



การผลิตและใช้ส่วนกลั่นกรดไขมันที่ผ่านการเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน
โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นส่วนผสมดีเซล/ดีโซฮอล์
Production and Use of Partially Non-Catalyzed Esterified
Palm Fatty Acid Distillate as Diesel/Diesohol Extenders

ศุภวุฒิ เปี่ยมเจริญสุข
Suppawoot Piamcharoensuk

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Prince of Songkla University

ปี 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การผลิตและการใช้ส่วนกลั่นกรดไขมันที่ผ่านการเอสเทอร์ไฟนบางส่วน
 โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นส่วนผสมดีเซล/ดีโซฮอล์
 ผู้เขียน นายศุภวุฒิ เปี่ยมเจริญสุข
 สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ หลีวีจิตร) ประธานกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประทาน ศรีชัย)
 กรรมการ (ดร.กิตตินันท์ มลิวรรณ)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	
..... (ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา) กรรมการ (ดร.สมชาย แซ่อึ้ง)
 กรรมการ (ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา)
 กรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ หลีวีจิตร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วน
 หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกกิง วงศ์ศิริโชติ)
 รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษา และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มี
ส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ หลีวิจิตร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ

(ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ

(นายศุภวุฒิ เปี่ยมเจริญสุข)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ

(นายศุภวุฒิ เปี่ยมเจริญสุข)

นักศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ หลีวิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะ ในการทำวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ครูนิยม พรหมรัตน์ ครูสุมาตร พองเกิด และครูปฏิบัติการ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและเมคาทรอนิกส์ ทุกๆ ท่าน ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ขอขอบคุณ คุณพรพิมล แสนสุข เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ได้ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือในการทำวิจัย และขอขอบคุณ คุณธนากร เกียรติขวัญบุตร นักวิทยาศาสตร์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิง

ขอขอบคุณ นายศุภกิจ เอียดตรง นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ปีการศึกษา 2562 ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ นายปฐมพงศ์ ยอดราช และ นายพันฤทธิ ธรฤทธิ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ปีการศึกษา 2562 ที่ช่วยในการสร้างและทดสอบการทำงานของเครื่องผลิตส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไฟฟ้าบางส่วน นายมรรอาชีร์ สะแลแล และ นางสาวพันชานต์ เพ็งจันทร์ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ปีการศึกษา 2563 ที่ช่วยในการผลิตส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไฟฟ้าบางส่วนจากกระบวนการบิวทานอไลซิสและเก็บข้อมูลการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวของเชื้อเพลิงผสม นายพัชรพล มะโนภักดิ์ และ นายมงคล คงฉนิชกิจเจริญ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ปีการศึกษา 2563 ที่ช่วยในการเก็บข้อมูลการทดสอบใช้งานเชิงเปรียบเทียบเบื้องต้นบนแท่นทดสอบในเครื่องยนต์จริง

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและสถานที่วิจัย ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือในการทำวิจัย ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่กรุณามอบทุนการศึกษาประเภททุนบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ ระดับปริญญาโท ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

นายศุภวุฒิ เปี่ยมเจริญสุข

คำอุทิศ

ผู้เขียนขออุทิศ คุณค่า ประโยชน์ และความดี ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้แก่ บิดาของผู้เขียน คือ คุณพ่อชุมพล เปี่ยมเจริญสุข มารดาของผู้เขียน คือ คุณแม่จันทนา เปี่ยมเจริญสุข และภรรยาของผู้เขียน คือ นางสาวเมวิกา นกเพชร และขอขอบคุณเครือญาติทุกคนที่ไม่ได้กล่าวมา ณ ที่นี้

ชื่อวิทยานิพนธ์	การผลิตและใช้ส่วนกลั่นกรดไขมันที่ผ่านการเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นส่วนผสมดีเซล/ดีโซฮอลล์
ผู้เขียน	นายศุภวุฒิ เปี่ยมเจริญสุข
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวของส่วนกลั่นกรดไขมัน (Palm Fatty Acid Distillate : PFAD) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ราคาถูกของอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มบริโภคด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ไฟน์บางส่วนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟน์บางส่วนที่มีปริมาณเอสเทอร์ในระดับสูง (≥ 50 wt.%) เพื่อใช้เป็นส่วนผสมดีเซล/ดีโซฮอลล์ โดยงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ

ส่วนที่ 1 การสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน โดยเครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟน์บางส่วนประกอบด้วย 4 หน่วย คือ 1) หน่วยเครื่องปฏิกรณ์ 2) หน่วยให้ความร้อน 3) หน่วยหล่อเย็น และ 4) หน่วยเก็บข้อมูล ในส่วนของการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ไฟน์เคชัน (แอลกอฮอล์ไอซิส) ที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ เอทานอล/บิวทานอล ที่ 1:0.6, 1:1 และ 1:2 ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที อุณหภูมิ 275°C และความดัน 70 bar พบว่า ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน (Partially Ethanolized Palm Fatty Acid Distillate : PEPFAD) มีปริมาณเอทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) เท่ากับ 53.2 wt%, 71.8 wt% และ 88.8 wt% ตามลำดับ มีกรดไขมันอิสระเหลือ เท่ากับ 44.5 wt%, 26.9 wt% และ 10.0 wt% ตามลำดับ และส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน (Partially Butanolized Palm Fatty Acid Distillate : PBPfAD) มีปริมาณบิวทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) เท่ากับ 62.7 wt%, 78.4 wt% และ 93.2 wt% ตามลำดับ มีกรดไขมันอิสระเหลือ เท่ากับ 35.5 wt%, 20.4 wt% และ 6.0 wt% ตามลำดับ

ส่วนที่ 2 ผลศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวร่วมกับคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงผสมและการทดสอบใช้ในเครื่องยนต์เบื้องต้น พบว่า PEPFAD ที่สัดส่วน 1:0.6, 1:1 และ 1:2 สามารถเป็นส่วนผสมในเชื้อเพลิงผสมสองส่วน CHSD-PEPFAD ในสัดส่วนไม่เกิน 30 wt.%, 40 wt.% และ 90 wt.% ตามลำดับ และเป็นส่วนผสมในเชื้อเพลิงผสมสามส่วน CHSD-PEPFAD-AhE/AhNB ในสัดส่วนไม่เกิน 50 wt.%, 80 wt.% และ 80 wt.% ตามลำดับ สำหรับ PBPfAD ที่สัดส่วน 1:0.6, 1:1 และ 1:2 สามารถเป็นส่วนผสมในเชื้อเพลิงผสมสองส่วน CHSD-PBPfAD ในสัดส่วนไม่เกิน 40 wt.%, 50 wt.% และ 90 wt.% ตามลำดับ และเป็นส่วนผสม

ในเชื้อเพลิงผสมสามส่วน CHSD-PBPFAD-AhE/AhnB ในสัดส่วน 70 wt.%, 80 wt.% และ 80 wt.% ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำ ตามมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทย พบว่ามีตัวอย่างเชื้อเพลิงผสมที่ผ่านการทดสอบเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงเลือกตัวอย่างที่มีความน่าสนใจด้วยการใช้ PEPFAD และ PBPFAD ที่สัดส่วน 1:1 ประกอบด้วย PEPFAD/PBPFAD30, PEPFAD/PBPFAD50AhE10 และ PEPFAD/PBPFAD50AhnB20 (ตัวเลขที่ตามหลัง PEPFAD/PBPFAD, AhE และ AhnB คือสัดส่วนการผสมกับดีเซลในหน่วย wt.%) เป็นตัวอย่างเชื้อเพลิงสำหรับทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น RT100DI PLUS ขนาด 10 แรงม้า ภายใต้เงื่อนไขทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm โดยเปลี่ยนแปลงภาระในช่วง 1.28-6.40 kW พบว่า PEPFAD/PBPFAD30 มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคใกล้เคียงกับดีเซล ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงกว่าดีเซลเล็กน้อย และค่าอุณหภูมิไอเสียต่ำกว่าดีเซลเล็กน้อย PEPFAD/PBPFAD50AhE10 มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคสูงกว่าดีเซล ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงกว่าดีเซลเล็กน้อย และค่าอุณหภูมิไอเสียสูงกว่าดีเซลเล็กน้อย และ PEPFAD/PBPFAD50AhnB20 มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคสูงกว่าดีเซล ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงกว่าดีเซลเล็กน้อย และค่าอุณหภูมิไอเสียต่ำกว่าดีเซลเล็กน้อย และตลอดการทดสอบใช้งานพบว่าสามารถใช้งานในเครื่องยนต์ได้ดีเทียบเท่ากับดีเซล

