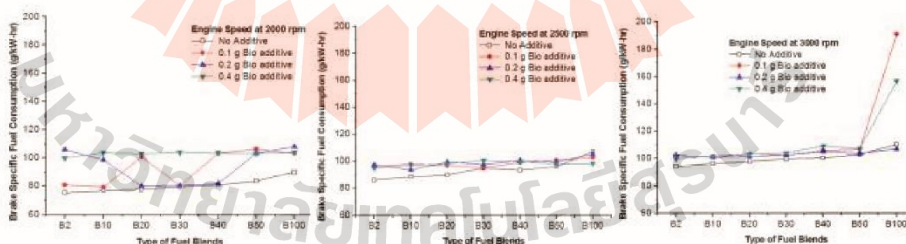


Fig. 7. Brake specific fuel consumption of an IDI engine fuelled with test fuels under various speed at 2000 rpm, 2500 rpm and 3000 rpm

3.3. Exhaust gas emissions

Fig. 8(a)-(b) shows the comparison of NO_x concentration of test fuels with additive and with no additive versus engine speeds. The engine operated by B2 reference obtained decreasing NO_x emission with increasing engine speed. NO_x concentration of most of the palm biodiesel blends with no additive is steadily higher than that of B2 under various engine speeds. However, bio-polymer as an oxidation catalyst effectively contributes a great reduction in NO_x emission as shown in Fig.10 (b) due to the effect of the higher combustion temperatures. It is noticed that a large amount of palm biodiesel blends (B20-B100) results in the steep fall in NO_x emission. With comparing B2 reference, B40 with 0.1g dosage obtains the reduction in NO_x emission by 94.49%, 87.33%, 81.75% and 63.17% under the engine speed at 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm and 3000 rpm, respectively.

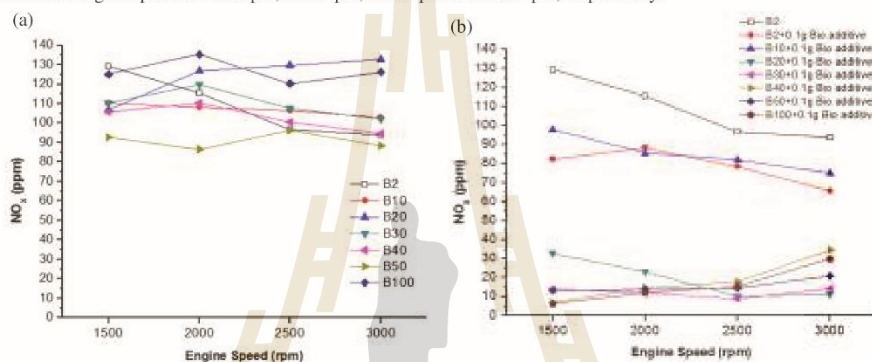


Fig. 8 Comparison of No_x concentration of test fuels with (a) no additive and (b) with additive under various speed tests

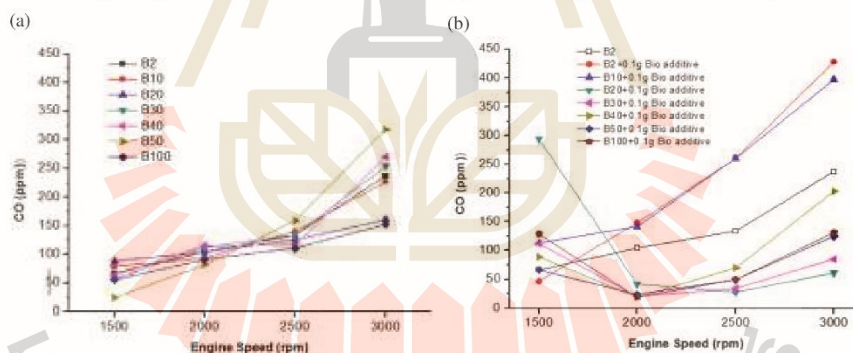


Fig. 9 Comparison of CO concentration of test fuels with (a) no additive and (b) with additive under various speed tests

High CO concentration indicates too low air/fuel ratio in the engine during vehicle operating. An increase in engine speed results in a high rise in CO emission due to that thin air reduces the amount of oxygen available

combustion at higher speed [21]. As presented in Fig. 9(a), CO emission decreases over the entire of speed range by 35.8% at 3000 rpm in the only case of B100 as compared with B2 reference. Meanwhile, at the speed range of 2000 rpm - 3000 rpm, CO emission obviously drops in the conditions of B20-B100 with additive as shown in Fig. 9(b). It is found that as compared with B2 reference, B40 with 0.1g additive is a good choice for suitable palm biodiesel blends to reduce CO emission by 81.83%, 47.38% and 14.33% at 2000 rpm, 2500 rpm and 3000 rpm, respectively, even though at 1500 rpm, CO emission increases by 33.51%.

Typically, CO₂ concentration is more relevant with CO. The profiles of CO₂ concentration in the conditions of B20-B100 with bio-polymer additive shows the significant reduction of CO₂ emission because the oxidation reaction of CO into CO₂ was improved effectively by dosing the bio-polymer additive in high palm biodiesel fractions. It is found that B40 with 0.1g additive reduces CO₂ emission by 84.70%, 79.86%, 69.37% and 53.25% at 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm and 3000 rpm, respectively.

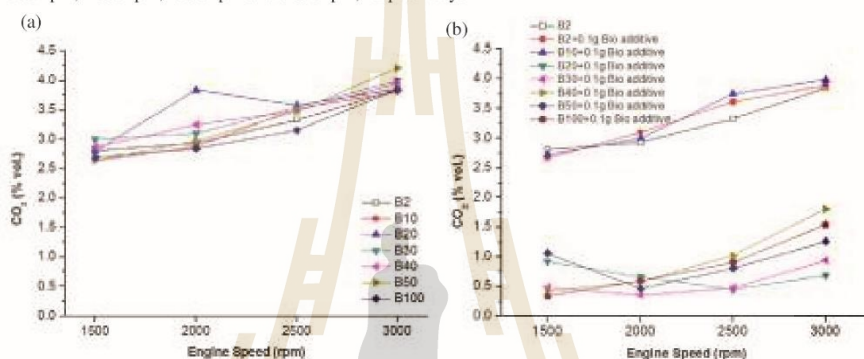


Fig. 10 Comparison of CO₂ concentration of test fuels with (a) no additive and (b) with additive under various speed tests

4. Conclusions

The main aim of this study was to seek and develop the palm biodiesel fuel as possibly high fraction using bio-polymer additive for diesel engine. Bio-additive based on copolymer material was considered because of its reaction with high oxidation at low temperature. Under the experiment, there is not only consideration about the effective of engine performance and the reduction of gas exhaust emissions but also compliance with the main regulation standards of ASTM and SEA. The following conclusion are summarized as:

1. Palm methyl ester test fuel in various fraction blends in B2 diesel from B10 to B100 was modified with bio-polymer additive as an organic catalyst. The improvement of palm biodiesel fuel properties with using organic additive based oxidative desulfurization in the fuel blends in order to allow in the set regulations of Thai Department of Energy Business (DOEB). The properties of modified fuels are in close agreement with the diesel engine. This IDI pick-up diesel engine performed satisfactorily on palm biodiesel blends additive without any engine hardware modification.
2. The property tests were demonstrated that the large fraction of palm biodiesel blends of B40 with 0.1g additive provide the most effective improvement of acceptable properties included kinematic viscosity, specific gravity, flash point, and midpoint boiling temperature under ASTM D445, ASTM D1298, ASTM D93, and ASTM D86, respectively. Therefore, modified B40 fuel is strongly possible to be an alternative fuel for a diesel engine.
3. In the test condition of B40+0.1g bio additive as compared to B2 reference test, average brake power and engine torque under engine speed tests from 1500 rpm to 4000 rpm slightly decreased by 2.80% and 2.97% , respectively. Brake specific fuel consumption increased by 20.46%.
4. Reduction of gas exhaust emissions was obviously found in diesel engine fuelled palm biodiesel blends additive. As compared to B2 reference test, B40 with 0.1g dosage obtains the great reduction in NO_x, CO, and CO₂

emissions by 63.17%, 14.33%, and 53.25% , respectively under the engine speed at 3000 rpm

The study suggests that the key factors in the provision of engine performance under compliance of property standards are the both of excess oxygen contents of palm biodiesel blends and oxidation reaction with good aerosol of the optimum bio-polymer dosing.

Acknowledgement

This study was supported by Suranaree University of Technology.

References

- [1] Demirbas, A. Biodiesel: A realistic fuel alternative for diesel engines. Springer-Verlag London limited; 2008.
- [2] N.M. Ribeiro, A.C. Pinto, C.M. Quintella, G.O. da Rocha, L.S.G. Teixeira, L.L.N. Guarieiro, M.C. Rangel, M.C.C. Veloso, M.J.C. Rezende, R.S. da Cruz, A.M. Oliveira, E.A.Torres, J.B. de Andrade. The Role of Additives for Diesel and Diesel Blended (Ethanol or Biodiesel) Fuels: A Review. *Energy Fuels* 2007; 21 (4):2433–2445.
- [3] K. Fangsuwamarak, K. Triratanasirichai. Effect of metalloid compound and bio-solution additives on biodiesel engine performance and exhaust emissions. *American Journal of Applied Sciences* 2013;10 (10):1201-1213.
- [4] M. Lapuerta, O. Armas, J.J. Hernández, A. Tsolakis. Potential for reducing emissions in a diesel engine by fuelling with conventional biodiesel and Fischer–Tropsch diesel. *Fuel* 2010; 89 (10):3106–3113.
- [5] M. Guru,U. Karakaya,D. Altıparmak, and A. Alicilar. Improvement of diesel fuel properties by using additives. *Energy Conversion and Management* 2002; 43:1021-1025.
- [6] J. Xue, T.E. Grift, A.C. Hansen, Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011; 15:1098–1116.
- [7] S. Senthilkumar, G. Sivakumar, S. Manoharan. Investigation of palm methyl-ester bio-diesel with additive on performance and emission characteristics of a diesel engine under 8-mode testing cycle. *Alexandria Engineering Journal* 2015; 54:423–428
- [8] G.C. Tsanaktisdisa, G.C. Stavros, P.F. Evangelos. A novel method for improving the physicochemical properties of diesel and jet fuel using polyaspartate polymer additives. *Fuel* 2013; 104:155–162
- [9] E.Weber de Menezes, R. da Silva, R. Cataluña. Effect of ethers and ether/ethanol additives on the physicochemical properties of diesel fuel and on engine tests. *Fuel* 2006; 85 (5–6):815–822
- [10] K. Krunal. Review of recent research on palm oil biodiesel as fuel for CI Engine. *Int. J. Appl. Res. Stud.* 2013; 2 (1):1–4.
- [11] S.M. Ashrafur Rahman, H.H. Masjuki, M.A. Kalam, M.J. Abedin, A. Sanjid, S. Imtenan. Effect of idling on fuel consumption and emissions of a diesel engine fueled by Jatropha biodiesel blends. *Journal of Cleaner Production* 2014; 69:208–215.
- [12] H. Aydin, and H. Bayindir. Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine. *Renewable Energy* 2010; 35:588–592.
- [13] M.H. Mat Yasin, P. Paruka , R. Mamat, A.F. Yusop, G. Najafi, A. Alias. Effect of low proportion palm biodiesel blend on performance, combustion and emission characteristics of a diesel engine. *Energy Procedia* 2015; 75:92–98.
- [14] M.A. Kalam, H.H. Masjuki. Testing palm biodiesel and NPAA additives to control NO_x and CO while improving efficiency in diesel engines. *Biomass and Bioenergy* 2008; 32:1116–1122.
- [15] Y.C. Lin, W. J. Lee, C.C. Chen, C.B. Chen. Saving energy and reducing emissions of both polycyclic aromatic hydrocarbon and particular matter by adding bio-solution to emulsified diesel. *Environ. Sci. Technol* 2006; 40:5553–5559.
- [16] E.W.D. Weber, R.D. Silva, R.J.C. Ortega. Effect of ethers and ether/ethanol additives on the physicochemical properties of diesel fuel and engine tests. *Fuel* 2006; 85:815–822.
- [17] D. Hernandez, J.J. Fernandez, F. Mondragon, D. Lopez. Production and utilization performance of a glycerol derived additive for diesel engines. *Fuel* 2012; 92 (1):130–136.
- [18] K.-S. Chen, Y.-C. Lin, L.-T. Hsieh, L.-F. Lin, C.-C. Wu. Saving energy and reducing pollution by use of emulsified palm-biodiesel blends with bio-solution additive. *Energy* 2010; 35 (5):2043–2048.
- [19] A. Kadarohman, Harnani, I. Rohman, R. Kusriani, R. M. Astuti. Combustion characteristics of diesel fuel on one cylinder diesel engine using clove oil, eugenol, and eugenyl acetate as fuel bio-additives. *Fuel* 2012; 98:73-79.
- [20] M.A. Kalam, and H.H. Masjuki. Biodiesel from palm oil—an analysis of its properties and potential. *Biomass and Bioenergy* 2002; 23:471–479.
- [21] M. Shahabuddin, H.M. Masjuki, M.A. Kalam, M. Mojijur, M.A. Hazrat. Effect of additive on performance of C.I. engine fuelled with bio diesel. *Energy Procedia* 2011; 14:1624–1629.

การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยกระบวนการกลั่นซ้ำ
Property Improvement of Palm Oil Biodiesel by Repeated-Distillation Process

พลรวี วรธรรมวิโก^{1*}, และ กาญจนา พิงสุวรรณรักษ์^{1*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

*ผู้ติดต่อ: E-Mail: b5107926@hotmail.com และ karoon@sut.ac.th, โทรศัพท์ 08-8224-0171

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ เป็นการนำน้ำมันปาล์มดิบมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยา Trans esterification โดยใช้เบสเป็นสารเร่งปฏิกิริยา แล้วนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบนั้นมาปรับปรุงคุณภาพโดยกระบวนการกลั่นซ้ำ ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) จะถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) ซึ่งคุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) จะมีผลจากการทดสอบที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน ASTM ของน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว (1.8 - 4.1 cSt) มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) โดยที่ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) มีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล 121.41% และ 35.71% ตามลำดับ ความถ่วงจำเพาะมีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM (0.81 - 0.87) แต่ยังมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล 8.02% และ 7.41% ตามลำดับ ขณะที่ค่าดัชนีซีเทนมีค่าที่ต่ำกว่าตามมาตรฐาน ASTM (≥ 50) และมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซล 28.98% และ 26.72% ตามลำดับ รวมทั้งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ให้ผลการทดสอบออกมาในลักษณะเดียวกับค่าดัชนีซีเทนเช่นเดียวกัน จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า น้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และเหมาะสำหรับใช้เป็นพลังงานทางเลือกอีกหนึ่งทางเลือกต่อไปในอนาคต

คำหลัก: ไบโอดีเซล, น้ำมันปาล์มดิบ, คุณสมบัติของเชื้อเพลิง และการกลั่นน้ำมันซ้ำ

Abstract

In this work, crude palm oil was produced by the single step distillation of alkali trans esterification process to provide pure palm oil biodiesel (POB) fuel. The pure POB fuel was improved by using repeated-distillation process. The physical properties of all tested fuels were characterized under American Society of Testing and Materials (ASTM). Fuel viscosity of Redistilled POB fuel can provide the effective improvement under criterion value of the ASTM standard for high speed engine (1.8 - 4.1 cSt) as compared with pure POB fuel. The Kinematic viscosity values are of 121.41% and 35.71% for pure POB and Redistilled POB, respectively, specific gravity of all tested POB fuel are under ASTM standard (0.81 - 0.87), which are more than commercial diesel fuel by 8.02% and 7.41%, respectively. Meanwhile, cetane index values of all tested POB fuel are less than ASTM standard (≥ 50), which are less than the diesel fuel by 28.98% and 26.72%, respectively. Heating value of all tested POB provided less value than the diesel fuel. This study suggests that Redistilled POB fuel has the high potentiality for as a clean and alternative fuel.

Keywords: biodiesel, crude palm oil, fuel property and repeated-distillation process

1. บทนำ

สำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยปฏิกิริยา Trans esterification นั้น จะใช้เมทานอลรวมทั้งโซ่ไพโรแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [1] ขณะที่ผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมัน

ปาล์มดิบตามมาตรฐานของ ASTM บ่งชี้ว่า น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นอีกหนึ่งพลังงานทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล [1,2] อย่างไรก็ตาม โดยปกติแล้วเครื่องยนต์ดีเซลจะมีการปล่อยมลพิษ NO_x มากกว่าเครื่องยนต์เบนซินหรือเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟอยู่แล้ว ซึ่งมลพิษที่

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13
วันที่ 31 พฤษภาคม - 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

ปล่อยออกมาเป็นปริมาณมากนี้จะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลถึงการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม เพื่อหาพลังงานทางเลือก อื่นๆที่สามารถลดการปล่อยมลพิษลง ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลจาก น้ำมันปาล์มดิบเป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากข้อดีมากมาย เช่น เป็นแหล่งพลังงานทางชีวมวลที่อุดมสมบูรณ์และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย รวมถึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล [3,4] นอกจากนี้ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเป็นพลังงานทางชีวมวลโดยส่วนใหญ่จะกลายเป็นแหล่งสำหรับลงทุนที่สามารถแข่งขันกับเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ เนื่องจากทรัพยากรทางชีวมวลนี้มีอยู่อย่างแพร่หลายทั่วไป [5] อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งมีการปล่อยมลพิษสูงจะไม่ได้รับอนุญาตสำหรับการนำไปใช้งาน เนื่องจากไม่ได้มาตรฐานตามกฎระเบียบที่กำหนดไว้โดยกรมธุรกิจพลังงาน การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยการเพิ่มสารเติมแต่งอินทรีย์จึงเป็นอีกทางเลือกสำหรับการปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบและลดการปล่อยมลพิษ [6,7]

ในปัจจุบันนี้ สารเติมแต่งอินทรีย์สำหรับเชื้อเพลิงที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมานั้นถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น อีเทอร์ (C₆H₁₄O และ C₇H₁₆O เป็นต้น) [8], เอทานอล (C₂H₅OH) [9] หรือ กลีเซอรอล (C₃H₈O₃) [6] อีกทั้งยังมีการสารเติมแต่งในกลุ่มของโลหะ เช่น โทเทเนียม ออกไซด์ [7], อะลูมิเนียม ออกไซด์ [10] แม้กระทั่ง ซิงค์ ออกไซด์ [11,12] ที่ถูกนำมาใช้ผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ 100% (POB 100) เพื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วในการลดการปล่อยมลพิษ

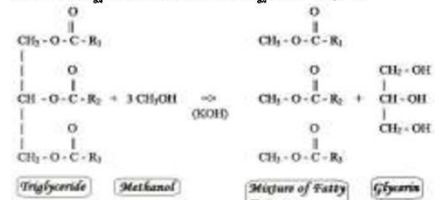
แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติ หรือปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบจะใช้กระบวนการกลั่นน้ำมันขั้นแรกการผสมสารเติมแต่งเข้าไปในน้ำมัน โดยที่น้ำมันไบโอดีเซลจะถูกผลิตขึ้นมาด้วยปฏิกิริยา Trans-esterification ซึ่งมีน้ำมันปาล์มดิบเป็นสารตั้งต้นโดยผสมกับเมทานอลและมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คุณสมบัติของเชื้อเพลิงจะถูกทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM เพื่อศึกษาว่าคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) มีคุณสมบัติเป็นอย่างไรบ้าง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ใช้ทั่วไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว (การทำน้ำมันไบโอดีเซล)

การ Trans-esterification คือ ปฏิกิริยาผลิตเอสเทอร์ (Ester) จากสารตั้งต้นคือ แอลกอฮอล์และไตรกลีเซอไรด์ (Tri-glyceride) หรือไดกลีเซอไรด์ (Di-glyceride) หรือโมโนกลีเซอ

ไรด์ (Mono-glyceride) ซึ่งปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งระบบที่มีสารเร่งปฏิกิริยาและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยา [13,14]



รูปที่ 1 รูปแสดงปฏิกิริยา Trans-esterification ในการปรับปรุงคุณภาพของสารตั้งต้น หรือการทำน้ำมันไบโอดีเซล จากรูปที่ 1 ไตรกลีเซอไรด์ (Tri-glyceride) คือ กรดไขมันอิสระสามโมเลกุลรวมตัวกัน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่จะใช้ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (Methanol) โดยมีด่าง (Potassium Hydroxide) เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา และผลผลิตที่ได้หลังจากการทำปฏิกิริยาคือ เอสเทอร์ (Ester) หรือน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรอล (Glycerol)

2.2 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

2.2.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

อัตราส่วนของความหนาแน่นของสารหนึ่งต่อความหนาแน่นของสารมาตรฐานที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน เป็นปริมาณที่ไร้มิติ (Dimensionless) พร้อมระบุอุณหภูมิที่ทดสอบ สำหรับของเหลวสารมาตรฐานคือน้ำ สารที่มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า 1 จะจมน้ำ สารที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า 1 ลอยน้ำได้ เป็นข้อกำหนดสมบัติของแก๊สและน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีและพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ ความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลกำหนดในช่วง 0.86 - 0.90 ที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส ตามวิธีทดสอบ ASTM D1298

2.2.2 ความหนืดคินแมติก, ความหนืดเชิงกลศาสตร์ (Kinematic Viscosity)

ความต้านทานต่อการไหลของของเหลวที่วัดภายใต้แรงโน้มถ่วงที่อุณหภูมิมาตรฐาน เป็นอัตราส่วนของความหนืดไดนามิกส์ (Dynamic Viscosity) ต่อความหนาแน่นของของเหลว หน่วยเป็นตารางเซนติเมตรต่อวินาที (cm²/s) หรือ สโตก (Stoke) มีผลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดจากหัวฉีด น้ำมันที่มีความหนืดคินแมติกสูง ฉีดเป็นฝอยไม่ได้อะล่อง น้ำมันขนาดใหญ่ ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ น้ำมันที่มีความหนืดคินแมติกต่ำเกินไป ละอองน้ำมันละเอียดมาก แต่ไม่พุ่งไปไกลเท่าที่ควร มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลกำหนดความหนืดคินแมติกในช่วง 3.5 - 5.0 เซนติสโตก (cSt) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตามวิธีทดสอบ ASTM D445

2.2.3 การกลั่น (Distillation)

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13
วันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

การวัดการกลั่นนั้น จะวัดภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials แต่จะเป็นมาตรฐานของการวัดการกลั่น ซึ่งก็คือ ASTM D86 ซึ่งเป็นการวัดอุณหภูมิของการกลั่นของน้ำมันตัวอย่างที่ 50% ของปริมาณน้ำมันตัวอย่าง โดยใช้น้ำมันตัวอย่างในการทดสอบที่ 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่น้ำมันตัวอย่างเริ่มกลั่นตัว ในการทดสอบจะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบคือ อัตราการไหลของน้ำมันที่กลั่นออกมาได้ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 4 - 5 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันนั้น จะส่งผลต่างต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ที่การกลั่น 50% ของปริมาณน้ำมันตัวอย่าง เป็นส่วนที่ระเหยได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อให้เครื่องยนต์ร้อนขึ้นได้เร็ว มีการกระจายตัวของน้ำมันไปยังสูบต่างๆ ได้สม่ำเสมอช่วยให้แรงเครื่องได้เรียบ

2.2.4 ดัชนีซีเทน (Cetane Index)

ข้อกำหนดสมบัติของน้ำมันดีเซลที่บ่งบอกคุณภาพการจุดติดไฟ (Ignition quality) หรือการหน่วงติดไฟ (Ignition delay) เมื่อฉีดน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้จนเกิดติดไฟได้อเอง น้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูง มีองค์ประกอบพาราฟินไฮโดรคาร์บอนมาก ปริมาณสารแอมติกตัว จุดติดไฟเร็ว เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่าย เครื่องยนต์เดินเรียบ ไอเสียไม่เกิดควันขาว ค่าความได้จากความถ่วงจำเพาะ API และจุดเดือดค่ากลาง (Mid-boiling point) ของน้ำมันตามวิธีมาตรฐาน ASTM D976 หรือ D4737 น้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่จำหน่ายในท้องตลาดต้องมีดัชนีซีเทนไม่ต่ำกว่า 47 มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลกำหนดดัชนีซีเทนไม่ต่ำกว่า 51

2.2.5 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value)

ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Heating Value) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้นๆ 1 หน่วยมวล (สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งและของเหลว) หรือ 1 หน่วยปริมาตร (สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นแก๊ส) เมื่อเผาไหม้หมดอย่างสมบูรณ์ สำหรับการเปรียบเทียบว่าเชื้อเพลิงชนิดใดจะให้พลังงานความร้อนได้มากกว่ากันสามารถทำได้โดยนำเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมาต้ม น้ำในปริมาตรเท่ากัน ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากัน เชื้อเพลิงชนิดใดใช้หมดไปน้อยที่สุด เชื้อเพลิงนั้นจะมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงมากคือเป็นเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานความร้อนได้ดีตามมาตรฐาน ASTM D240

3. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการดำเนินงานเป็น 2 ส่วน คือ การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลและกระบวนการกลั่นน้ำมันไบโอดีเซลซ้ำ ในหัวข้อ 3.1 และการวัดคุณสมบัติของน้ำมันในหัวข้อ 3.2

3.1 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลและกระบวนการกลั่นน้ำมันไบโอดีเซลซ้ำ

สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยา Trans esterification นั้น วัดดูดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คือ น้ำมันปาล์มดิบ และมีขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ดังขั้นตอนในรูปที่ 2



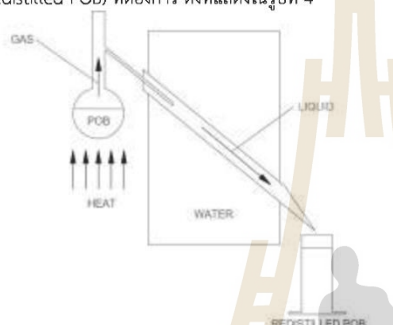
รูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยา Trans-esterification

จากรูปที่ 2 จะใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นสารตั้งต้นน้ำหนัก 400 กรัม มาทำปฏิกิริยา Trans esterification โดยกำหนดเงื่อนไขคือ กำหนดให้ใช้ Methanol หนัก 30% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่ง Methanol จะมีน้ำหนัก 120 กรัม และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Potassium Hydroxide หนัก 1.5% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งก็คือ 6 กรัม มาทำปฏิกิริยา Trans-esterification ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที และในขั้นตอนการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลและ Glycerol นั้น เมื่อเกิดการแยกชั้นน้ำมันไบโอดีเซลที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า Glycerol จะลอยอยู่ด้านบนเหนือ Glycerol สามารถมองเห็นการแยกชั้นได้อย่างชัดเจนด้วยตาเปล่า ดังที่แสดงในรูปที่ 3 (ก) และขั้นตอนสุดท้ายหลังจากต้มไล่ไอน้ำออกจากน้ำมันไบโอดีเซลแล้วจะได้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ดังที่แสดงในรูปที่ (ข)



รูปที่ 3 (ก) การแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลและ Glycerol โดยที่น้ำมันไบโอดีเซลจะลอยตัวอยู่บนเหนือ Glycerol (ข) น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

สำหรับการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยกระบวนการกลั่นซ้ำนั้น จะเป็นการนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) ที่ผลิตออกมาในขั้นตอนก่อนหน้ามาทำการกลั่น ซึ่งจะทำให้ความร้อนแก่น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) จนกระทั่งเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส โดยที่แก๊สที่ระเหยขึ้นคือน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) ที่ต้องการ ดังที่แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยกระบวนการกลั่นซ้ำ

จากรูปที่ 4 น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้รับความร้อนจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 216°C จากนั้น น้ำมันไบโอดีเซลจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส แล้วแก๊สที่ระเหยขึ้นมาจากน้ำมันไบโอดีเซลจะถูกนำกลับมาควบแน่นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 35°C เพื่อนำไปใช้งาน ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) ที่นำมากลั่นต่อหนึ่งครั้งจะใช้ที่ปริมาณ 400 มิลลิลิตร และกลั่นออกมาให้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) ในปริมาณร้อยละ 90 จากปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) 400 มิลลิลิตร หรือกล่าวคือ ต้องกลั่นน้ำมันออกมาให้ได้ในปริมาณ 360 มิลลิลิตร จากน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) 400 มิลลิลิตร

3.2 การวัดคุณสมบัติของน้ำมัน

สำหรับงานวิจัยนี้ การวัดคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB), น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) และน้ำมันดีเซลนั้น ประกอบด้วยคุณสมบัติ 5 ประเภท ได้แก่ ความหนืด, ความถ่วงจำเพาะ, อุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบ, ค่าดัชนีซีเทน และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง โดยทำการวัดคุณสมบัติของน้ำมันภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) โดยใช้เครื่องมือวัดคุณสมบัติชนิดต่างๆดังแสดงในรูปที่ 5 - 8



รูปที่ 5 เครื่องมือ Viscosity-Kinematic Capillary Tempering Bath High Temperature และการวัดความหนืดภายใต้มาตรฐาน ASTM D445



รูปที่ 6 การวัดค่าความถ่วงจำเพาะด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ภายใต้มาตรฐาน ASTM D1298



รูปที่ 7 เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure วัดอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D86



รูปที่ 8 เครื่องมือ Bomb Calorimeter รุ่น Bomb C5000 ที่ใช้ทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D240

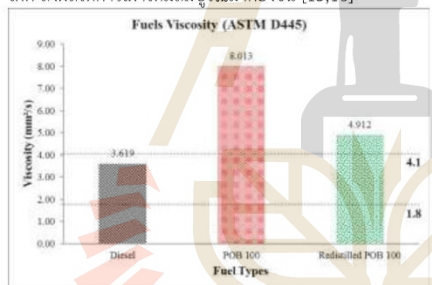
4. ผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลอง

การวัดค่าคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันจะวัดคุณสมบัติภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) ซึ่งผลที่ได้จะแสดงดังในตารางที่ 2 ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมัน