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลว PFAD ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน (PEPFAD/PBPFAD) สามารถเป็นส่วนผสมดีเซล/ดีโซฮอลล์ในสัดส่วนที่สูงขึ้นได้จริงเปรียบเทียบกับ PFAD เนื่องจาก PEPFAD/PBPFAD มีปริมาณเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) ที่มีสถานะเป็นของเหลวเพิ่มขึ้น และยังคงเหลือกรดไขมันอิสระที่ทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ระหว่างดีเซลและแอลกอฮอล์ ทำให้สามารถเป็นส่วนผสมในดีเซล/ดีโซฮอลล์ในสัดส่วนที่สูงขึ้น

คำสำคัญ : ส่วนกลั่นกรดไขพาล์ม, ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน, เชื้อเพลิงทดแทนดีเซล, ดีโซฮอลล์

Thesis Title **Production and Use of Partially Non-Catalyzed Esterified Palm Fatty Acid Distillate as Diesel/Diesohol Extenders**

Author **Mr.Suppawoot Piamcharoensuk**

Major Program **Mechanical Engineering**

Academic Year **2022**

ABSTRACT

This research is to study the improvement of liquid properties of palm fatty acid distillate (PFAD), a cheap by-product of the edible palm oil industry by partial esterification without catalytic. The product is partially esterified palm fatty acid distillate with a high ester content (≥ 50 wt.%) for use as a diesel blend/diesohol. This research consists of 2 parts, which

Part 1 : The construction of the batch reactor and production of partially esterified palm fatty acid distillate. The batch reactor consists of 4 units: 1) reactor unit, 2) heating unit, 3) cooling unit, and 4) storage unit. In the production of partially esterified palm fatty acid distillate from the esterification reaction (Alcoholysis) at the molar ratio at PFAD : ethanol/butanol are 1:0.6, 1:1 and 1:2, reaction time 60 min, temperature 275°C and pressure 70 bar. it was found that the partially ethanolized palm fatty acid distillate (PEPFAD) content of ethyl ester (biodiesel) were 53.2 wt%. 71.8 wt. % and 88.8 wt%. respectively, the remaining free fatty acid were 44.5 wt%. 26.9 wt% and 10.0 wt%, respectively; partially butanolized palm fatty acid distillate (PBPFAD) contains butyl esters (biodiesel) were 62.7 wt%. 78.4 wt%. and 93.2 wt%. Remaining free fatty acid were 35.5 wt%. 20.4 wt% and 6.0 wt. % respectively.

Part 2 : The study of long-term phase behavior combined with liquid and flow properties of the blended fuel and preliminary engine testing that PEPFAD at ratios 1:0.6, 1:1 and 1:2 can be blended in CHSD-PEPFAD not more than 30 wt.%, 40 wt.% and 90 wt.%, respectively, in CHSD-PEPFAD-AhE/AhnB not more than 50 wt.%, 80 wt.% and 80 wt.% respectively. For PBPFAD at ratios 1:0.6, 1:1 and 1:2 can be blended in CHSD-PBPFAD not more than 40 wt.%, 50 wt.% and 90 wt.% respectively, in CHSD-PBPFAD-AhE/AhnB

not more than 70 wt.%, 80 wt.% and 80 wt.% respectively. According to the high speed diesel and diesel standards for agricultural engines of Thailand. A large number of samples were pass the standards. For this research, we selected interesting samples using PEPFAD and PBPFAD at a ratio of 1:1 consisting of PEPFAD/PBPFAD30, PEPFAD/PBPFAD50AhE10 and PEPFAD/PBPFAD50AhnB20. (numbers after PEPFAD/PBPFAD, AhE and AhnB are the proportion of diesel blending in wt.%) as samples for testing in a single cylinder diesel engine. Kubota brand, model RT100DI PLUS, 10 horsepower, under test conditions at a constant speed of 2,200 rpm by variable load in the range of 1.28-6.40 kW Found that PEPFAD/PBPFAD30 has a specific brake fluid consumption similar to diesel, the brake thermal efficiency is slightly higher than diesel. And the exhaust temperature is slightly lower than diesel. PEPAD/PBPFAD50AhE10 has higher brake-specific fuel consumption than diesel, the brake thermal efficiency is slightly higher than diesel. and the exhaust temperature is slightly higher than diesel and PEPFAD/PBPFAD50AhnB20 has a higher brake-specific fuel consumption than diesel, the brake thermal efficiency is slightly higher than diesel. and the exhaust temperature is slightly lower than diesel and the initial testing it can be used in engines as good as diesel.

The results showed evidence of improvement in PFAD with esterification reaction to partially esterified palm fatty acid distillate (PEPFAD/PBPFAD) can improve its physical characteristics and internal composition to blend in higher proportion due to the PEPFAD/PBPFAD were higher ester (biodiesel) made the liquid state increasing and remained free fatty acids that act as emulsifier between diesel and alcohol.

Keywords : Palm Fatty Acid Distillate, Esterification Reaction, Diesel Alternative Fuel, Diesohol

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(11)
รายการตารางประกอบ	(14)
รายการภาพประกอบ	(15)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(23)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2 การตรวจเอกสาร	6
2.1 ปาล์มน้ำมันในประเทศไทย	6
2.2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	8
2.3 การผลิตส่วนผสมดีเซล	12
2.3.1 การนำน้ำมันพืชไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง	12
2.3.2 การเจือจางหรือการผสมตามสัดส่วน	12
2.3.3 เชื้อเพลิงอิมัลชัน	13
2.3.4 การปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน	13
2.4 การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันด้วยกระบวนการเคมี	13
2.5 ไบโอดีเซลสำหรับเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล	17
2.5.1 กระบวนการผลิตเอทานอล	17
2.5.2 กระบวนการผลิตบิวทานอล	19
2.6 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ด้วยการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล	20
3. วิธีการวิจัย	23
3.1 การสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟน์บางส่วน	23
3.2 การศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวร่วมกับคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหล	26
ที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงผสมและการทดสอบใช้ในเครื่องยนต์เบื้องต้น	
สำหรับเชื้อเพลิงผสมที่น่าสนใจ	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4 การสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน	29
4.1 แนวคิดการสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ	29
4.1.1 หน่วยเครื่องปฏิกรณ์	29
4.1.2 หน่วยให้ความร้อน	30
4.1.3 หน่วยหล่อเย็น	33
4.1.4 หน่วยเก็บข้อมูล	35
4.2 ผลการสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ	35
4.3 ทดสอบเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ	43
4.3.1 การทดสอบหน่วยเครื่องปฏิกรณ์	43
4.3.2 การทดสอบหน่วยให้ความร้อน	44
4.3.3 การทดสอบหน่วยหล่อเย็น	45
4.3.4 การทดสอบหน่วยเก็บข้อมูล	45
4.4 วัสดุและวิธีการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน	48
4.5 ผลและวิจารณ์ผลการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน	51
4.5.1 กระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน (PEPFAD)	51
4.5.2 กระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน (PBPFAD)	55
4.6 สรุปผล	59
5 การศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวร่วมกับคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงผสมและการทดสอบใช้ในเครื่องยนต์เบื้องต้น	61
5.1 วัสดุและวิธีการสำหรับการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาว	61
5.2 ผลการทดลองและวิจารณ์การศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาว	63
5.2.1 เชื้อเพลิงผสมส่วนกลั่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วนที่สัดส่วนโดยโมล 1:0.6	63
5.2.2 เชื้อเพลิงผสมส่วนกลั่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วนที่สัดส่วนโดยโมล 1:1	67
5.2.3 เชื้อเพลิงผสมส่วนกลั่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วนที่สัดส่วนโดยโมล 1:2	86
5.3 วัสดุและวิธีการสำหรับการทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำ	90
5.4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำ	92
5.4.1 จุดขุ่น/จุดไหลเท	92