Type	Viscosity (mm ² /s) ASTM D445 1.8-4.1	Specific Gravity ASTM D1298 0.81-0.87	Distillation @ 50% recovered ASTM D86 300.00	Cetane Index ASTM D976 ≥ 50	Heating Value (MJ/kg) ASTM D240 45.424
Diesel	3.619	0.810	300.00	67.47	45.424
POB	8.013	0.875	328.00	47.92	38.592
R-POB	4.912	0.870	330.00	49.44	39.058

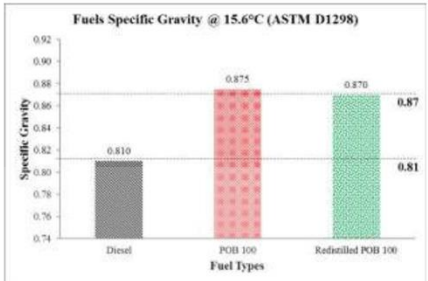
หมายเหตุ : R-POB คือ Redistilled POB

คุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) มีความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 121.41 และ 35.71 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งความหนืดนั้นจะมีผลต่อการกระจายตัวเป็นละอองฝอยของน้ำมันเมื่อถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความหนืดที่น้อยจะส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของน้ำมันได้ดี ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น [15,16]



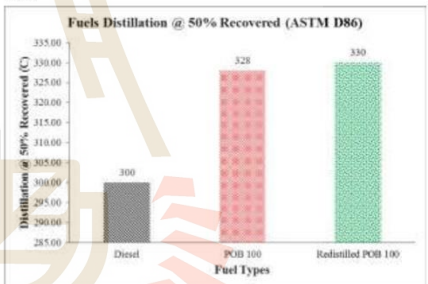
รูปที่ 9 ค่าความหนืดที่วัดได้จากน้ำมันชนิดต่างๆ

คุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 8.02 และ 7.41 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งถ้าความถ่วงจำเพาะมากขึ้นจะทำให้ค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำมันลดลงไป รวมไปถึงทำให้ดัชนีซีเทน ลดลง ทำให้การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และถ้าความหนาแน่นของน้ำมันสูง อัตราการไหลโดยมวลของน้ำมันก็จะสูงขึ้น ส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่มากขึ้นตามไปด้วย [15]



รูปที่ 10 ค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้จากน้ำมันชนิดต่างๆ

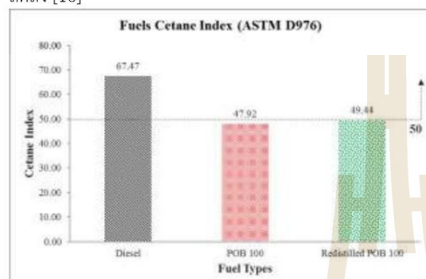
อุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) มีค่าอุณหภูมิการกลั่นมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 9.33 และ 10.00 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งอุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันนั้น จะส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์คือ การกลั่น 50% เป็นส่วนที่ระเหยได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อให้เครื่องยนต์ร้อนขึ้นได้เร็ว มีการกระจายตัวของน้ำมันไปยังสูบต่างๆ ได้สม่ำเสมอจนช่วยให้แรงเครื่องได้เรียบ



รูปที่ 11 ค่าอุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างน้ำมันที่วัดได้จากน้ำมันชนิดต่างๆ

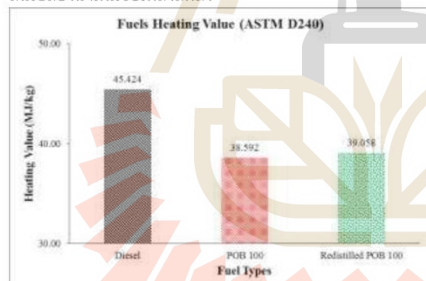
ค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) มีค่าดัชนีซีเทนที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 28.98 และ 26.72 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 12 โดยที่ค่าดัชนีซีเทนจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง ซึ่งหมายถึงคุณภาพการจุดติดไฟของน้ำมันนับตั้งแต่ น้ำมันเริ่มถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จนกระทั่งเกิดเปลวไฟขึ้น ช่วงระยะเวลานี้จะเรียกว่า “ความล่าช้าในการจุดติดไฟ” (Ignition Delay) น้ำมันที่ทำให้เกิดช่วงระยะเวลานี้สั้นจะมีค่าดัชนีซีเทนที่สูง ทำให้สามารถจุดติดไฟได้ง่าย, เครื่องยนต์สตาร์ทติดได้ง่ายในขณะที่มีอุณหภูมิต่ำหรืออยู่ในช่วงฤดูหนาว,

เครื่องยนต์รอนได้เร็วขึ้นโดยไม่เกิดควันขาว แต่ในขณะเดียวกันถ้าดัชนีซีเทนสูงเกินไปก็ส่งผลให้เครื่องยนต์ไม่มีกำลัง และค่าดัชนีซีเทนที่สูงจะส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง [16]



รูปที่ 12 ค่าดัชนีซีเทนที่คำนวณได้จากน้ำมันชนิดต่างๆ

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 15.04 และ 14.01 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะบ่งชี้ถึงพลังงานที่ได้รับจากเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ ในปริมาณหนึ่งหน่วยเท่ากัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน โดยที่น้ำมันที่มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมากจะส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง



รูปที่ 13 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจากน้ำมันชนิดต่างๆ

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 และในรูปที่ 9 – 13 พบว่า คุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ (1.8 – 4.1 cSt) และคุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ (0.81 – 0.87) ขณะที่ค่าดัชนีซีเทนมีค่าต่ำกว่าตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว [17] ที่กำหนดไว้คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 50

5. สรุปผลการทดลอง

จากการวิจัยนี้ เป็นการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และทำการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) แล้วทำการวัดคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติกับน้ำมันดีเซล ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า จากการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันภายใต้มาตรฐาน ASTM พบว่า คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการกลั่นซ้ำแล้ว (Redistilled POB) จะมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นมากกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และยังคงผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว สำหรับคุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะ แต่ก็คุณสมบัติอื่นๆ ก็ยังต้องดีกว่าหากเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการกลั่นซ้ำแล้ว (Redistilled POB) นั้น มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นพลังงานทางเลือกอีกหนึ่งทางเลือกไปในอนาคต หรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่มากขึ้น เพื่อลดการใช้ น้ำมันดีเซลลง

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่อาคารเครื่องมือ 4 และ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Alkabbashi, N., Alam, M. Z., Mirghani, M. E. S. & Al-Fusaieel, A. M. A., (2009). Biodiesel Production from Crude Palm Oil by Transesterification Process. *Journal of Applied Sciences*, Vol. 9, pp. 3166 – 3170.
- [2] Alamu, O. J., Waheed, M. A., & Jekayinfa, S. O. (2007, September). Biodiesel production from Nigerian palm kernel oil: effect of KOH concentration on yield. *Energy for Sustainable Development*, Vol. 11, No. 3.
- [3] Demirbas, A. (2008). *Biodiesel, A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines*, Springer-Verlag London limited.
- [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) 2008*, Vol. 7, pp. 79 – 94.

- [5] Basha, S., Gopal, K., & Jebaraj, S. (2009). A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance, *Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 13, pp. 1628 – 1634.
- [6] 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.
- [7] Fangsuwannarak, K. & Triratanasirichai, K. (2013). Effect of metalloid compound and bio-solution additives on biodiesel engine performance and exhaust emissions, *American Journal of Applied Sciences*, Vol. 10(10), pp. 1201 – 1213.
- [8] Hernandez, D., Fernandez, J. J., Mondragon, F., & Lopez, D. (2012). Production and utilization performance of a glycerol derived additive for diesel engines, *Fuel*, Vol. 92(1), pp. 130 – 136.
- [9] Weber de Menezes, E., Da Silva, R. & Cataluña, R. (2006). Effect of ethers and ether/ethanol additives on the physicochemical properties of diesel fuel and on engine tests, *Fuel*, Vol. 85(5–6), pp. 815 – 822.
- [10] Shaafi, T. & Velraj, R. (2015). Influence of alumina nanoparticles, ethanol and isopropanol blend as additive with diesel-soybean biodiesel blend fuel: Combustion, engine performance and emissions, *Renewable Energy*, Vol. 80, pp. 655 – 663.
- [11] Karthikeyan, S., Elango, A. & 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.
- [12] Selvaganapthy Sundar, A., Kumaragurubaran, B. & Gopal, P. (2013). An Experimental Investigation to Study the Effects of Various Nano Particles with Diesel on DI Diesel Engine, *ARPJ Journal of Science and Technology*, 2013, Vol. 3, No. 1.
- [13] 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.
- [14] 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 Energy*, Vol. 4, No. 1, pp. 11 - 21.
- [15] การรณ พงศ์สุวรรณรักษ์. (2556). รายงานการวิจัยการศึกษาผลของการเติมสารเร่งในน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://203.158.6.11:8080/sutir/bitstream/123456789/5405/2/Fulltext.pdf>, เข้าดูเมื่อวันที่ 08/04/2560
- [16] การรณ พงศ์สุวรรณรักษ์. (2554). ผลกระทบของการเติมสารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่อสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7, หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต.
- [17] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2556). *ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.doeb.go.th/dtanotice/cancel_diesel25_01_56.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 08/04/2560

Exhaust Emission Reduction from Compression Ignition Engine by Using Palm Biodiesel Blended with Nano Zinc Oxide Additive

Ponrawee Wanriko^{1, a}, Karoon Fangsuwannarak^{1, *b}

¹School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

^ab5107926@hotmail.com, ^{*b}karoon@sut.ac.th

Keywords: Palm biodiesel, fuel property, repeated-distillation, zinc oxide and exhaust emission.

Abstract. Biofuel modifications play a major role in a substitution for fossil fuel to be used in diesel engines and reducing exhaust emission. The most amounts of crude palm oil produced from Asian region can be an alternative fuel, sustainably. By the modifying crude palm oil into pure palm oil biodiesel (POB100), alkali trans-esterification procedure was operated. In the present, the high-quality POB products have been investigated considerably for alternative fuel in 4-cylinders high-speed diesel engine. The aim of this paper is to study in the improvement of POB quality by repeated-distillation and blending POB with nano-ZnO additive. The high-speed engine combustion from consuming blended POB fuel were investigated the influences of exhaust emission under speed engine operation of 2,000 rpm and 3,000 rpm. The experimental results were shown that the POB fuel yielded at 84.54% from using 400 g. of raw materials. Both of redistilled POB and POB blended with nano-ZnO additive showed the improvement of physical properties including viscosity, specific gravity and cetane number values being under ASTM standard values for high-speed engine. In addition, the results of exhaust emission from the engine showed the effective decrease of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂) around 13% due to using redistilled POB and POB blended nano-ZnO additive compared with diesel fuel. Unburned hydrocarbon (HC) and nitric oxide (NO_x) emissions of the diesel fuel condition. Therefore, this study suggests that nano-ZnO blending POB in the small fraction about 0.005 wt% is able to provide the high potentiality for as a clean and alternative fuel.

Introduction

Unburned hydrocarbon (HC), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), nitric oxide (NO_x), and particulate matter are the main exhaust emission, which have a significant cause of air pollution and green-house effect. Therefore, the scheme of using biofuel modification with no modifying engine instead of typical fossil fuel has become important issue. Palm methyl-ester fuel or palm oil biodiesel (POB) is based on trans-esterification process with methanol to provide POB carried out using potassium hydroxide (KOH) catalyst [1]. ASTM standard fuel tests performed on the palm oil biodiesel to provide the promising results as alternative biodiesel fuel [1,2] for diesel engine. Due to various its advantages such as abundant biomass resources, biodegradable and environmental friendliness over fossil fuel, POB is concern clean alternative fuels for diesel engines causes higher pollution. Increasing ambient air pollution force the researches to concern clean alternative fuels for diesel engines [3,4]. Moreover, biodiesel predominantly produced from biomass is becoming cost competitive with fossil fuels due to the widespread availability of biomass resource [5]. However, some POB fuel properties with high exhaust emissions are not allowed in the set regulation of energy business. Addition of additive is an alternative for improving POB fuel properties and reducing the exhaust emissions [6,7].

In the present, there are several kinds of bio-solution based additive to be synthesized for appropriate biodiesel oil and including bio-oil blends, for example, ethers based (ETBE: C₆H₁₄O and TAAE: C₇H₁₆O etc.) [8], ethanol based (C₂H₅OH) [9] or glycerol based (C₃H₈O₃) [6] in palm biodiesel. In addition, many kinds of metalloids based additives are widely use such as titanium oxide

[7], aluminum oxide [10] and even zinc oxide (ZnO) [11]. However, nano-ZnO additives as catalysts have not been studied extensively about the effect of additive fuel on the exhaust emission and fuel properties. Moreover, repeated distillation process which is able to improve POB quality, has been investigated insufficiently for applying in compression ignition engine. Thus, the aim of this work is to verify the comparative gas emissions of high-speed diesel engine under the tested fuel conditions of pure POB (POB100), redistilled POB and redistilled POB blending with nano-ZnO additive compared to diesel fuel.

In this study, the influence of pure POB on exhaust emission from internal combustion engine was studied. The POB fuel properties of fuel blend conditions were characterized under ASTM standard. In order to determine the available type of the tested fuel and achieve the reduction of the exhaust emissions, a high-speed diesel engine was tested on water brake type of dynamometer. All tests were performed without any modifying engine. Amounts of nitric oxide (NO_x), unburned hydrocarbon (HC), and carbon monoxide (CO) were measured by Testo 350 gas analyzer. Carbon dioxide (CO₂) emissions from the engine were measured by Horiba Mexa-584L version gas.

Experimental detail and methods

Trans-esterification process. Tri-glyceride is free fatty acid of three molecules together, which is a precursor to react with the alcohol (Methanol) with alkaline (Potassium Hydroxide) as catalyst for the reaction [12,13]. In this study, trans-esterification process was set up in the scale of laboratory. The output yields after the reaction are ester (biodiesel) and glycerol. Biodiesel produced from crude palm oil of 400 g. as a precursor with adding methanol of 20 wt% of crude palm oil and potassium hydroxide (KOH) 1 wt% of crude palm oil as a catalyst under 50°C reaction temperature and 30 minutes reaction time. Nano-ZnO particles synthesized from Nanoscience Technology Thailand were used as an additive. Nano-ZnO particles with small fraction about 0.005 wt% of POB100 (0.05 g. of nano-ZnO for a litre of POB100 and the mass of POB100 for a litre is 874.19 g.). The ZnO particles were blended homogenously in POB by ultrasonic shaker at 50°C for 4 hours in order to produce uniform suspension. POB purification was verified by gas chromatography. The basic properties of the tested fuel such as kinematic viscosity, specific gravity, distillation at 50%, cetane index were measured according to ASTM standards. Each measurement was repeated 3 times.



Fig. 1. Trans-esterification process.



Fig. 2. Nano-ZnO (Zinc Oxide) particles.



Fig. 3. Ultrasonic shaker and all types of fuel in this study.

Exhaust gas emissions. The vehicle demonstrated in this experiment is a standard pickup car with a manual gear box which has the engine specification listed in Table 1. Exhaust emission values were measured directly by sampling from exhaust pipe with probe of the analyzers. Meanwhile, measurement capacity for NO_x , CO, and CO_2 are in the range of 0-500 ppm, 0-10,000 ppm, and 0-50% vol., respectively. The test cycle were repeated three times. The software provides extraordinary data management capability and the ability to import/export data.