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4.2 ความหนืดจลนศาสตร์	101
5.4.3 ค่าความหนาแน่น	111
5.4.4 ค่าความร้อน	111
5.4.5 ค่าซีเทน	112
5.5 วัสดุและวิธีการทดสอบใช้งานในเครื่องยนต์เบื้องต้นเปรียบเทียบกับดีเซล	112
5.6 ผลการทดสอบและวิจารณ์การทดสอบใช้งานในเครื่องยนต์เบื้องต้นเปรียบเทียบกับดีเซล	116
5.6.1 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก	117
5.6.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก	117
5.6.3 อุณหภูมิไอเสีย	118
5.7 สรุปผล	123
6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	125
6.1 บทสรุป	125
6.2 ข้อเสนอแนะ	127
บรรณานุกรม	129
ภาคผนวก	134
ภาคผนวก ก	135
ภาคผนวก ข	138
ภาคผนวก ค	140
ภาคผนวก ง	157
ภาคผนวก จ	174
ภาคผนวก ฉ	179
ภาคผนวก ช	181
ภาคผนวก ซ	183
ภาคผนวก ฌ	213
ประวัติผู้เขียน	218

รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
2.1 จุดเด่นและจุดด้อยของกระบวนการกลั่นด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมี	12
2.2 การศึกษาปัจจัยที่สำคัญในการผลิตเอสเทอร์ที่สภาวะอุณหภูมิสูงความดันสูง โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	16
2.3 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลกอฮอล์ เปรียบเทียบกับดีเซล	22
5.1 เชื้อเพลิงผสมของเหลวเฟสเดียวที่ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน (1:0.6)	66
5.2 เชื้อเพลิงผสมของเหลวเฟสเดียวที่ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน (1:1)	85
5.3 เชื้อเพลิงผสมของเหลวเฟสเดียวที่ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน (1:2)	89
5.4 คุณสมบัติเชื้อเพลิงเปรียบเทียบมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซล สำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทย	91
5.5 ตัวอย่างเชื้อเพลิงทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหล	91
5.6 คุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญของเชื้อเพลิงทดสอบ	110
5.7 ราคาต้นทุนเชื้อเพลิงทดสอบเปรียบเทียบกับดีเซล	114
5.8 รายละเอียดเครื่องยนต์ทดสอบเชื้อเพลิง	115
จ.1 ราคาเฉลี่ย ดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้า (B7) ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์ม และแอลกอฮอล์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 ถึง 2564	176
จ.2 การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบในกระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไฮพาล์ม เอสเทอร์ไพน์บางส่วน (PEPFAD/PBPFAD)	176
จ.3 การคำนวณต้นทุนค่าไฟฟ้าในกระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไฮพาล์ม เอสเทอร์ไพน์บางส่วน (PEPFAD/PBPFAD)	177
จ.4 ผลรวมการคำนวณต้นทุนรวมในกระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไฮพาล์ม เอสเทอร์ไพน์บางส่วน (PEPFAD/PBPFAD)	177
จ.5 ต้นทุนเชื้อเพลิงทดสอบที่ผสมส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน (PEPFAD)	178
จ.6 ต้นทุนเชื้อเพลิงทดสอบที่ผสมส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน (PBPFAD)	178

รายการภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1 สัตว์ส่วนการผลิตน้ำมันสำเร็จรูป ปี 2563	2
1.2 การใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ ระหว่าง ปี 2560 ถึง 2563	2
2.1 เนื้อที่ให้ผลและผลผลิตปาล์มน้ำมันในช่วงปี พ.ศ.2554-2564	7
2.2 สัตว์ส่วนผลผลิตปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคต่างๆ ของประเทศไทย	7
2.3 ทะลายปาล์มที่พร้อมสำหรับการผลิตน้ำมันปาล์ม	8
2.4 กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม	11
2.5 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	14
2.6 ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน	14
2.7 สูตรเคมีของเอทานอล	17
2.8 สูตรเคมีของบิวทานอล	19
3.1 ขั้นตอนวิธีการวิจัย	24
3.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและ การผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน	25
3.3 ขั้นตอนการการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวร่วมกับคุณสมบัติการเป็น ของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงผสมและการทดสอบใช้ใน เครื่องยนต์เบื้องต้นสำหรับเชื้อเพลิงผสมที่น่าสนใจ	28
4.1 แผนภาพไดอะแกรมของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับผลิต ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน	31
4.2 แผนภาพไดอะแกรมของหน่วยเครื่องปฏิกรณ์	32
4.3 แผนภาพไดอะแกรมของหน่วยให้ความร้อน	33
4.4 แผนภาพไดอะแกรมของหน่วยหล่อเย็น	34
4.5 แผนภาพไดอะแกรมของหน่วยเก็บข้อมูล	35
4.6 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟน์บางส่วนที่สร้างจริง	38
4.7 แบบเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ	39
4.8 แบบหน่วยเครื่องปฏิกรณ์	40
4.9 แบบหน่วยให้ความร้อน	41
4.10 แบบหน่วยหล่อเย็น	42

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 กราฟการทดสอบหน่วยเครื่องปฏิกรณ์	43
4.12 กราฟการทดสอบหน่วยให้ความร้อน	44
4.13 กราฟการทดสอบหน่วยหล่อเย็น	46
4.14 การบันทึกผลที่เกิดขึ้นจริงในช่วงการทดสอบ	47
4.15 ขั้นตอนวิธีการผลิตส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน	50
4.16 กราฟค่าอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง กระบวนการผลิต PEPFAD (1:0.6)	52
4.17 กราฟค่าอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง กระบวนการผลิต PEPFAD (1:1)	53
4.18 กราฟค่าอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง กระบวนการผลิต PEPFAD (1:2)	53
4.19 ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน (PEPFAD)	54
4.20 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จากการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันแบบกะ ที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ เอทานอล ที่ 1:0.6, 1:1 และ 1:2	55
4.21 กราฟค่าอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง กระบวนการผลิต PEPFAD (1:0.6)	56
4.22 กราฟค่าอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง กระบวนการผลิต PEPFAD (1:1)	57
4.23 กราฟค่าอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่าง กระบวนการผลิต PEPFAD (1:2)	57
4.24 ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน (PEPFAD)	58
4.25 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จากการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันแบบกะ ที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ บิวทานอล ที่ 1:0.6, 1:1 และ 1:2	59
5.1 ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วนทั้ง 12 เจ็อนไซ สำหรับการเตรียมเชื้อเพลิงผสม	62

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2 ลักษณะเฟสของส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ีไฟน์บางส่วน ที่สกัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6	64
5.3 แสดงลักษณะเฟสของส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ีไฟน์บางส่วน ที่สกัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ 1:1	68
5.4 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล	69
5.5 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล	70
5.6 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล	71
5.7 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล	72
5.8 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล	73
5.9 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล	74
5.10 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล	75
5.11 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล	76
5.12 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล	77
5.13 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล	78
5.14 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล	79
5.15 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล	80
5.16 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล	81
5.17 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล	82
5.18 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล	83

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.19 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไต้แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล	84
5.20 ลักษณะเฟสของส่วนกลั่นกรดไขมันพอลิเมอร์ไฮโดรฟอบิกบางส่วน ที่สกัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2	88
5.21 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-30) และ PBPFAD(10-30) ที่สกัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6	93
5.22 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-40)AhE10 และ PBPFAD(10-40)AhE10 ที่สกัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6	93
5.23 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-50)AhnB10 และ PBPFAD(10-50)AhnB10 ที่สกัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6	94
5.24 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-50)AhnB20 และ PBPFAD(10-50)AhnB20 สกัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6	94
5.25 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-40) และ PBPFAD(10-40) ที่สกัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1	96
5.26 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-90)AhE10 และ PBPFAD(10-90)AhE10 ที่สกัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1	96
5.27 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-70)AhnB10 และ PBPFAD(10-70)AhnB10 ที่สกัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1	97
5.28 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-70)AhnB20 และ PBPFAD(10-70)AhnB20 ที่สกัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1	97
5.29 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-90) และ PBPFAD(10-90) ที่สกัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2	99
5.30 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-90)AhE10 และ PBPFAD(10-90)AhE10 ที่สกัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2	99
5.31 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-90)AhnB10 และ PBPFAD(10-90)AhnB10 ที่สกัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2	100