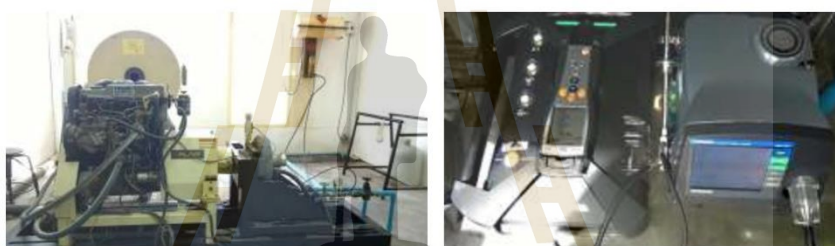


Fig. 4. The schematic of engine test and exhaust gas analyzers.

Table 1. Engine Specification.

Engine Number	D 1870/1 TL	Swept Volume	1,753
Bore	82.5 mm	Compression Ratio	21.5 to 1
Stroke	82.0 mm	Maximum Power	37 kW at 3,600 RPM
Number of Cylinder	4	Maximum Speed	5,000 RPM

Results and Discussions

The experimental results showed that the POB fuel yielded of 84.54% from crude palm oil of 400 g. in Table 2. Normally, POB100 has the higher viscosity than diesel fuel but as can be seen in Table 3, repeated-distillation of POB caused kinematic viscosity decreased significantly as compared with pure POB100. However, there is no significant variation of viscosity value for adding ZnO in redistilled POB condition. POB100, redistilled POB and redistilled POB blended with ZnO additive provide the steady value of specific gravity. Cetane index values of all tested POB fuel are under ASTM standard but there is a slight increase of cetane index of redistilled POB and redistilled POB blended with ZnO additive of 3% and 0.4%, respectively, as compared with POB100. It seems to be that as the result of poorer physical properties of the improved POB fuels compared with diesel fuel, they will be profitable for low speed engine and there is low viscosity, sufficiently.

Table 2. Result of Palm Biodiesel Yielded.

Experimental Conditions	Testing		
	Case 1	Case 1	Case 1
Crude Palm Oil Quantity (g.)	400.23	400.06	400.12
Methanol Quantity (g.)	80.20	80.01	80.18
KOH Quantity (g.)	4.02	4.08	4.11
Reaction Temperature (°C)	52.00	51.00	51.00
Reaction Time (Min.)	30.00	30.00	30.00
Palm Biodiesel Obtained (g.)	340.90	332.64	341.26
Palm Biodiesel Obtained (ml.)	400.12	390.42	400.54
Glycerol Obtained (g.)	49.10	57.44	48.62
Losses (g.)	59.33	67.42	58.86
Palm Biodiesel Yielded (%)	85.18	83.15	85.29
Palm Biodiesel Yielded Average (%)	84.54		

Table 3. Fuel Properties.

Type	Viscosity (mm ² /s) ASTM D445 1.8-4.1	Specific Gravity ASTM D1298 0.81-0.87	Distillation @ 50% recovered ASTM D86	Cetane Index ASTM D976 ≥ 45	Heating Value (MJ/kg) ASTM D240
Diesel	3.619	0.810	300.00	67.47	45.424
POB100	8.013	0.875	328.00	47.92	38.592
Redistilled POB (I)	4.912	0.870	330.00	49.44	39.058
I + ZnO 0.005 wt%	4.953	0.875	332.00	48.13	38.420

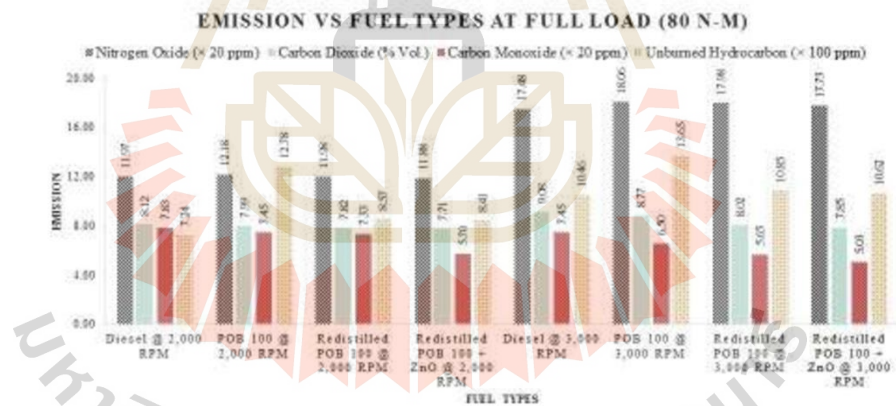


Fig. 5. Comparison of exhaust emissions from the engine operating at 2,000 rpm and 3,000 rpm.

Fig. 5. shows the results of exhaust emission under engine speed operation at 2,000 rpm and 3,000 rpm and the different fuel tests. It is found that the engine operated by POB100 and improved POB blends provide a reduction of CO and CO₂ as compared with diesel fuel test. In particular, CO₂ decreases by 3.41%, 11.67% and 13.55% for the test conditions of POB100, redistilled POB and redistilled POB blended with ZnO, respectively, at engine speed of 3,000 rpm as compared with diesel fuel test. Meanwhile, CO results show the same reduction trend with CO₂ emissions. Although, there are no decrease values of NO_x emissions [14] and HC in the POB group conditions. There is no

decrease in NO_x, because of high value of cetane index in the POB group conditions. Redistilled POB blended with ZnO additive is obtainable the steady values as compared with diesel fuel test. Thus, the experimental results suggest that 4-cylinder engine fuelled the improved POB tests is able to reduce CO and CO₂ [14] emissions and will be profitable for city cars in order to decrease air pollution problem.

Summary

The main aim of this study was to improve palm biodiesel fuel by repeated-distillation process and using nano-ZnO additive due to its friendly nano-material. The results suggest that the improved POB obtains poorer physical properties than diesel fuel but there is an improvement of properties as compared with POB100. Nevertheless, reductions of CO and CO₂ were found under the test conditions of the improved POB fuels in particular redistilled POB blended with nano-ZnO additive. Thus, this study reveals the possibility of optimization approach to be employed city car fueled by improved POB with optimum nano-ZnO dosing in order to decrease air pollution problem.

Acknowledgement

This study was supported by Suranaree University of Technology and National Research Council of Thailand. The author would like to gratitude to Nanoscience Technology Co., Ltd. Thailand for nano-ZnO particles support.

References

- [1] N. Alkabbashi, Md Z. Alam, M. E. S. Mirghani and A. M. A. Al-Fusaiel, Biodiesel Production from Crude Palm Oil by Transesterification Process. *Journal of Applied Sciences* 2009;9: 3166-3170.
- [2] Alamu, O. J., Waheed, M. A., & Jekayinfa, S. O., Biodiesel production from Nigerian palm kernel oil: effect of KOH concentration on yield, *Energy for Sustainable Development*, 2007, Vol. 11, No. 3.
- [3] Demirbas, A., *Biodiesel, A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines*, Springer-Verlag London limited, 2008.
- [4] Jawad, N., Syed Khaleel, A., & Farrukh, N., Palm Biodiesel an Alternative Green Renewable Energy for the Energy Demands of the Future, *International Conference on Construction and Building Technology (ICCBT)*, 2008, Vol. 7, pp. 79 - 94.
- [5] Basha, S., & Gopal, K., & Jebaraj, S., A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance, *Renewable and Sustainable Energy*, 2009, Vol. 13, pp. 1628–1634.
- [6] Chen, K. S., Lin, Y. C., Hsieh, L. T., Lin, L. F., & Wu, C. C., Saving energy and reducing Pollution by use of emulsified palm –biodiesel blends with bio-solution additive, *Energy*, 2011, Vol. 35, pp. 2043 - 2048.
- [7] K. Fangsuwannarak & K. Triratanasirichai., Effect of metalloid compound and bio-solution additives on biodiesel engine performance and exhaust emissions, *American Journal of Applied Sciences* 2013;10 (10): pp. 1201-1213.
- [8] D. Hernandez, J. J. Fernandez, F. Mondragon, D. Lopez., Production and utilization performance of a glycerol derived additive for diesel engines, *Fuel* 2012; 92 (1): pp. 130–136.
- [9] E. Weber de Menezes, R. da Silva, R. Cataluña., Effect of ethers and ether/ethanol additives on the physicochemical properties of diesel fuel and on engine tests, *Fuel* 2006; 85 (5–6):pp. 815–822.
- [10] T. Shaafi, & R. Velraj, Influence of alumina nanoparticles, ethanol and isopropanol blend as additive with diesel-soybean biodiesel blend fuel: Combustion, engine performance and emissions, *Renewable Energy* 2015; 80: pp. 655–663.

- [11] Karthikeyan S., Elango A. and Prathima A., Performance and Emission Study on Zinc Oxide Nano Particles Addition with Pomolion Stearin Wax Biodiesel of CI Engine, *Journal of Scientific & Industrial Research*, 2014, Vol. 73, pp. 187 – 190.
- [12] Caye M. D., Nghiem P.N., & Terry H.W., *Biofuel Engineering Process Technology* 1st ed., McGraw-Hill Professional, New York, 2008, pp. 197-200, pp. 202-204.
- [13] J. B. Nduwayezu, T. Ishimwe, A. Niyibizi, & A. Munyentwali, Biodiesel Production from Unrefined Palm Oil on Pilot Plant Scale, *International Journal of Sustainable and Green Energy*, 2015, Vol. 4, No. 1, pp. 11-21.
- [14] J. Xuea, T. E. Grift, & A. C. Hansena, Effect of biodiesel on engine performances and emissions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011; 15: pp. 1098–1116.



การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13
วันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

การปล่อยมลพิษของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการกลั่นซ้ำในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว Emission of Improved Palm Oil Biodiesel by Repeated-Distillation Process for High-Speed Diesel Engine

พลรวี วรณวิโก ^{1*}, และ การุญ พิงสุวรรณรักษ์ ^{1*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

*ผู้ติดต่อ: E-Mail: b5107926@hotmail.com และ karoon@sut.ac.th, โทรศัพท์ 08-8224-0171

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ เป็นการนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยกระบวนการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) ไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว 4 สูบ ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) จะถูกใช้ในการทดสอบการปล่อยมลพิษจากเครื่องยนต์โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ใช้ทั่วไป ซึ่งน้ำมันทั้ง 3 ชนิดได้ผ่านการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันซึ่งอยู่ภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) โดยคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการกลั่นซ้ำแล้ว (Redistilled POB) จะมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นมากกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) แต่ก็ยังด้อยกว่าคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล ในส่วนการทดสอบการปล่อยมลพิษนั้น จะทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ที่ 2,000 และ 3,000 รอบต่อนาที โดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) เป็นเชื้อเพลิง ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ที่ 2,000 รอบต่อนาที พบว่าการปล่อย CO₂ ลดลง 1.60% และ 3.69% ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ที่ 3,000 รอบต่อนาที พบว่าการปล่อย CO₂ ลดลง 3.41% และ 11.67% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เช่นเดียวกับการปล่อย CO ที่มีผลการทดสอบในลักษณะเดียวกันกับ CO₂ ในขณะที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ที่ 2,000 รอบต่อนาที พบว่าการปล่อย NO_x มากขึ้น 1.73% และ 0.06% ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ที่ 3,000 รอบต่อนาที พบว่าการปล่อย NO_x มากขึ้น 3.30% และ 2.86% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง รวมถึงการปล่อย HC ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ที่ 2,000 รอบต่อนาที พบว่าการปล่อย HC มากขึ้น 76.45% และ 18.37% ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ที่ 3,000 รอบต่อนาที พบว่าการปล่อย HC มากขึ้น 30.56% และ 3.73% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และจากการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า น้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) สามารถลดการปล่อยมลพิษได้ จึงเป็นอีกหนึ่งพลังงานทางเลือกที่ดีสำหรับอนาคต

คำหลัก: ไบโอดีเซล, น้ำมันปาล์มดิบ, การกลั่นน้ำมันซ้ำ, คุณสมบัติของเชื้อเพลิง และการปล่อยมลพิษ

Abstract

In this work, pure POB fuel was improved by using repeated-distillation process in order to apply effectively in 4-cylinders high-speed diesel engine. The influences of pure POB and Redistilled POB on exhaust emission from internal combustion engine were studied under the comparison with commercial diesel fuel. The physical properties of all tested fuels were characterized under ASTM, which Redistilled POB obtains poorer physical properties than diesel fuel but there is an improvement of properties as compared with pure POB. Meanwhile, exhaust emission from the tested engine at 2,000-3,000 rpm was studied under using different POB fuels. It shows at 2,000 rpm the effective decrease of CO₂ by 1.60% and 3.69% for using pure POB and Redistilled POB, respectively, while 3,000 rpm CO₂ decreased by 3.41% and 11.67% for using pure POB and Redistilled POB, respectively as compared with using commercial diesel fuel. CO results show the same reduction trend with CO₂ emission. However, NO_x emission results show a small amount of increase in exhaust by 1.73% and 0.06% from the engine at 2,000 rpm and by 3.30% and 2.86% from the engine at 3,000 rpm using pure POB and Redistilled POB, respectively as compared with using diesel fuel. Meanwhile, Redistilled POB fuel can relieve the increase of HC emission of pure POB by 76.45% and 18.37%

from the engine at 2,000 rpm and by 30.56% and 3.73% from the engine at 3,000 rpm, respectively. This study suggests that Redistilled POB fuel has the high potentiality for as a clean and alternative fuel.