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.32 จุดศูนย์กลางและจุดไหลเท PEPFAD(10-70)AhnB20 และ PBPFD(10-70)AhnB20 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2	100
5.33 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-30) และ PBPFD(10-30) ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6	102
5.34 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-40)Ahe10 และ PBPFD(10-40)Ahe10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6	102
5.35 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-50)AhnB10 และ PBPFD(10-50)AhnB10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6	103
5.36 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-50)AhnB20 และ PBPFD(10-50)AhnB20 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6	103
5.37 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-40) และ PBPFD(10-40) ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1	105
5.38 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-90)Ahe10 และ PBPFD(10-90)Ahe10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1	105
5.39 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-70)AhnB10 และ PBPFD(10-70)AhnB10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1	106
5.40 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-70)AhnB20 และ PBPFD(10-70)AhnB20 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1	106
5.41 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-90) และ PBPFD(10-90) ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2	107
5.42 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-90)Ahe10 และ PBPFD(10-90)Ahe10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2	107
5.43 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-90)AhnB10 และ PBPFD(10-90)AhnB10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2	108
5.44 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-70)AhnB20 และ PBPFD(10-70)AhnB20 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2	108
5.45 การเตรียมเชื้อเพลิงทดสอบ	114

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.46 ไดอะแกรมแทนทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นของเชื้อเพลิงทดสอบ	115
5.47 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเปรียบเทียบกับดีเซล	119
5.48 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเปรียบเทียบกับดีเซล	120
5.49 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกเปรียบเทียบกับดีเซล	121
5.50 อุณหภูมิไอเสียเปรียบเทียบกับดีเซล	122
ก.1 อุ่น PFAD ที่อุณหภูมิ 65-75°C	136
ก.2 เติมน้ำแล้วกวนที่อุณหภูมิ 100°C	136
ก.3 แยกน้ำออกจากผลิตภัณฑ์	137
ก.4 อุ่นที่ 120°C เป็นเวลา 30 min	137
ข.1 อุ่นที่ 120°C เป็นเวลา 30 min	139
ค.1 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล	141
ค.2 พฤติกรรมเฟสของส่วนผสม ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล	142
ค.3 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไอล์แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล	143
ค.4 พฤติกรรมเฟสของส่วนผสม ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไอล์แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล	144
ค.5 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล	145
ค.6 พฤติกรรมเฟสของส่วนผสม ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล	146
ค.7 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไอล์แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล	147
ค.8 พฤติกรรมเฟสของส่วนผสม ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไอล์แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล	148
ค.9 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล	149
ค.10 พฤติกรรมเฟสของส่วนผสม ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล	150
ค.11 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไอล์แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล	151

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.12 พฤติกรรมเพศของส่วนผสม ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไต่แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล	152
ค.13 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล	153
ค.14 พฤติกรรมเพศของส่วนผสม ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล	154
ค.15 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไต่แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล	155
ค.16 พฤติกรรมเพศของส่วนผสม ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไต่แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล	156
ง.1 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล	158
ง.2 พฤติกรรมเพศของส่วนผสม ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล	159
ง.3 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไต่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล	160
ง.4 พฤติกรรมเพศของส่วนผสม ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไต่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล	161
ง.5 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล	162
ง.6 พฤติกรรมเพศของส่วนผสม ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล	163
ง.7 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไต่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล	164
ง.8 พฤติกรรมเพศของส่วนผสม ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไต่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล	165
ง.9 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล	166
ง.10 พฤติกรรมเพศของส่วนผสม ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล	167
ง.11 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไต่แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล	168
ง.12 พฤติกรรมเพศของส่วนผสม ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไต่แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล	169
ง.13 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล	170

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง.14 พฤติกรรมเพศของส่วนผสม ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล	171
ง.15 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไต้แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล	172
ง.16 พฤติกรรมเพศของส่วนผสม ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไต้แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล	173

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

AED	ดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (agricultural engine diesel)
AhE	เอทานอลชนิดไม่มีน้ำ (anhydrous ethanol)
AhnB	บิวทานอลชนิดไม่มีน้ำ (anhydrous butanol)
ASTM	สมาคมการทดสอบและวัสดุแห่งอเมริกา (American Society for Testing and Materials)
BSFC	อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (brake specific fuel consumption)
BTE	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (brake thermal efficiency)
CHSD	ดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้า (commercial high speed diesel)
DG	ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride)
EGT	อุณหภูมิไอเสีย (exhaust gas temperature)
FFA	กรดไขมันอิสระ (free fatty acids)
HSD	ดีเซลหมุนเร็ว (high speed diesel)
MG	โมนอกลิเซอไรด์ (monoglyceride)
PBPFAD	Partially Butanolized Palm fatty acid distillate
PEPFAD	Partially Ethanolized Palm fatty acid distillate
PFAD	ส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์ม (palm fatty acid distillate)
TG	ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride)
TLC/FID	thin layer chromatography/flame ionization detector

คำย่อสูตรเชื้อเพลิง

PEPFAD(10-30)	เชื้อเพลิงผสม (10-30 wt.%)PEPFAD-CHSD
PBPFAD(10-30)	เชื้อเพลิงผสม (10-30 wt.%)PBPFAD-CHSD
PEPFAD(10-40)AhE10	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-40 wt.%)PEPFAD-10 wt.% AhE
PBPFAD(10-40)AhE10	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-40 wt.%)PBPFAD-10 wt.% AhE
PEPFAD(10-50)AhnB10	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-50 wt.%)PEPFAD-10 wt.% AhnB

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

คำย่อสูตรเชื้อเพลิง

PBPFAD(10-50)AhnB10	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-50 wt.%)PBPFAD-10 wt.% AhnB
PEPFAD(10-50)AhnB20	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-50 wt.%)PEPFAD-20 wt.% AhnB
PBPFAD(10-50)AhnB20	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-50 wt.%)PBPFAD-20 wt.% AhnB
PEPFAD(10-40)	เชื้อเพลิงผสม (10-40 wt.%)PEPFAD-CHSD
PBPFAD(10-40)	เชื้อเพลิงผสม (10-40 wt.%)PBPFAD-CHSD
PEPFAD(10-70)AhE10	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-70 wt.%)PEPFAD-10 wt.% AhE
PBPFAD(10-70)AhE10	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-70 wt.%)PBPFAD-10 wt.% AhE
PEPFAD(10-70)AhnB10	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-70 wt.%)PEPFAD-10 wt.% AhnB
PBPFAD(10-70)AhnB10	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-70 wt.%)PBPFAD-10 wt.% AhnB
PEPFAD(10-70)AhnB20	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-70 wt.%)PEPFAD-20 wt.% AhnB
PBPFAD(10-70)AhnB20	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-70 wt.%)PBPFAD-20 wt.% AhnB
PEPFAD(10-90)	เชื้อเพลิงผสม (10-90 wt.%)PEPFAD-CHSD
PBPFAD(10-90)	เชื้อเพลิงผสม (10-90 wt.%)PBPFAD-CHSD
PEPFAD(10-90)AhE10	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-90 wt.%)PEPFAD-10 wt.% AhE
PBPFAD(10-90)AhE10	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-90 wt.%)PBPFAD-10 wt.% AhE
PEPFAD(10-90)AhnB10	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-90 wt.%)PEPFAD-10 wt.% AhnB
PBPFAD(10-90)AhnB10	ดีโซฮอล์ CHSD-(10-90 wt.%)PBPFAD-10 wt.% AhnB
PEPFAD30	เชื้อเพลิงผสม 30wt.% PEPFAD-CHSD
PBPFAD30	เชื้อเพลิงผสม 30wt.% PBPFAD-CHSD
PEPFAD50AhE10	ดีโซฮอล์ CHSD-50 wt.% PEPFAD-10 wt.% AhE
PBPFAD50AhE10	ดีโซฮอล์ CHSD-50 wt.% PBPFAD-10 wt.% AhE
PEPFAD50AhnB20	ดีโซฮอล์ CHSD-50 wt.% PEPFAD-20 wt.% AhnB
PBPFAD50AhnB20	ดีโซฮอล์ CHSD-50 wt.% PBPFAD-20 wt.% AhnB