Keywords: biodiesel, crude palm oil, fuel property, repeated distillation process and exhaust emission

1. บทนำ

การปล่อยไฮโดรคาร์บอน (HC), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) รวมถึงอนุภาคเล็กๆจากไอเสียของรถยนต์นั้นเป็นสาเหตุหลักของการเกิดมลพิษทางอากาศและยังส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจกขึ้น ซึ่งเป็นผลให้มีความจำเป็นในการนำเชื้อเพลิงทางเลือกมาปรับปรุงสำหรับใช้ในเครื่องยนต์แทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลทั่วไป โดยที่ไม่ได้มีการปรับแต่งเครื่องยนต์สำหรับใช้งานเชื้อเพลิงจากชีวภาพแต่อย่างใด น้ำมันปาล์มดิบจึงเป็นอีกเชื้อเพลิงทางเลือกที่น่าสนใจนำมาใช้ ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยปฏิกิริยา Trans-esterification นั้น จะใช้เมทานอล รวมทั้งใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [1] ขณะที่ผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบตามมาตรฐานของ ASTM บ่งชี้ว่า น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบเป็นอีกหนึ่งพลังงานทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล [1,2] อย่างไรก็ตาม โดยปกติแล้วเครื่องยนต์ดีเซลจะมีการปล่อยมลพิษ NO_x มากกว่าเครื่องยนต์เบนซิน หรือเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟอยู่แล้ว ซึ่งมลพิษที่ปล่อยออกมาเป็นปริมาณมากนั้นจะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลถึงการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม เพื่อหาพลังงานทางเลือกอื่นที่สามารถลดการปล่อยมลพิษลง ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบเป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจเนื่องจากข้อดีมากมาย เช่น เป็นแหล่งพลังงานทางชีวมวลที่อุดมสมบูรณ์และสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย รวมถึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล [3,4] นอกจากนี้ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเป็นพลังงานทางชีวมวลโดยส่วนใหญ่จะกลายเป็นแหล่งสำหรับลงทุนที่สามารถแข่งขันกับเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ เนื่องจากทรัพยากรทางชีวมวลนี้มีอยู่อย่างแพร่หลายทั่วไป [5] อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งมีการปล่อยมลพิษสูงจะไม่ได้รับอนุญาตสำหรับการนำไปใช้งาน เนื่องจากไม่ได้มาตรฐานตามกฎระเบียบที่กำหนดไว้โดยกรมธุรกิจพลังงาน การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยการเพิ่มสารเติมแต่งอินทรีย์จึงเป็นอีกทางเลือกสำหรับการปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบและลดการปล่อยมลพิษ [6,7]

ในปัจจุบันนี้ สารเติมแต่งอินทรีย์สำหรับเชื้อเพลิงที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมานั้นถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น อีเทอร์ (C₆H₁₄O และ C₇H₁₆O เป็นต้น) [8], เอทานอล (C₂H₅OH) [9] หรือ กลีเซอรอล (C₃H₈O₃) [6] อีกทั้งยังมีการสารเติมแต่งใน

กลุ่มของโลหะ เช่น โทเทเนียม ออกไซด์ [7], อะลูมิเนียมออกไซด์ [10] แม้กระทั่ง ซิงค์ ออกไซด์ [11,12] ที่ถูกนำมาใช้ผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ 100% (POB 100) เพื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วในการลดการปล่อยมลพิษ

ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้นั้น จะเป็นการนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตขึ้นมาจากด้วยปฏิกิริยา Trans-esterification มาผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติ หรือปรับปรุงคุณภาพโดยกระบวนการกลั่นน้ำมันซ้ำ (Redistilled POB) แทนการผสมสารเติมแต่งเข้าไปในน้ำมัน เนื่องจากกระบวนการกลั่นน้ำมันซ้ำจะเป็นการแยกของหนักที่ไม่สามารถละลายได้ทั้งหมดอยู่ในน้ำมันออกไป เพื่อให้ให้น้ำมันมีคุณภาพที่ดีขึ้น แล้วนำน้ำมันมาผ่านการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงภายใต้มาตรฐาน ASTM และทำการทดสอบการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), ไฮโดรคาร์บอน (HC), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) โดยต่อเครื่องยนต์ดีเซลเข้ากับไดนาโมมิเตอร์ชนิดใช้น้ำเป็นการกระทำกับเครื่องยนต์ และในการทดสอบการปล่อยมลพิษจะไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ไปจากเดิมแต่อย่างใด

2. วัตถุประสงค์ที่เกี่ยวข้อง

2.1 การปล่อยมลพิษจำเพาะ และดรรชนีมลพิษ

ในการทำงานของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในจะมีการปล่อยไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศออกจากเครื่องยนต์ ซึ่งมีส่วนประกอบที่ถือว่าเป็นมลพิษออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่ยังไม่เผาไหม้ และสารละออง (Particulate) ความเข้มข้นของแก๊สที่เป็นมลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์มักจะถูกวัดเป็นส่วนในล้านส่วน หรือร้อยละในปริมาตร แต่พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะพิจารณาเป็น 2 ลักษณะ คือ อัตราการไหลของมวลมลพิษต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมา เรียกว่า “การปล่อยมลพิษจำเพาะ” อีกลักษณะหนึ่งคืออัตราการไหลของมวลมลพิษต่อหน่วยอัตราไหลของเชื้อเพลิงที่เรียกว่า “ดรรชนีการปล่อยมลพิษ”

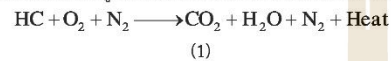
การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันกับเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงเป็นสารที่มีพลังงานเคมีอยู่ในตัวเองและสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีให้กลายเป็นรูปความร้อนได้ โดยผ่านกระบวนการเผาไหม้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจน ผลที่เกิดจากปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้ทั้งเชื้อเพลิงและออกซิเจนจัดรวมตัวกันใหม่ กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13
วันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

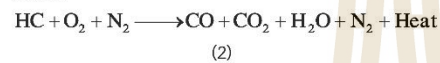
และผลพลอยได้คือ ความร้อนและแสงสว่างที่สามารถมองเห็น
ได้ในรูปแบบของเปลวไฟ

2.2 การเกิดมลพิษในเครื่องยนต์สันดาปภายใน

การเผาไหม้ของเครื่องยนต์จะส่งผลต่อการปล่อยมลพิษ
ของเครื่องยนต์ ซึ่งการเผาไหม้ของเครื่องยนต์แบ่งออกได้ดังนี้
การเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ



และการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณออกซิเจนไม่
เพียงพอ



เมื่อ HC คือ น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล)

N_2 คือ ไนโตรเจน

Heat คือ ไอเสียอุณหภูมิสูง

สำหรับการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์สันดาปภายใน [13]
โดยทั่วไปแบ่งได้ดังนี้

2.2.1 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดเนื่องจากการสันดาปที่
ไม่สมบูรณ์ โดยทั่วไปเกิดจากการมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ
นอกจากนี้สามารถเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ เช่น เกิดการมี
ส่วนผสมบาง เกิดจากการดับของเปลวไฟขณะกระบวนการเผา
ไหม้เนื่องจากไอที่ที่อยู่บริเวณติดกับผนังห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิ
ต่ำ เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งเกิดจากการจ่ายน้ำมัน
เชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ไม่สม่ำเสมอ หรือเกิดจากการที่แก๊ส
คาร์บอนไดออกไซด์นั้น สามารถที่จะเปลี่ยนไปเป็นแก๊ส
คาร์บอนไดออกไซด์ได้ เมื่อเพิ่มออกซิเจนเข้าไปในกระบวนการ
แต่ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้ไม่สามารถ
เปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้หมด

2.2.2 ไฮโดรคาร์บอน (HC)

ไฮโดรคาร์บอน (HC) เป็นแก๊สที่สามารถติดไฟได้
เนื่องจากไฮโดรเจนและคาร์บอนเป็นธาตุที่ติดไฟ เมื่อเกิดการ
เผาไหม้ไม่หมดจึงเหลือเชื้อเพลิง (ไฮโดรคาร์บอน) ปนออกมา
กับไอเสีย ซึ่งการเกิดแก๊สดังกล่าวมีหลายสาเหตุคือ เกิดจาก
อากาศมีปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อการสันดาปเชื้อเพลิงที่
สมบูรณ์ จึงเหลือเชื้อเพลิงบางส่วนที่ไม่เผาไหม้ เกิดจากสัดส่วน
หรืออัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศไม่เหมาะสม ไม่ว่าจะ
จะเป็นส่วนผสมหนาหรือส่วนผสมบาง เพราะส่วนผสมหนาจะ
ทำให้ออกซิเจนที่ใช้ในการสันดาปไม่เพียงพอเชื้อเพลิงจึงเผา
ไหม้ไม่หมด ในขณะที่ส่วนผสมบางจะทำให้การ
แพร่กระจายของเปลวไฟลดลง ทำให้ส่วนผสมบางส่วนเผาไหม้
ไม่ทันและเหลือมากกับไอเสีย อีกทั้งยังเกิดจากส่วนผสมบางส่วน
หลุดปนออกไปกับไอเสียในจังหวะที่ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียเปิด
เหลื่อมกัน (Overlap) หรืออาจเกิดจากไอที่ติดกับผนัง

กระบอกสูบทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์
เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างไอดีและผนัง
กระบอกสูบเกิดขึ้นมากเกินไป

2.2.3 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เกิดจากการสันดาปในห้อง
เผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง หมายความว่า ถ้ามีการเผาไหม้ที่
สมบูรณ์จะเกิดไนโตรเจนออกไซด์มาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า
ไนโตรเจนออกไซด์จะเกิดได้นั้นต้องมิจึงจยอยู่ 2 อย่างคือ
อุณหภูมิในห้องเผาไหม้และอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับ
น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับอัตราส่วนผสมที่ระดับต่างๆกัน จะมีผล
ทำให้เกิดแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ในปริมาณที่ต่างกัน

3. วิธีการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้ จะทำการวัดการปล่อยมลพิษหลังจากการ
สันดาปภายในเครื่องยนต์ ได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x),
ไฮโดรคาร์บอน (HC), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) โดยการวัดค่าการปล่อย ไนโตรเจน
ออกไซด์ (NO_x) และ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ใช้เครื่องมือวัด
มลพิษยี่ห้อ Testo รุ่น 350 ส่วน คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)
และ ไฮโดรคาร์บอน (HC) ใช้เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Horiba
รุ่น Mexa 584L โดยวัดการปล่อยมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซลที่
มีข้อมูลจำเพาะ ดังที่แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งวัดการปล่อยมลพิษ
ของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ที่ 2,000 รอบ/
นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ที่
ภาระกระทำสูงสุด 80 นิวตัน เมตร (80 N m)

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์สำหรับงานวิจัย

Type	FORD XLD 418
Engine Number	D 1870/1 TL
Bore	82.5 mm
Stroke	82.0 mm
Number of Cylinder	4
Swept Volume	1753
Compression Ratio	21.5 to 1
Maximum Power	37 kW at 3600 RPM
Maximum Speed	5000 RPM



รูปที่ 1 เครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13
วันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

จากรูปที่ 1 จะแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆสำหรับทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) แบบใช้น้ำเป็นภาระกระทำต่อเครื่องยนต์ (Water Brake Absorbers) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิของน้ำมันเครื่อง (Oil Temperature meter) อุปกรณ์วัดแรงบิด (Torque meter) อุปกรณ์วัดความเร็วในการไหลของอากาศ (Air Flow Rate meter) รวมถึงอุปกรณ์วัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (Engine Speed meter) และการวัดการปล่อยมลพิษจะวัดที่ท่อไอเสียที่ต่อออกมาจากเครื่องยนต์ โดยใช้อุปกรณ์ในการวัดการปล่อยมลพิษ ดังที่แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 (ขวามือ) เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Testo รุ่น 350 (ซ้ายมือ) เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Horiba รุ่น Mexa-584L

4. ผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลอง

สำหรับคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันจากการวัดคุณสมบัติภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) แสดงดังในตารางที่ 2 ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล, POB และ Redistilled POB

Type	Viscosity (mm ² /s)	Specific Gravity	Distillation @ 50% recovered	Cetane Index	Heating Value (MJ/kg)
	ASTM D445 1.8-4.1	ASTM D1298 0.81-0.87	ASTM D86	ASTM D976 ≥ 50	ASTM D240
Diesel	3.619	0.810	300.00	67.47	45.424
POB	8.013	0.875	328.00	47.92	38.592
R-POB	4.912	0.870	330.00	49.44	39.058

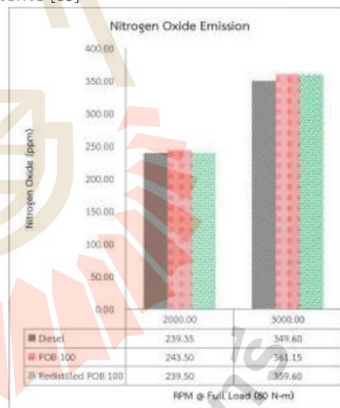
หมายเหตุ : R-POB คือ Redistilled POB

จากตารางที่ 2 คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการกลั่นซ้ำแล้ว (Redistilled POB) จะมีคุณสมบัติที่น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) แต่ยังคงดีกว่าคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล ซึ่งคุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ (1.8 - 4.1 cSt) และคุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ (0.81 - 0.87) ขณะที่ค่าดัชนีซีเทนมีค่า

เป็นไปตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว [14] ที่กำหนดไว้คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 50

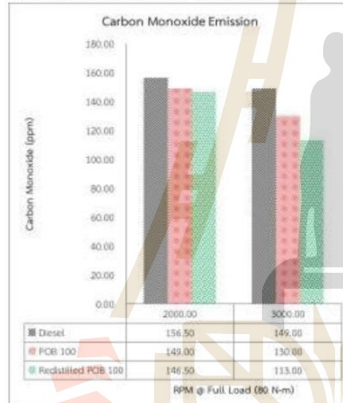
การวัดมลพิษที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์หลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์จะทำการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ ที่ 2,000 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที โดยมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ที่ภาระกระทำสูงสุด 80 นิวตัน-เมตร (80 N-m)

การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ ที่ 2,000 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) ปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 1.73 และ 0.06 ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ ที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) ปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 3.30 และ 2.86 ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟแผนภูมิแท่งในรูปที่ 3 และที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้น จะทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงขึ้น ส่งผลต่อการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของเครื่องยนต์สูงขึ้นตามไปด้วย [13]



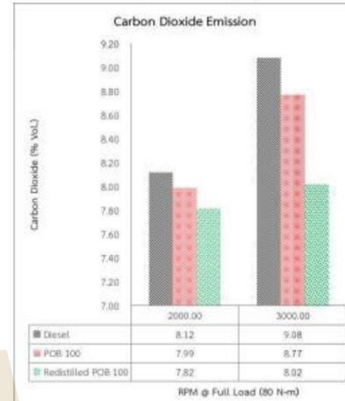
รูปที่ 3 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ที่ปล่อยหลังจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จากน้ำมันชนิดต่างๆ การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ ที่ 2,000 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) ปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ลดลง

จากน้ำมันดีเซลร้อยละ 4.76 และ 6.39 ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) ปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ลดลงจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 12.75 และ 24.16 ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟแผนภูมิแท่งในรูปที่ 4 และที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ลดลง เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้นในห้องเผาไหม้ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้น ซึ่งเกิดจากสัดส่วน หรืออัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศเป็นแบบส่วนผสมบาง (น้ำมันปริมาณน้อย อากาศปริมาณมาก) ออกซิเจนที่มีปริมาณสูงขึ้นในกระบวนการสันดาปภายในจะทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สามารถเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ได้มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ลดลง [13]



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ปล่อยหลังจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จากน้ำมันชนิดต่างๆ การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ 2,000 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ลดลงจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 1.60 และ 3.69 ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ลดลงจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 3.41 และ 11.67 ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟแผนภูมิแท่งในรูปที่ 5 และที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เพิ่มขึ้น เกี่ยวกับปริมาณ

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ลดลง เนื่องจากเหตุผลเดียวกับที่อธิบายไปก่อนหน้านี้ คือ ปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สามารถเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ได้มากขึ้น [13]



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ปล่อยหลังจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จากน้ำมันชนิดต่างๆ การปล่อยไฮโดรคาร์บอน (HC) ของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่ความเร็วรอบคงที่ 2,000 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) ปล่อยไฮโดรคาร์บอน (HC) มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 76.45 และ 18.37 ตามลำดับ ขณะที่ความเร็วรอบคงที่ 3,000 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) ปล่อยไฮโดรคาร์บอน (HC) มากขึ้นจากน้ำมันดีเซลร้อยละ 30.56 และ 3.73 ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟแผนภูมิแท่งในรูปที่ 6 และที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น การปล่อยไฮโดรคาร์บอน (HC) เพิ่มขึ้น เป็นผลเกี่ยวเนื่องมาจากการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในปริมาณที่ลดลง และส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสัดส่วน หรืออัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศเป็นแบบส่วนผสมบาง ซึ่งอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันกับอากาศแบบส่วนผสมบางนั้น จะทำให้การแพร่กระจายของเปลวไฟลดลง ทำให้ส่วนผสมบางส่วนเผาไหม้ไม่ทันและเหลือมากกับไอเสีย ส่งผลให้เกิดการปล่อยไฮโดรคาร์บอน (HC) ในปริมาณที่มากขึ้น [13]

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13
วันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่ปล่อยหลังจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จากน้ำมันชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 3 – 6 จะพบว่า ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วมีค่าคงที่ ที่ 2,000 รอบ/นาที และ 3,000 รอบ/นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว โดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) มีการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) [15] และไฮโดรคาร์บอน (HC) ในปริมาณที่มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล ขณะที่มีการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) [15] ในปริมาณที่ลดลงจากน้ำมันดีเซล ซึ่งจากงานวิจัยนี้บ่งชี้ว่า น้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) สามารถลดการปล่อยมลพิษได้มากกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) ซึ่งเหมาะสำหรับเป็นพลังงานทางเลือกในอนาคตต่อไป

5. สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้ ในการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว นั้น จากผลการวัดพบว่า น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) นั้น มีการปล่อยมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และไฮโดรคาร์บอน (HC) ในปริมาณที่มากขึ้นจากน้ำมันดีเซล ขณะที่มีการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในปริมาณที่ลดลงจากน้ำมันดีเซล ซึ่งน้ำมันปาล์มดิบที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วโดยการกลั่นซ้ำ (Redistilled POB) สามารถลดการปล่อยมลพิษได้มากกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (POB) จึงเหมาะสำหรับเป็นพลังงานทางเลือกอีกหนึ่งทางเลือกเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลในการนำมาใช้ในอนาคตต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่อาคารเครื่องมือ 4 และ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Alkabbashi, N., Alam, M. Z., Mirghani, M. E. S. & Al-Fusaieil, A. M. A., (2009). Biodiesel Production from Crude Palm Oil by Transesterification Process. *Journal of Applied Sciences*, Vol. 9, pp. 3166 - 3170.
- [2] Alamu, O. J., Waheed, M. A., & Jekayinfa, S. O. (2007, September). Biodiesel production from Nigerian palm kernel oil: effect of KOH concentration on yield. *Energy for Sustainable Development*, Vol. 11, No. 3.
- [3] Demirbas, A. (2008). *Biodiesel, A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines*, Springer-Verlag London limited.
- [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) 2008*, Vol. 7, pp. 79 - 94.
- [5] Basha, S., Gopal, K., & Jebaraj, S. (2009). A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance, *Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 13, pp. 1628 - 1634.
- [6] 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.
- [7] Fangsuwannarak, K. & Tiritanasirichai, K. (2013). Effect of metalloloid compound and bio solution additives on biodiesel engine performance and exhaust emissions, *American Journal of Applied Sciences*, Vol. 10(10), pp. 1201 - 1213.
- [8] Hernandez, D., Fernandez, J. J., Mondragon, F., & Lopez, D. (2012). Production and utilization performance of a glycerol derived additive for diesel engines, *Fuel*, Vol. 92(1), pp. 130 - 136.
- [9] Weber de Menezes, E., Da Silva, R. & Cataluña, R. (2006). Effect of ethers and ether/ethanol

- additives on the physicochemical properties of diesel fuel and on engine tests, *Fuel*, Vol. 85(5-6), pp. 815 – 822.
- [10] Shaafi, T. & Velraj, R. (2015). Influence of alumina nanoparticles, ethanol and isopropanol blend as additive with diesel-soybean biodiesel blend fuel: Combustion, engine performance and emissions, *Renewable Energy*, Vol. 80, pp. 655 – 663.
- [11] Karthikeyan, S., Elango, A. & 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.
- [12] Selvaganapthy Sundar, A., Kumaragurubaran, B. & Gopal, P. (2013). An Experimental Investigation to Study the Effects of Various Nano Particles with Diesel on DI Diesel Engine, *ARPJ Journal of Science and Technology*, 2013, Vol. 3, No. 1.
- [13] สมรัฐ เกิดสุวรรณ. (2549). *การเผาไหม้และการควบคุมมลพิษ*. ปทุมธานี: สำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [14] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2556). *ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.dgeb.go.th/dtanotice/cancle-diesel25-01-56.pdf>, เข้าดูเมื่อวันที่ 08/04/2560
- [15] Xuea, J., Grift, T. E. & Hansena, A. C. (2011). Effect of biodiesel on engine performances and emissions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, pp. 1098 – 1116.

การเปรียบเทียบคุณสมบัติ และการปลดปล่อยมลพิษของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมัน ทำอาหารที่ใช้แล้ว

Comparison of product quality and exhaust emission tests of different biodiesels from crude palm oil and wasted cooking oil

พลรวี วรรณวิภา^{1*} และ การฤญ พิงสุวรรณ์รักษ์¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

*ผู้ติดต่อ : E-Mail : b5107926@hotmail.com, โทรศัพท์ 08-8224-0171

บทคัดย่อ

การใช้วัตถุดิบสองชนิดที่ต่างกันคือ น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการ Trans-esterification โดยการใช้ต่างสำหรับน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์ม (POB) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว (WOB) การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลใช้ Methanol และ Potassium Hydroxide เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะถูกนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆ (10% - 15% - 20% POB and 10% - 15% - 20% WOB) และทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยวเพื่อวัดค่าการปล่อยมลพิษ รวมถึงวัดคุณสมบัติต่างๆภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM)

จากการศึกษาพบว่า น้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วสามารถผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลได้ร้อยละ 94.92 มากกว่าน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตได้ร้อยละ 84.54 ภายใต้เงื่อนไขการผลิตเดียวกัน คุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์มที่ผสมกับน้ำมันดีเซลทุกสัดส่วน, น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วที่ผสมกับน้ำมันดีเซลทุกสัดส่วน และน้ำมันไบโอดีเซลจากปาล์ม 100% (POB 100) มีค่าไม่เกินมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรที่กำหนดไว้ (ไม่เกิน 8 cSt) ยกเว้นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว 100% (WOB 100) ที่เกินมาตรฐานที่กำหนด คุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะและค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันทุกตัวอย่างมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรที่กำหนดไว้คือ ไม่เกิน 0.920 และมากกว่า 45 ตามลำดับจากการวัดภายใต้มาตรฐาน ASTM

นอกจากนี้ ผลการวัดค่าการปล่อยมลพิษพบว่า ปริมาณของ Carbon Monoxide, Carbon Dioxide และ Unburned Hydrocarbon จากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วที่ผสมกับน้ำมันดีเซลทุกสัดส่วนมีปริมาณลดลง ยกเว้น Nitrogen Oxide ที่ปล่อยออกมาปริมาณมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ขณะใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

คำหลัก : ไบโอดีเซล, น้ำมันปาล์มดิบ, น้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว, คุณสมบัติของเชื้อเพลิง และการปล่อยมลพิษ

Abstract

Different raw materials from crude palm oil and wasted cooking oil was produced based on alkali trans-esterification process for palm oil biodiesel (POB) and wasted oil biodiesel (WOB). The production process uses methanol and potassium hydroxide as catalyst. Biodiesel quality products has been investigated in order to use in single cylinder diesel engine. The influence of different oil on exhaust emission from internal combustion engine was studied. The biodiesel blends in various fractions with diesel (10%-15%-20% POB and 10%-15%-20% WOB) have been characterized for fuel properties under ASTM.

The results were shown that the higher amount of WOB fuel yielded at 94.92% than POB fuel yielded at 84.54% under the same weight of raw materials. Fuel viscosity values of all POB blends, all WOB blends and pure POB fuel provided under the ASTM standard value (< 8.0 cSt.) for low speed engine whereas, pure WOB fuel provided the lower viscosity value than ASTM standard value. All tested fuels including POB and WOB blends, pure POB and pure WOB fuel provided the specific gravity and cetane number values under ASTM standard values of less than 0.920 and of more than 45, respectively.

In addition, the results of exhaust emission from the engine showed the effective decrease of CO₂, CO and hydrocarbon in the different conditions of consuming all POB blend and WOB blend fuel which

compare with the result from using diesel fuel. However, high NO_x exhausted from the engine using all tested fuel compared with using diesel fuel.

Keywords : biodiesel, crude palm oil, wasted cooking oil, fuel property and exhaust emission

1. บทนำ

เนื่องจากสถานการณ์น้ำมันในปัจจุบันนี้ ซึ่งปาล์ม น้ำมันในประเทศที่มีราคาสูงกว่าคู่แข่งต่างประเทศอย่าง มาเลเซียมีแนวโน้มของราคาที่สูงขึ้นเนื่องจากภาวะสต็อกน้ำมัน ปาล์มดิบในประเทศมีมากเกินไป ในขณะที่น้ำมันทำอาหารที่ใช้ แล้วนั้น มีการทิ้งน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วลงสู่สาธารณะ หรือนำไปจำหน่ายด้วยการทอดซ้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของ ประชาชนและสภาพแวดล้อม เพื่อเป็นการส่งเสริมการแปรรูป น้ำมันปาล์มดิบ และ น้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว ที่มีอยู่ ภายในประเทศมาเป็นพลังงานทางเลือก รวมทั้งยังสามารถช่วย ประหยัดเงินตราต่างประเทศจากการนำเข้าน้ำมัน และยังเป็นการ พึ่งพาตนเองด้านพลังงานตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจ พอเพียง

ที่ผ่านมามีงานวิจัยหลายเรื่องแสดงให้เห็นว่าสามารถนำ น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วมาผลิตเป็น น้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการ Trans-esterification เพื่อ ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล [1 - 4] และยังพบว่า การใช้ไขมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมัน ปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วสามารถผสมร่วมกับ น้ำมันดีเซลได้ อีกทั้งยังช่วยลดการปล่อยมลพิษจากการสันดาป ภายในเครื่องยนต์ดีเซลได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับใช้น้ำมัน ดีเซล [5 - 6]

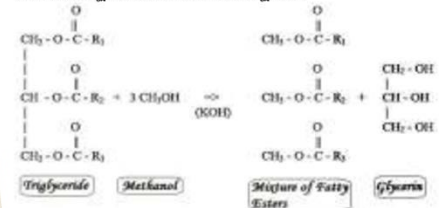
ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมัน ทำอาหารที่ใช้แล้วมาแปรรูปเป็นน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งเป็น พลังงานทางเลือกอีกหนทางเลือกสำหรับผู้บริโภคเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ หรือเครื่องยนต์ที่ใช้ทาง การเกษตร และนำน้ำมันที่แปรรูปแล้วไปวัดคุณสมบัติ รวมถึง วัดการปล่อยมลพิษหลังการสันดาปภายในเครื่องยนต์ เพื่อ แสดงให้เห็นถึงประโยชน์จากการแปรรูปน้ำมันปาล์มดิบและ น้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว นอกจากนี้ยังเป็นการส่งเสริมให้แต่ละ ชุมชนในภูมิภาคต่าง ๆ นำน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ ใช้แล้วที่มีอยู่ มาแปรรูปเป็นน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับใช้กับ เครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ หรือเครื่องยนต์ทางการเกษตร

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบและ น้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว (การทำน้ำมันไบโอดีเซล)

การ Trans-esterification คือ ปฏิกิริยาผลิตเอสเทอร์ (Ester) จากสารตั้งต้นคือ แอลกอฮอล์และไตรกลีเซอไรด์ (Tri-glyceride) หรือไดกลีเซอไรด์ (Di-glyceride) หรือโมโนกลีเซอ

ไรด์ (Mono-glyceride) ซึ่งปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งระบบ ที่มีสารเร่งปฏิกิริยาและไม่มีสารเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 1 รูปแสดงปฏิกิริยา Trans-esterification ในการ ปรับปรุงคุณภาพของสารตั้งต้น หรือการทำน้ำมันไบโอดีเซล จากรูปที่ 1 ไตรกลีเซอไรด์ (Tri-glyceride) คือ กรด ไขมันอิสระสามโมเลกุลรวมตัวกัน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่จะใช้ทำ ปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (Methanol) โดยมีตัวเร่ง (Potassium Hydroxide) เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา และผลผลิตที่ได้ หลังจากการทำปฏิกิริยาคือ เอสเทอร์ (Ester) หรือน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรอล (Glycerol)

2.2 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

2.2.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

อัตราส่วนของความหนาแน่นของสารหนึ่งต่อความ หนาแน่นของสารมาตรฐานที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน เป็นปริมาณที่ไร้มิติ (Dimensionless) หรือระบุอุณหภูมิที่ ทดสอบ สำหรับของเหลวสารมาตรฐานคือน้ำ สารที่มีความ ถ่วงจำเพาะสูงกว่า 1 จะจมน้ำ สารที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า 1 ลอยน้ำได้ เป็นข้อกำหนดสมบัติของแก๊สและน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีและพลังงานที่ได้จากการ เผาไหม้ ความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล กำหนดในช่วง 0.86 - 0.90 ที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส ตามวิธีทดสอบ ASTM D1298

2.2.2 ความหนืดคิเนแมติก, ความหนืดเชิงจลศาสตร์ (Kinematic Viscosity)

ความต้านทานต่อการไหลของของเหลวที่วัดภายใต้แรง โน้มถ่วงที่อุณหภูมิมาตรฐาน เป็นอัตราส่วนของความหนืด ไดนามิกส์ (Dynamic Viscosity) ต่อความหนาแน่นของ ของเหลว หน่วยเป็นตารางเซนติเมตรต่อวินาที (cm²/s) หรือ สโตก (Stoke) มีผลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดจากหัวฉีด น้ำมันที่มีความหนืดคิเนแมติกสูง ฉีดเป็นฝอยไม่ดี ได้ละออง น้ำมันขนาดใหญ่ ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ น้ำมันที่มีความ หนืดคิเนแมติกต่ำเกินไป ละอองน้ำมันละเอียดมาก แต่ไม่พุ่งไป ไกลเท่าที่ควร มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลกำหนดความหนืดคิเน

แมตริกในช่วง 3.5 - 5.0 เซนติสโตก (Cst) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตามวิธีทดสอบ ASTM D445

2.2.3 การกลั่น (Distillation)

การวัดการกลั่นนั้น จะวัดภายใต้มาตรฐานของ American Society of Testing and Materials แต่จะเป็นมาตรฐานของการวัดการกลั่น ซึ่งก็คือ ASTM D86 ซึ่งเป็นการวัดอุณหภูมิของการกลั่นน้ำมันตัวอย่างที่ 50% ของปริมาณน้ำมันตัวอย่าง โดยใช้น้ำมันตัวอย่างในการทดสอบที่ 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่น้ำมันตัวอย่างเริ่มกลั่นตัว ในการทดสอบจะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบคือ อัตราการไหลของน้ำมันที่กลั่นออกมาได้ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 4 - 5 มิลลิลิตร/นาที

อุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันนั้น จะส่งผลต่างๆต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ การกลั่นเริ่มต้น (Initial Boiling Point, IBP) และจุดเดือด 10% (10% Evaporated) เป็นส่วนเบาเรียกว่า "Front End" ที่ระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำเพื่อช่วยให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่ายในเวลาเช้าซึ่งมีอากาศเย็น, การกลั่น 50% เป็นส่วนกลางเรียกว่า "Mid Fill" หรือ "Mid Range" เป็นส่วนที่ระเหยได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อให้เครื่องยนต์ร้อนขึ้น (Warm Up) ได้เร็ว มีการกระจายตัวของน้ำมันไปยังสูบต่างๆ ได้สม่ำเสมอช่วยให้แรงเครื่องได้เรียบ, การกลั่น 90% เป็นส่วนหนักเรียกว่า "Back End" เป็นส่วนที่ให้พลังงานกับเครื่องยนต์และการประหยัดเชื้อเพลิง ถ้าส่วนนี้มีอุณหภูมิสูงมากเกินไปน้ำมันจะระเหยไม่หมดและไหลผ่านแหวนลูกสูบลงไปทำให้น้ำมันเครื่องเจือจางลง (Crankcase Dilution) และเสื่อมคุณภาพเร็ว และการกลั่นสุดท้าย (Final Boiling Point, FBP) ส่วนนี้แสดงว่ามีส่วนหนักมากอยู่เล็กน้อย แต่ไหน ถ้าจุดเดือดสุดท้ายและจุดเดือด 90% แตกต่างกันเกิน 30°C อาจเกิดปัญหาด้านความสะอาดในท้องเผาไหม้และร่องแหวนลูกสูบได้

2.2.4 ดัชนีซีเทน (Cetane Index)

ข้อกำหนดสมบัติของน้ำมันดีเซลที่บ่งบอกคุณภาพการจุดติดไฟ (Ignition quality) หรือการหน่วงติดไฟ (Ignition delay) เมื่อฉีดน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้จนเกิดติดไฟได้เอง น้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูง มีองค์ประกอบพาราฟินไฮโดรคาร์บอนปริมาณสารแอมตีกต่ำ จุดติดไฟเร็ว เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่าย เครื่องยนต์เดินเรียบ ไอเสียไม่เกิดควันขาว ค่าความได้จกความถ่วงจำเพาะ API และจุดเดือดค่ากลาง (Mid-boiling point) ของน้ำมันตามวิธีมาตรฐาน ASTM D976 หรือ D4737 น้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่จำหน่ายในท้องตลาดต้องมีดัชนีซีเทนไม่ต่ำกว่า 47 มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลกำหนดดัชนีซีเทนไม่ต่ำกว่า 51

2.3 การปล่อยมลพิษจำเพาะ และครกซ์มีลพิษ

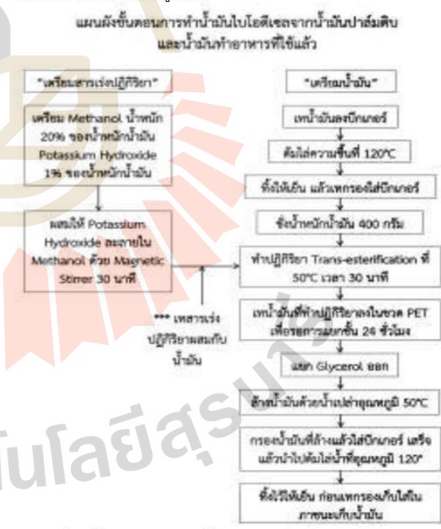
ในการทำงานของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในจะมีการปล่อยไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศออกมาจากเครื่องยนต์ ซึ่งมีส่วนประกอบที่ถือว่าเป็นมลพิษออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่ยังไม่เผาไหม้ และสารละออง (Particulate) ความเข้มข้นของแก๊สที่เป็นมลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์มักจะถูกวัดเป็นส่วนในล้านส่วน หรือร้อยละในปริมาตร แต่พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะพิจารณาเป็น 2 ลักษณะ คือ อัตราการไหลของมวลมลพิษต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมา เรียกว่า "การปล่อยมลพิษจำเพาะ" อีกลักษณะหนึ่งคืออัตราการไหลของมวลมลพิษต่อหน่วยอัตราไหลของเชื้อเพลิงที่เรียกว่า "ครกซ์มีลปล่อยมลพิษ"

3. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการดำเนินงานเป็น 3 ส่วน คือ การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในหัวข้อ 3.1 การวัดคุณสมบัติของน้ำมันในหัวข้อ 3.2 และการวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ในหัวข้อ 3.3

3.1 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

ศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยา Trans-esterification ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว และเปรียบเทียบปริมาณของน้ำมันทั้งสองประเภทหลังจากผ่านกระบวนการผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลแล้วด้วยเงื่อนไขการผลิตเดียวกัน ดังขั้นตอนในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยา Trans-esterification

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12
วันที่ 8 - 10 มิถุนายน พ.ศ. 2559 ณ โรงแรมวังจันทร์ จีแอนด์วี จ.พิษณุโลก

จากขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในรูปที่ 2 ในขั้นตอนการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลและ Glycerol นั้น เมื่อเกิดการแยกชั้นน้ำมันไบโอดีเซลที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า Glycerol จะลอยอยู่ด้านบนเหนือ Glycerol สามารถมองเห็นการแยกชั้นได้อย่างชัดเจนด้วยตาเปล่า ดังที่แสดงในรูปที่ 3 และขั้นตอนสุดท้ายหลังจากคั้นไอน้ำออกจากน้ำมันไบโอดีเซลแล้ว จะได้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว ดังที่แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 การแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลและ Glycerol โดยที่น้ำมันไบโอดีเซลจะลอยขึ้นบนเหนือ Glycerol (ขวามือ) น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (ซ้ายมือ) น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว



รูปที่ 4 น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (ขวามือ) น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว (ซ้ายมือ)

3.2 การวัดคุณสมบัติของน้ำมัน

ก่อนนำน้ำมันไปวัดคุณสมบัติ จะนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ไปผสมกับน้ำมันดีเซลโดยใช้ Magnetic Stirrer กวนผสมน้ำมันดีเซลกับน้ำมันไบโอดีเซลเป็นเวลา 30 นาที ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงสัดส่วนในการผสมน้ำมันประเภทต่างๆ (โดยผสมให้ได้น้ำมันแต่ละประเภทที่ปริมาณ 1,000 มิลลิลิตร)

ประเภทน้ำมัน	สัดส่วน (มิลลิลิตร)		
	Diesel	น้ำมันปาล์มดิบ	รวมเป็น
PB10	900.00	100.00	1,000.00
PB15	850.00	150.00	1,000.00
PB20	800.00	200.00	1,000.00
COB10	900.00	100.00	1,000.00
COB15	850.00	150.00	1,000.00
COB20	800.00	200.00	1,000.00

หมายเหตุ : POB คือ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ และ WOB คือ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว

หลังจากผสมน้ำมันที่สัดส่วนต่างๆแล้ว จะวัดคุณสมบัติต่างๆของน้ำมัน ได้แก่ ความหนืด, ความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น, อุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบ และค่าดัชนีซีเทนภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) โดยใช้เครื่องมือวัดคุณสมบัติชนิดต่างๆดังรูปที่ 5 - 7



รูปที่ 5 เครื่องมือ Viscosity Kinematic Capillary Tempering Bath High Temperature และการวัดความหนืดภายใต้มาตรฐาน ASTM D445



รูปที่ 6 การวัดค่าความถ่วงจำเพาะด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ภายใต้มาตรฐาน ASTM D1298



รูปที่ 7 เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure วัดอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D86

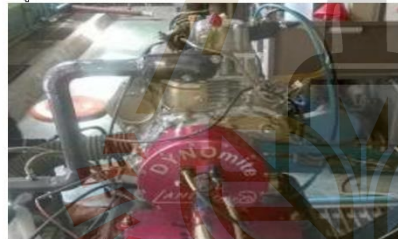
การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12 วันที่ 8 - 10 มิถุนายน พ.ศ. 2559 ณ โรงแรมวังจันทร์ จีแอนด์วี จ.พิษณุโลก

3.3 การวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์

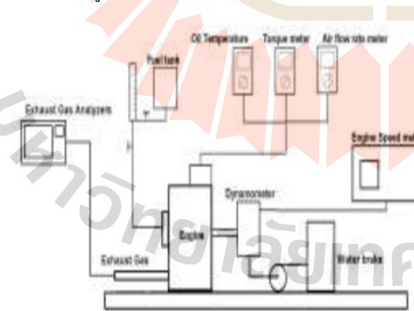
วัดการปล่อยมลพิษหลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์ ได้แก่ Nitrogen Oxide, Carbon Monoxide, Carbon Dioxide และ Unburned Hydrocarbon โดยการวัดการปล่อย Nitrogen Oxide และ Carbon Monoxide ใช้เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Testo รุ่น 350 ส่วน Carbon Dioxide และ Unburned Hydrocarbon ใช้เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Horiba รุ่น Mexa 584L โดยวัดการปล่อยมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซลที่มีข้อมูลจำเพาะ ดังที่แสดงในรูปที่ 8 - 9 ซึ่งวัดการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบคงที่ ที่ 2,000 รอบ/นาที และมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ 4 แบบ

Specification Data	
Model 170F	<ul style="list-style-type: none"> Single Cylinder Diesel Engine Vertical, 4-Stroke air-cooled Direct Injection Combustion Overhead valve
Bore x Stroke (mm.)	70 x 55
Displacement (cc.)	211
Engine Speed (rpm)	3000 3400
Maximum Output (KW)	2.8(3.8) 3.1(4.2)
Mean speed of piston (m/s)	5.5 6.6
Mean effective pressure (kPa)	443.2 430.9
Cooled type	Force air cooled system

รูปที่ 8 รายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 9 เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 10 การติดตั้งอุปกรณ์วัดการปล่อยมลพิษ

จากรูปที่ 10 จะแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆสำหรับทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ได้แก่ โคนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) แบบใช้น้ำเป็นภาระกระทำต่อเครื่องยนต์ (Water Brake Absorbers) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิของน้ำมันเครื่อง (Oil Temperature meter) อุปกรณ์วัดแรงบิด (Torque meter) อุปกรณ์วัดความเร็วในการไหลของอากาศ (Air Flow Rate meter) รวมถึงอุปกรณ์วัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (Engine Speed meter) และการวัดการปล่อยมลพิษจะวัดที่ท่อไอเสียที่ต่อออกมาจากเครื่องยนต์ โดยใช้อุปกรณ์ในการวัดการปล่อยมลพิษ ดังที่แสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 (ขวามือ) เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Testo รุ่น 350 (ซ้ายมือ) เครื่องมือวัดมลพิษยี่ห้อ Horiba รุ่น Mexa-584L

4. ผลการทดลอง

ผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลองการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วด้วยปฏิกิริยา Trans esterification ในหัวข้อ 4.1 ผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลองการวัดค่าคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันในหัวข้อ 4.2 และการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์จากน้ำมันประเภทต่างๆในหัวข้อ 4.3

4.1 ผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลองการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วด้วยปฏิกิริยา Trans-esterification

จากการทดลองทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยา Trans esterification นี้ จะใช้น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วที่เป็นสารตั้งต้น 400 กรัม มาทำปฏิกิริยา Trans-esterification โดยกำหนดเงื่อนไขคือ กำหนดให้ใช้ Methanol หนัก 20% ของน้หนกน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว ซึ่ง Methanol จะมีน้ำหนัก 80 กรัม และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Potassium Hydroxide หนัก 1% ของน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว ซึ่งก็คือ 4 กรัม มาทำปฏิกิริยา Trans esterification ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการวัดผล คือ นำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วซึ่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาค่าธรรมเนียมของการเกิดน้ำมันไบโ

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12 วันที่ 8 - 10 มิถุนายน พ.ศ. 2559 ณ โรงแรมวังจันทร์ จ.พิจิตร

ดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว จากผลการด้านล่างนี้ คือ

ร้อยละของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซล (%) = [น้ำหนักของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว (กรัม) × 100] / น้ำหนักของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว (กรัม)

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกิริยา Trans esterification

การวัดค่าต่างๆ	การทดลอง		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มดิบ (กรัม)	400.23	400.06	400.12
Methanol (กรัม)	80.20	80.01	80.18
Potassium Hydroxide (กรัม)	4.02	4.08	4.11
อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (°C)	52.00	51.00	51.00
เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาฬิกา)	30.00	30.00	30.00
ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (กรัม)	340.90	332.64	341.26
ปริมาณไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (มิลลิลิตร)	400.12	390.42	400.54
ปริมาณกลีเซอริน (กรัม)	49.10	57.44	48.62
ปริมาณที่สูญเสีย (กรัม)	10.23	9.98	10.24
ร้อยละ ของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซล (%)	85.18	83.15	85.29
ค่าเฉลี่ยร้อยละ ของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซล (%)	84.54		

ตารางที่ 3 ตารางบันทึกผลการทำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วด้วยปฏิกิริยา Trans esterification

การวัดค่าต่างๆ	การทดลอง		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันที่ใช้แล้ว (กรัม)	400.64	400.67	400.56
Methanol (กรัม)	80.45	80.39	80.23
Potassium Hydroxide (กรัม)	4.09	4.06	4.02
อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (°C)	52.00	49.00	51.00
เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาฬิกา)	30.00	30.00	30.00
ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้แล้ว (กรัม)	375.06	369.48	372.46
ปริมาณไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้แล้ว (มิลลิลิตร)	439.54	433.00	436.49
ปริมาณกลีเซอริน (กรัม)	62.15	63.29	62.44
ปริมาณที่สูญเสีย (กรัม)	25.58	31.19	28.10
ร้อยละ ของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซล (%)	93.62	92.22	92.98
ค่าเฉลี่ยร้อยละ ของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซล (%)	92.94		

ผลที่วัดได้จากการทดลอง 3 ครั้งนั้น ผลสุดท้ายที่ได้จะแสดงออกมาเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วมีค่าเท่ากับ 84.54% และ 92.94% ตามลำดับ

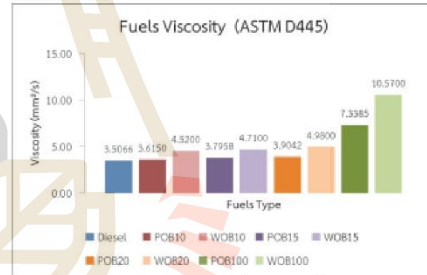
4.2 ผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลองการวัดค่าคุณสมบัติต่างๆของน้ำมัน

การวัดค่าคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันจะวัดคุณสมบัติภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) ซึ่งผลที่ได้จะแสดงดังในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางบันทึกผลการทดสอบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันผสมประเภทต่างๆ