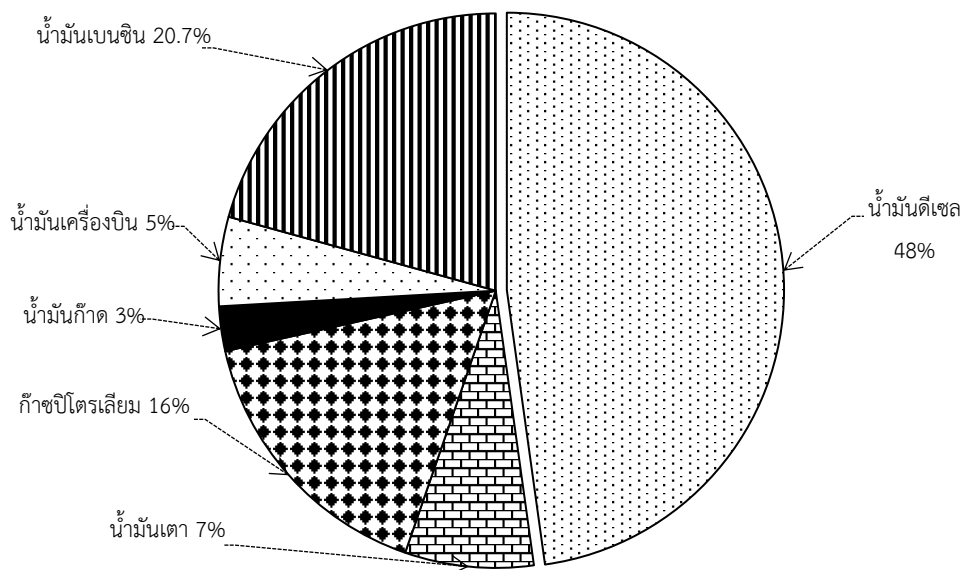
บทที่ 1

บทนำ

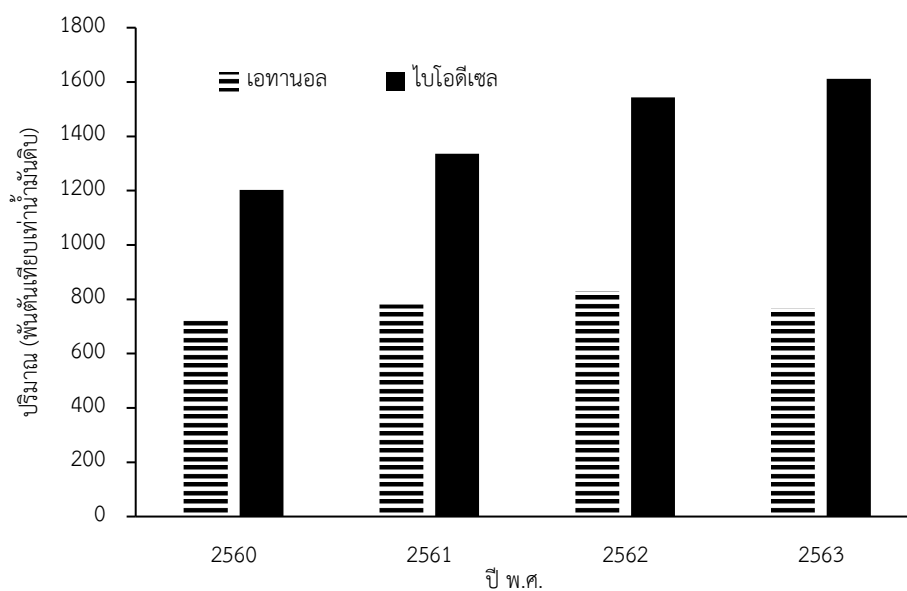
1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากรายงานของ International Energy Agency ภายใน ปี ค.ศ. 2030 ถูกคาดการณ์ว่าโลกจะมีความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นมากกว่า 50% โดยพลังงานที่ใช้เกือบทั้งหมดเป็นน้ำมัน ปิโตรเลียมและแก๊สธรรมชาติ ซึ่งแหล่งพลังงานเหล่านี้จะมีปริมาณแวนโวม์ที่ลดลงอย่างต่อเนื่องสวนทางกับความต้องการของโลกที่มีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ราคาปรับตัวเพิ่มขึ้นตามกลไกการตลาด นอกจากนี้การใช้น้ำมันปิโตรเลียมยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยมลพิษ ดังนั้นจึงมีการหาแหล่งพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล ไบโอดีเซล และเชื้อเพลิงทดแทน ซึ่งดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนการใช้มากที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น ดังแสดงในรูปที่ 1.1 จึงมีการวิจัยพัฒนาอย่างยาวนานเพื่อลดสัดส่วนการใช้ดีเซล เช่น เชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลและดีออกซิเจนไฮโดรคาร์บอนทั้งไม่ผสมและผสมกับดีเซล และเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-น้ำมันพืชหรือไบโอดีเซล-แอลกอฮอล์ (Leevijit et al., 2017; Leevijit et al., 2016; Vallinayagam et al., 2014; Roy et al., 2013; Leevijit and Prateepchaikul, 2011; Somnuk et al., 2013; Chongkong et al., 2009; Prateepchaikul et al., 2007; Zhang and Balasubramanian, 2014)

ประเทศไทยได้ตระหนักถึงวิกฤตปัญหาน้ำมันเป็นอย่างดี และได้วางแผนการใช้พลังงานทดแทนอย่างเต็มศักยภาพรวมถึงการส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือกที่สามารถผลิตภายในประเทศได้ เช่น น้ำมันเบนซินผสมกับเอทานอล และน้ำมันดีเซลผสมกับไบโอดีเซลในสัดส่วนต่างๆ ที่เหมาะสม เพื่อลดการใช้น้ำมันปิโตรเลียมโดยเริ่มผสมไบโอดีเซลในสัดส่วนร้อยละ 2 โดยปริมาตร (B2) ซึ่งต่อมาก็ได้พยายามที่จะเพิ่มสัดส่วนของการผสมไบโอดีเซลเรื่อยมาจนถึงปัจจุบันสามารถเพิ่มสัดส่วนการผสมน้ำมันไบโอดีเซลในสัดส่วนร้อยละ 7 โดยปริมาตร (B7) สำหรับเป็นน้ำมันที่ใช้โดยทั่วไปมีขายตามสถานีจ่ายน้ำมัน และเมื่อวันที่ 9 มิถุนายน พ.ศ.2563 ได้มีประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล โดยมีการเพิ่มน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B20 คือ น้ำมันหมุนเร็วที่ผสมไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันในสัดส่วนร้อยละ 20 โดยปริมาตร ให้สามารถจำหน่ายตามสถานีได้เหมือนน้ำมันอื่นทั่วไป ซึ่งเป็นสิ่งยืนยันการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทยอย่างเป็นรูปธรรม ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 สัดส่วนการผลิตน้ำมันสำเร็จรูป ปี 2563 (กระทรวงพลังงาน, 2563)



รูปที่ 1.2 การใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ ระหว่าง ปี 2560 ถึง 2563 (กระทรวงพลังงาน, 2563)

ในปัจจุบันนี้มีพืชหลายชนิดที่สามารถนำมาสกัดเป็นน้ำมันพืชเพื่อมาผลิตไบโอดีเซล เช่น มะพร้าว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง และ ปาล์มน้ำมันเป็นต้น โดยปาล์มน้ำมันนั้นถือว่าเป็นน้ำมันที่สะอาดที่สุดเนื่องจากมีศักยภาพในการผลิตน้ำมันต่อพื้นที่สูงถึงประมาณ 6-10 เท่า เมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น ส่งผลให้สัดส่วนการผลิตน้ำมันปาล์มสูงถึง 40% ของการผลิตพืชน้ำมันทั่วโลก โดยประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตเป็นอันดับ 3 รองจากอินโดนีเซียและมาเลเซีย (กระทรวงพลังงาน, 2558) พื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มจะมีผลิตภัณฑ์พลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มคือ ส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์ม (PFAD) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ราคาถูก มีสัดส่วน 4-5 wt.% ของน้ำมันปาล์มดิบตั้งต้นมีองค์ประกอบหลัก คือ กรดไขมันอิสระ (FFA) และส่วนที่เหลือเป็น ไตรกลีเซอไรด์ (TG) ไดกลีเซอไรด์ (DG) โมโนกลีเซอไรด์ (MG) และสารที่ไม่บริสุทธิ์ ลักษณะทางกายภาพของ PFAD นั้นจะเป็นไขอ่อนสีเหลืองที่อุณหภูมิห้องและจะเป็นของเหลวสีน้ำตาลอ่อนเมื่ออุ่นที่อุณหภูมิ 50°C