ประเภท	ความหนืด (mm ² /s)	ความถ่วงจำเพาะ ที่ 15.6°C (ASTM D1298)	ความหนาแน่น (kg/m ³) (ASTM D1298)	การกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างเชื้อเพลิง (°C) (ASTM D86)	ค่าดัชนีซีเทน (ASTM D976)
	Diesel	3.5066	0.825	824.23	316.00
PB10	3.6150	0.830	829.23	324.00	62.07
PB15	3.7958	0.835	834.22	328.00	60.53
PB20	3.9042	0.835	834.22	330.00	60.64
PB100	7.3385	0.870	869.19	356.00	50.08
COB10	4.5200	0.830	829.23	328.00	62.33
COB15	4.7100	0.835	834.22	334.00	60.84
COB20	4.9800	0.836	836.22	336.00	60.23
COB100	10.5700	0.875	874.19	382.00	47.84

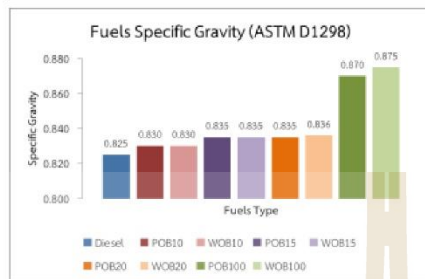
คุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบมีค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 3.09, 8.25, 11.34 และ 109.28 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วมีความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 28.90, 34.32, 42.02 และ 201.43 ตามลำดับ ซึ่งความหนืดนั้นจะมีผลต่อการกระจายตัวเป็นละอองฝอยของน้ำมันเมื่อถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความหนืดที่น้อยจะส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของน้ำมันได้ดี ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น [7 - 8]



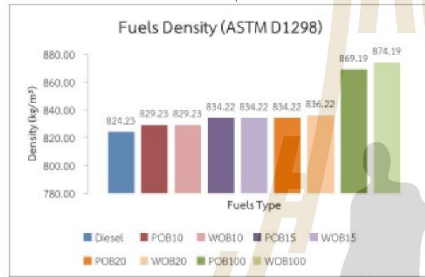
รูปที่ 12 รูปแสดงค่าความหนืดที่วัดได้จากน้ำมันชนิดต่างๆ

คุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบมีค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 0.61, 1.21, 1.21 และ 5.45 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วมีความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 0.61, 1.21, 1.33 และ 6.06 ตามลำดับ ซึ่งถ้าความถ่วงจำเพาะมากขึ้นจะทำให้ค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำมันลดลงไป รวมไปถึงทำให้ดัชนีซีเทนลดลง ทำให้การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และถ้าความหนาแน่นของน้ำมันสูง อัตราการไหลโดยมวลของน้ำมันก็จะสูงขึ้น ส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่มากขึ้นตามไปด้วย [7]

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12 วันที่ 8 - 10 มิถุนายน พ.ศ. 2559 ณ โรงแรมวังจันทร์ จิวเวอร์รี่ จ.พิษณุโลก

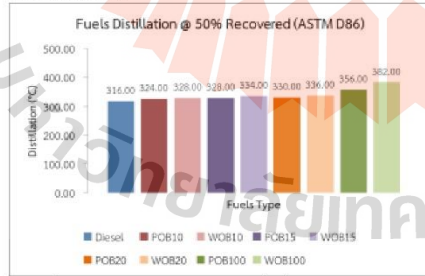


รูปที่ 13 รูปแสดงค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้จากน้ำมันชนิดต่างๆ



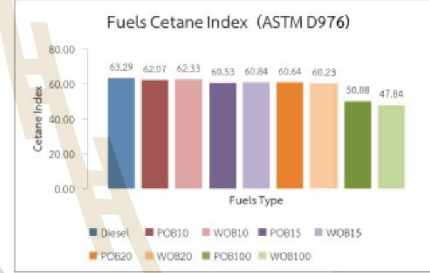
รูปที่ 14 รูปแสดงค่าความหนาแน่นที่วัดได้จากน้ำมันชนิดต่างๆ

อุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันที่ใช้กลั่นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบมีอุณหภูมิการกลั่นมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 2.53, 3.80, 4.43 และ 12.66 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วมีอุณหภูมิการกลั่นมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 3.80, 5.70, 6.33 และ 20.89 ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันนั้น จะส่งผลต่างต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์คือ การกลั่น 50% เป็นส่วนที่ระเหยได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อให้เครื่องยนต์ร้อนขึ้นได้เร็ว มีการกระจายตัวของน้ำมันไปยังสูบต่างๆ ได้สม่ำเสมอจนช่วยให้แรงเครื่องได้เรียบ



รูปที่ 15 รูปแสดงค่าอุณหภูมิการกลั่นที่ 50% ของตัวอย่างน้ำมันที่วัดได้จากน้ำมันชนิดต่างๆ

ค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบมีดัชนีซีเทนน้อยกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 1.93, 4.36, 4.19 และ 20.87 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วมีดัชนีซีเทนน้อยกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 1.52, 3.87, 4.83 และ 24.41 ตามลำดับ โดยที่ค่าดัชนีซีเทนจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง ซึ่งหมายถึงคุณภาพการจุดติดไฟของน้ำมันนับตั้งแต่ที่น้ำมันเริ่มถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จนกระทั่งเกิดเปลวไฟขึ้น ช่วงระยะเวลานี้จะเรียกว่า “ความล่าช้าในการจุดติดไฟ” (Ignition Delay) น้ำมันที่ทำให้เกิดช่วงระยะเวลานี้สั้นจะมีค่าดัชนีซีเทนที่สูง ทำให้สามารถจุดติดไฟได้ง่าย, เครื่องยนต์สตาร์ทติดได้ง่ายในขณะที่มีอุณหภูมิห้องหรืออยู่ในช่วงฤดูหนาว, เครื่องยนต์ร้อนได้เร็วขึ้นโดยไม่เกิดควันขาว แต่ในขณะเดียวกันถ้าดัชนีซีเทนสูงเกินไปก็ส่งผลให้เครื่องยนต์ไม่มีกำลัง และค่าดัชนีซีเทนที่สูงจะส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง [8]

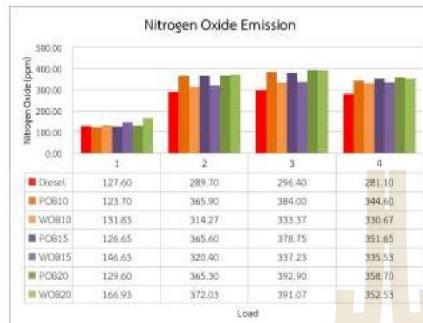


รูปที่ 16 รูปแสดงค่าดัชนีซีเทนที่คำนวณได้จากน้ำมันชนิดต่างๆ จากผลการทดลองในตารางที่ 4 และในรูปที่ 12 – 16 พบว่า คุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันทุกตัวอย่างมีค่าไม่เกินมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรที่กำหนดไว้ (ไม่เกิน 8 cSt) ยกเว้นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว 100% (WOB 100) ที่เกินมาตรฐานที่กำหนด (10.570 cSt) ส่วนคุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะและค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันทุกตัวอย่างมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงานสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรที่กำหนดไว้คือ ไม่เกิน 0.920 และมากกว่า 45 ตามลำดับ [9]

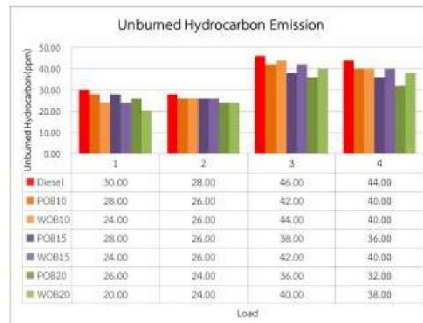
4.3 การปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์จากน้ำมันประเภทต่างๆ

ในหัวข้อนี้เป็นผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลองจากการวัดมลพิษที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ หลังจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์ โดยในการวัดการปล่อยมลพิษนั้น เครื่องยนต์มีความเร็วรอบคงที่ ที่ 2,000 รอบ/นาที และมีภาระกระทำกับเครื่องยนต์ในหน่วยของแรงบิด 4 แบบ ได้แก่ 0 5 6 และ 8 นิวตัน เมตร (N.m) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 17 - 20

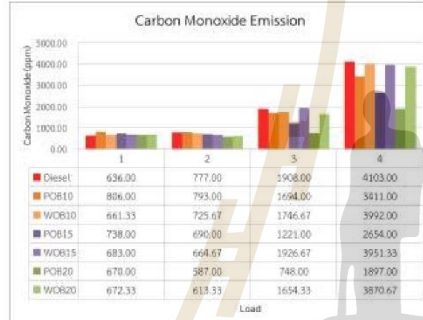
การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12
วันที่ 8 - 10 มิถุนายน พ.ศ. 2559 ณ โรงแรมวังจันทร์ จีแอดเวจ จ.พิษณุโลก



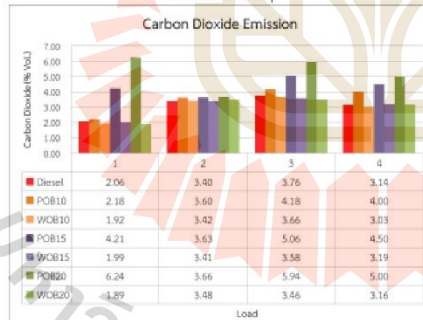
รูปที่ 17 รูปแสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Nitrogen Oxide ที่ปล่อยหลังจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จากน้ำมันชนิดต่างๆ



รูปที่ 20 รูปแสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Unburned Hydrocarbon ที่ปล่อยหลังจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จากน้ำมันชนิดต่างๆ



รูปที่ 18 รูปแสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Carbon Monoxide ที่ปล่อยหลังจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จากน้ำมันชนิดต่างๆ



รูปที่ 19 รูปแสดงการเปรียบเทียบปริมาณ Carbon Dioxide ที่ปล่อยหลังจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จากน้ำมันชนิดต่างๆ

จากการวัดการปล่อยมลพิษดังกล่าวที่แสดงในรูปที่ 17 – 20 พบว่า การปล่อยมลพิษเมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง ปริมาณของ Carbon Monoxide, Carbon Dioxide และ Unburned Hydrocarbon จะถูกปล่อยออกมาในปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ยกเว้น Nitrogen Oxide ที่ปล่อยออกมามากกว่าเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากดัชนีซีเทนของน้ำมันไบโอดีเซลน้อยกว่าน้ำมันดีเซล และเปรียบเทียบการปล่อยมลพิษของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว พบว่า ในภาพรวมของการปล่อยมลพิษนั้น น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบจะมีการปล่อยมลพิษน้อยกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว

5. สรุปผลการทดลอง

จากการวิจัยนี้ ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว และการวัดคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว รวมถึงวัดมลพิษจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเทียบกับน้ำมันดีเซล สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ด้านปริมาณการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

ในเงื่อนไขการผลิตเดียวกัน น้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วสามารถผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลได้มากกว่าน้ำมันปาล์มดิบคือ ได้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบคิดเป็นร้อยละ 84.54 ของการเกิดน้ำมันไบโอดีเซล ในขณะที่น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วคิดเป็นร้อยละ 92.94

5.2 ด้านคุณสมบัติ

น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วแต่ก็ยังคงต่ำกว่า

คุณสมบัติของน้ำมันดีเซล เรียงลำดับ B10, B15, B20 และ B100 คือ

- คุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบมีค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 3.09, 8.25, 11.34 และ 109.28 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วมีความหนืดมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 28.90, 34.32, 42.02 และ 201.43 ตามลำดับ
- คุณสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบมีค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 0.61, 1.21, 1.21 และ 5.45 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วมีความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 0.61, 1.21, 1.33 และ 6.06 ตามลำดับ
- อุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 ของตัวอย่างน้ำมันที่ใช้กลั่นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบมีอุณหภูมิการกลั่นมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 2.53, 3.80, 4.43 และ 12.66 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วมีอุณหภูมิการกลั่นมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 3.80, 5.70, 6.33 และ 20.89 ตามลำดับ
- ค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบมีดัชนีซีเทนน้อยกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 1.93, 4.36, 4.19 และ 20.87 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วดัชนีซีเทนน้อยกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 1.52, 3.87, 4.83 และ 24.41 ตามลำดับ
- คุณสมบัติด้านความหนืด, ความถ่วงจำเพาะ และค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันทุกตัวอย่างไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดจากประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ยกเว้นความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้ว 100% (WOB 100)

5.3 ในด้านการจัดการปล่อยมลพิษ

เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันทำอาหารที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่า Carbon Monoxide, Carbon Dioxide และ Unburned Hydrocarbon จะถูกปล่อยออกมาในปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ยกเว้น Nitrogen Oxide ที่ถูกปล่อยออกมา มากกว่าเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากดัชนีซีเทนของน้ำมันไบโอดีเซลน้อยกว่าน้ำมันดีเซล

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.เอกรงค์ สุขจิต และ ดร.สุพรรณิ จันทร์ภิรมย์ รวมถึงเจ้าหน้าที่อาคารเครื่องมือ และ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2549). *การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.doa.go.th/palm/pdf/performance1/research/crude%20palm%20oil.pdf>, เข้า ๓ ตุลาคม ๒๕๕๙
- [2] Alamu, O. J., Waheed, M. A., & Jekayinfa, S. O. (2007, September). Biodiesel production from Nigerian palm kernel oil: effect of KOH concentration on yield. *Energy for Sustainable Development*, Vol. 11, No. 3.
- [3] Neumann, K., Werth, K., Martín, A., & Górak, A. (2015). Biodiesel production from waste cooking oils through esterification : Catalyst screening, chemical equilibrium and reaction kinetics. *Chemical Engineering Research and Design*. Vol. 107, pp. 52 - 62.
- [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.
- [5] Mandolesi de Araújo, C. D., de Andrade, C. C., de Souza e Silva, E., & Dupas, F. A. (2013). Biodiesel production from used cooking oil : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 27, pp. 445 - 452.
- [6] 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.
- [7] การุญ พิงสุวรรณรักษ์. (2556). *รายงานการวิจัย การศึกษาผลของการเติมสารเร่งในน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://205.158.6.11:8080/sutir/bitstream/123456789/5405/2/Fulltext.pdf>, เข้าดูเมื่อวันที่ 20/04/2559
- [8] การุญ พิงสุวรรณรักษ์. (2554). ผลกระทบของการเติมสารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่อสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล.

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12
วันที่ 8 - 10 มิถุนายน พ.ศ. 2559 ณ โรงแรมวังจันทร์ จีแอร์วิว จ.พิษณุโลก

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7.
หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต.

[9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2549). *ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดคุณลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www4.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=898&Itemid=123&lang=th, เข้าดูเมื่อวันที่ 02/03/2559*



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

พลรวี วรรณริโก เกิดเมื่อวันที่ 8 เดือนมกราคม พ.ศ. 2532 ณ อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี ปัจจุบันอาศัยอยู่ ณ บ้านเลขที่ 17 หมู่ 20 ถนนเดชอุดม-บุญชริก ตำบลเมืองเดช อำเภอเดชอุดมจังหวัดอุบลราชธานี รหัสไปรษณีย์ 34160 ปีการศึกษา 2541 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนบ้านหนองแสง อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี ปีการศึกษา 2544 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนบ้านหนองแสง อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี ปีการศึกษา 2547 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนเดชอุดม อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี ปีการศึกษา 2550 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเดชอุดม อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี และปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต) หลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ จากสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา และได้มีโอกาสเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2557