การผลิตไบโอดีเซลมีวัตถุประสงค์หลัก คือ น้ำมันพืชและแอลกอฮอล์ ซึ่งเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลแบ่งได้ 3 กระบวนการได้แก่ กระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Tranesterification) กระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) และกระบวนการ 2 ขั้นตอน (Two-stage) โดยแอลกอฮอล์ที่สามารถใช้ คือ เมทานอล เอทานอล และบิวทานอล โดยเมทานอลจะเป็นแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจาก เมทิลเอสเทอร์จะมีโครงสร้างคล้ายน้ำมันดีเซลมากที่สุด อย่างไรก็ตาม การผลิตเมทานอลนั้นยังคงต้องใช้วัตถุดิบที่ไม่สามารถทดแทนได้ ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาจึงมีการศึกษาแอลกอฮอล์ที่มาจากวัตถุดิบที่สามารถทดแทนได้อย่างเอทานอลและบิวทานอล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้จากวัสดุทางการเกษตรที่รู้จักกันในชื่อ “ไบโอแอลกอฮอล์” (กระทรวงพลังงาน, 2558)

เชื้อเพลิงผสม ดีเซล-น้ำมันพืช หรือ ไบโอดีเซล-แอลกอฮอล์ โดยเฉพาะเอทานอลและบิวทานอล ถูกมองว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลและสามารถใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ (Kwancharon et al., 2007) ซึ่งการใช้ไบโอแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงผสมกับดีเซลมีการพัฒนาอย่างมากในต่างประเทศ โดยเฉพาะในอเมริกาที่มีการผลักดันให้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและนำไปใช้อย่างจริงจังได้กำหนดเป็นแผนนโยบายเชิงการค้า จากงานวิจัยเกี่ยวข้องกับการใช้ไบโอแอลกอฮอล์มาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่ามีข้อดีหลายประการ เช่น ช่วยลดการปล่อยคาร์บอนนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน อนุภาค คิวโนลีน และคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศอย่างมีนัยสำคัญ (He et al., 2003; Dogan et al., 2011; Yilmaz et al., 2014 และ Prakash et al., 2018) อย่างไรก็ตาม การใช้ไบโอแอลกอฮอล์เพียงอย่างเดียวมาเป็นเชื้อเพลิงผสมจะเกิดข้อด้อยที่สำคัญ เช่น ค่าซีเทนของเชื้อเพลิงผสม ความหนาแน่น ความหนืด การหล่อลื่น ค่าความร้อน และจุดวาบไฟ ดังนั้นการใช้สารเติมซิวเฟอร์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงให้สามารถใช้งานได้ตามมาตรฐานน้ำมันดีเซลจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยในปี 2559 ได้

มีการศึกษาถึงการผลิตส่วนผสมซีลโดยการใช้ส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ซึ่งสามารถเพิ่มแอลกอฮอล์ (เอทานอลชนิดไม่มีน้ำ/บิวทานอลชนิดไม่มีน้ำ) และส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มรวมกันได้สูงถึง 40-50 wt.% นอกจากนี้ส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มยังมีคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญ เช่น จำนวนซีเทนสูง คุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดี ช่วยป้องกันการสึกหรอและช่วยให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น (ศุภกิจ เอียดตรง, 2559) แต่ยังมีข้อจำกัดสัดส่วนการผสมในเรื่องของ จุดชุน และจุดไหลเทที่มีการเพิ่มขึ้นสูงมากตามสัดส่วนของส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์ม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำของส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์ม ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ไพน์บางส่วนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ “ส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน” เพื่อใช้เป็นส่วนผสมซีล/ดีโซฮอล์

ส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน คือ การทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ไพน์บางส่วนของส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์ม (กรดไขมันอิสระ) กับแอลกอฮอล์ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ เอสเทอร์และน้ำเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ โดยยังคงเหลือวัตถุดิบขั้นต้น (กรดไขมันอิสระ) อยู่ในผลิตภัณฑ์ มีองค์ประกอบเป็นหมู่คาร์บอกซิล : $-COOH$ การเปลี่ยนกรดไขมันเป็นเอสเทอร์จึงส่งผลให้จุดหลอมเหลวลดลง เนื่องจากกรดไขมันของหมู่เอสเทอร์มีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่ากรดไขมันของหมู่คาร์บอกซิลิก ดังนั้นการทำปฏิกิริยา เอสเทอร์ไพน์บางส่วนกับส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มจะส่งผลให้สามารถเป็นส่วนผสมซีล/ดีโซฮอล์ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น และไม่สูญเสียคุณสมบัติการเป็นตัวประสานระหว่างซีลและแอลกอฮอล์ อย่างไรก็ตาม การผลิตเอสเทอร์ด้วยกระบวนการดั้งเดิมนั้นจำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดและ/หรือเบส เมื่อได้ผลิตภัณฑ์จะต้องล้างตัวเร่งปฏิกิริยาออกก่อน ทำให้ต้องสูญเสียพลังงานทั้งในกระบวนการล้าง และก่อให้เกิดการใช้้ในปริมาณมาก การวิจัยนี้จึงใช้ส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มกับแอลกอฮอล์ (เอทานอล/บิวทานอล) ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ไพน์บางส่วนที่อุณหภูมิสูงและความดันสูงโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบ คือ เอสเทอร์ กรดไขมันอิสระ แอลกอฮอล์ที่เหลือ และน้ำ เนื่องจากไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมี ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงสามารถทำความสะอาดได้ด้วยการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำที่อุณหภูมิ $120^{\circ}C$ จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย คือ ส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน ที่มีองค์ประกอบเป็น เอสเทอร์ของกรดไขมัน และกรดไขมันอิสระเท่านั้น

โดยงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 การสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน ส่วนที่ 2 การศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวร่วมกับคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงผสมและการทดสอบใช้ในเครื่องยนต์เบื้องต้นสำหรับเชื้อเพลิงผสมที่น่าสนใจ โดยคาดว่าส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน จะสามารถเพิ่มสัดส่วนการผสมในซีล/ดีโซฮอล์ และสามารถปรับปรุงข้อด้อยของส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มได้เป็นอย่างดี

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) สร้างชุดผลิตส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วนด้วยกระบวนการแอลกอฮอล์ไลซิสซึ่งไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยาจากส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มแบบกระดับห้องปฏิบัติการ
- 2) ศึกษาการผลิตส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วนด้วยกระบวนการแอลกอฮอล์ไลซิสซึ่งไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยาจากส่วนกลั่นกรดไฮปาล์ม
- 3) ศึกษาพฤติกรรมเฟส คุณสมบัติเชื้อเพลิง และการใช้งานเชื้อเพลิงผสมส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วนเบื้องต้นสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ชุดผลิตส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วนด้วยกระบวนการแอลกอฮอล์ไลซิสซึ่งไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยาจากส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มแบบกระดับห้องปฏิบัติการ
- 2) ได้องค์ความรู้ของกระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน ด้วยกระบวนการแอลกอฮอล์ไลซิสเบื้องต้น เพื่อนำไปใช้สำหรับพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลที่มีต้นทุนต่ำต่อไป
- 3) ได้องค์ความรู้ของการผลิต สัดส่วนการผสม คุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญ และการใช้งานเชื้อเพลิงผสมส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วนเบื้องต้นสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร

บทที่ 2

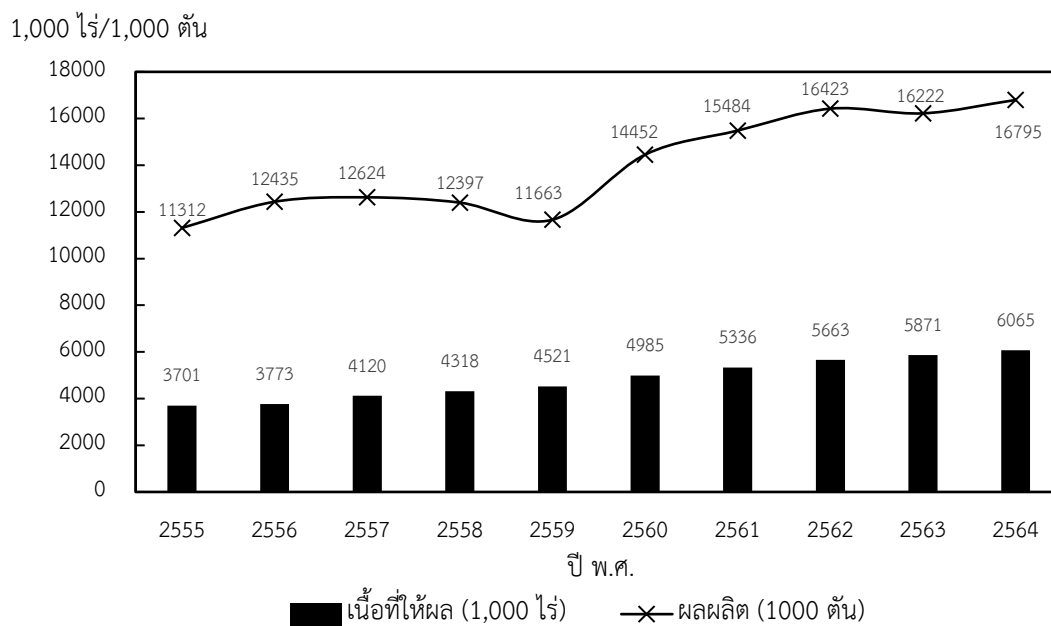
การตรวจเอกสาร

2.1 ปาล์มน้ำมันในประเทศไทย

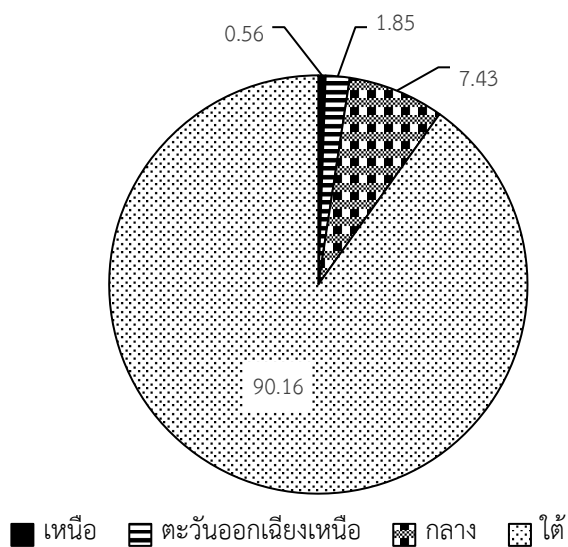
ปาล์มน้ำมัน จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอย่างมากต่ออุตสาหกรรมการเกษตรของไทยในปัจจุบัน จากนโยบายและยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันของไทยปี 2547-2572 เพื่อมุ่งสู่การเป็นผู้ผลิตและส่งออกน้ำมันปาล์ม โดยได้ตั้งเป้าหมายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันให้ได้ 10 ล้านไร่ ภายในปี พ.ศ. 2572 ซึ่งการปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไทยเริ่มตั้งแต่สมัยก่อนสงครามโลกครั้งที่สองประมาณพันไร่ มีวัตถุประสงค์เพื่อการค้าเป็นครั้งแรก

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าพืชน้ำมันทุกชนิดและมีต้นทุนการผลิตต่ำ น้ำมันปาล์มจึงเป็นน้ำมันพืชสำหรับการบริโภคที่มีราคาถูกที่สุด สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ และนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวางทั้งในอุตสาหกรรมอาหารและไม่ใช่อาหาร รวมถึงการนำไปใช้ในการผลิตพลังงานทดแทน จากการรวบรวมข้อมูลพื้นที่ให้ผล และปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันของประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2555 ถึง 2564 (10 ปีย้อนหลัง) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) ดังรูปที่ 2.1 พบว่าในตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นทุกปี เมื่อพิจารณาในรายละเอียดพบว่าในปี 2564 มีพื้นที่ให้ผลผลิตประมาณ 6.06 ล้านไร่ เพิ่มขึ้นจากปี 2555 จำนวน 2.36 ล้านไร่ คิดเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้น 1.64 เท่า โดยได้ผลผลิต 16.79 ล้านตันในปี 2564 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2555 จำนวน 5.48 ล้านตัน มีอัตราการเพิ่มผลผลิตต่อปี คือ 4.80% เป็นผลผลิตในพื้นที่ภาคใต้สูงถึง 90.16% และภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ คือ 7.43, 1.85 และ 0.56% ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.2 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

สัดส่วนพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทยโดยหลักจะอยู่ในพื้นที่ภาคใต้มากที่สุด เนื่องจากภาคใต้มีสภาพอากาศร้อนชื้น อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน บริเวณพื้นที่ที่ปลูกมากที่สุด คือจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูลและตรัง รองลงมาคือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ตามลำดับ แต่เมื่อมองในแง่ของอัตราการขยายตัวของพื้นที่การปลูกปาล์มน้ำมัน พบว่า ภาคเหนือคือพื้นที่ที่มีอัตราการขยายตัวสูงสุด ตามด้วยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ ตามลำดับ จากนโยบายส่งเสริมการปลูกปาล์มน้ำมันของรัฐบาล อย่างไรก็ตามพื้นที่ภาคใต้ยังคงเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดเนื่องจากมีลักษณะดิน สภาพภูมิอากาศและแหล่งน้ำที่มีความเหมาะสมสามารถปลูกและให้ผลผลิตที่ดีทั่วทั้ง 14 จังหวัดภาคใต้ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)



รูปที่ 2.1 เนื้อที่ให้ผลและผลผลิตปาล์มน้ำมันในช่วงปี พ.ศ.2554-2563
(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)



รูปที่ 2.2 สัดส่วนผลผลิตปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคต่างๆ ของประเทศไทย
(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันของไทย จะใช้ใน 2 ส่วนหลัก คือ อุตสาหกรรมอาหารเพื่อบริโภค และอุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซลเพื่อเป็นเชื้อเพลิงทดแทน ซึ่งผลิตภัณฑ์ปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่ จะถูกใช้ในการบริโภคเป็นหลักและส่วนที่เหลือจะถูกใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

2.2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

ทะลายปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบจะมีลักษณะเป็นสีส้ม ดังรูปที่ 2.3 ผลปาล์มน้ำมันจะประกอบด้วยน้ำมัน 2 ชนิด คือ น้ำมันที่สกัดได้จากเปลือกนอกของผลปาล์ม เรียกว่า น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) และน้ำมันที่สกัดได้จากเนื้อของเมล็ดในปาล์ม เรียกว่า น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (crude palm kernel oil) โรงงานที่ผลิตน้ำมันปาล์มในประเทศ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ โรงงานขนาดเล็ก มีกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจากผลปาล์มด้วยเครื่องสกัดแบบเกลียวอัด ทำให้น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์มปนกัน เรียกว่า น้ำมันปาล์มดิบชนิดที่บวม โดยน้ำมันชนิดนี้จะมีข้อเสียคือ ปัญหาเรื่องการฟอกสี เนื่องจากผลปาล์มน้ำมันถูกให้ความร้อนในอุณหภูมิที่สูงน้ำมันจึงสกรกจากเขม่าควันที่เกิดขึ้น และมีกรดไขมันอิสระในระดับที่สูงกว่าปกติ ส่วนโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มขนาดใหญ่จะมีกระบวนการผลิตตามแบบมาตรฐานซึ่งจะมีกำลังการผลิตในระดับสูง ประมาณ 30–80 ตัน/ชั่วโมง ด้วยการสกัดน้ำมันด้วยเครื่องสกัดแบบเกลียวคู่ ส่งผลให้สามารถแยกน้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์มออกจากกันได้จัดเป็นน้ำมันคุณภาพดี (เกรด A)



รูปที่ 2.3 ทะลายปาล์มที่พร้อมสำหรับการผลิตน้ำมันปาล์ม
(ที่มา : www.trangpalmoil.com เข้าถึงวันที่ 15/05/2565)

การกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม เป็นกระบวนการที่สำคัญในการกำจัดสิ่งเจือปนและองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ต้องการออกไป เพื่อให้ได้คุณภาพ รสชาติ กลิ่น สี และอายุการเก็บรักษาตามที่ต้องการ ซึ่งกระบวนการกลั่น สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีการ คือ วิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี ดังรูปที่ 2.4

1. วิธีทางกายภาพ เป็นกระบวนการที่ใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิสูงภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ ประกอบด้วย 3 กระบวนการ ได้แก่

- กระบวนการกำจัดยาง (Degumming) เป็นการกำจัดยางเหนียวหรือฟอสโฟลิพิด (Phospholipids) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุฟอสฟอรัสลักษณะเป็นยางเหนียวทำให้

น้ำมันเสื่อมคุณภาพและเมื่อโดนความร้อนจะเปลี่ยนลักษณะกายภาพเป็นยางเหนียว โดยกระบวนการกำจัดยางเหนียวมี 6 วิธีดังนี้ (1) แบบแห้ง (dry degumming) (2) แบบเปียก (water degumming) (3) แบบกรด (acid degumming) (4)แบบใช้เอนไซม์ (enzymatic degumming) (5) แบบ EDTA (EDTA-degumming) และ (6) แบบเมมเบรน (membrane degumming) โดยแต่ละวิธีจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณของฟอสโฟลิพิดที่มีอยู่ในน้ำมันพืชนั้นๆ น้ำมันปาล์มมีฟอสโฟลิพิดน้อย จึงมักใช้วิธีแบบแห้ง (dry degumming) ซึ่งใช้กรดฟอสฟอริกหรือกรดซิตริกเข้มข้น 80-85% ประมาณ 0.05-0.2 % ของน้ำมันปาล์มดิบใส่น้ำมันปาล์มดิบและให้ความร้อน 90-100 องศาเซลเซียส นาน 15-30 นาที เพื่อให้ยางเหนียวเกิดการตกตะกอนแล้วจึงถ่ายทิ้ง แล้วนำน้ำมันปาล์มดิบล้างด้วยน้ำสะอาดอีก 2 ครั้งเพื่อไล่กรดที่เจือปนก่อนเข้าสู่กระบวนการฟอกสีต่อไป (ปริญา หม่อมพิบูลย์, 2555)

- กระบวนการฟอกสี (Bleaching) เป็นการฟอกสีน้ำมันปาล์มโดยใช้สารดูดซับ ได้แก่ ดินฟอกสี (acid activated bleaching earth หรือ bleaching clay) ดินฟอกสีธรรมชาติ (natural bleaching earth) ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซิลิเกตสังเคราะห์ (synthetic silicates) และเรซินสังเคราะห์ (synthetic resins) ดูดซับสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำมัน การฟอกสีของน้ำมันปาล์มมักใช้ดินฟอกสี ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นไฮเดรตอะลูมิเนียมซิลิเกต (hydrated aluminum-silicates) มีสมบัติในการดูดซับที่ดีสามารถดูดซับสารคลอโรฟิลด์และสารมีสีอื่น ๆ รวมถึงฟอสโฟลิพิด และกรดไขมันอิสระที่อาจเกิดระหว่างกระบวนการฟอกสีออกได้ มีวิธีการคือ เติมดินฟอกสีลงไปในน้ำมันปาล์มดิบประมาณ 0.8-2.0% ของน้ำมันปาล์มดิบ และกวนให้ผสมกันเป็นเวลา 30-45 นาที ภายใต้สภาพสุญญากาศโดยควบคุมอุณหภูมิ 95-100°C จากนั้นจึงนำน้ำมันที่ได้ผ่านเข้าสู่เครื่องกรองก่อนเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

- กระบวนการกำจัดกลิ่น (Deodorization) เป็นกระบวนการสำคัญในการกำจัดกรดไขมันอิสระ สารระเหยอื่นๆ ที่เป็นสิ่งเจือปนที่มีจุดเดือดต่ำกว่าไตรกลีเซอไรด์ที่ทำให้เกิดกลิ่นและสีของน้ำมันบางส่วนที่กำจัดไม่ได้ในกระบวนการก่อนหน้า วิธีการคือ กลั่นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิสูงภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยมีอุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญในการกลั่น ดังนั้น ช่วงอุณหภูมิของการกลั่นที่เหมาะสมคือ 240-270°C โดยใช้เวลา 1-2 ชั่วโมง และความดันไม่เกิน 10 มิลลิเมตรปรอทก็จะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Bleached and Deodorized Palm Oil, RBDPO) เป็นผลิตภัณฑ์หลัก และกรดไขมันอิสระที่ได้ออกมาในรูปแบบของส่วนกลั่นกรดไขมัน (Palm Fatty Acid Distillate, PFAD) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by-product) ที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบในการทำสบู่ อาหารสัตว์ ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสกัดกรดไขมันชนิดต่าง ๆ หรือการสกัดวิตามินอีในอุตสาหกรรมออริโอเคมิคอล

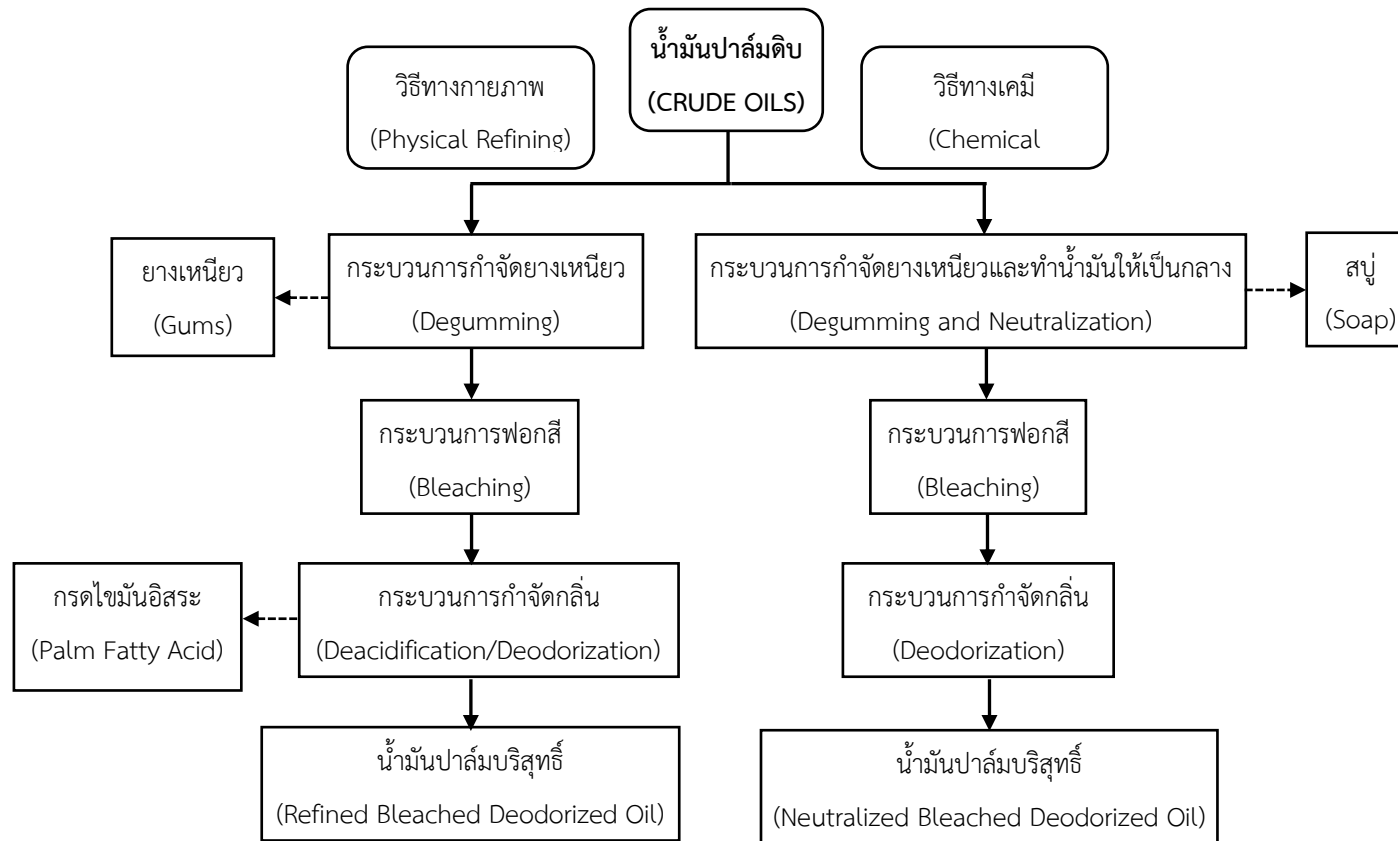
2. การกลั่นด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Refining) การกลั่นน้ำมันปาล์มด้วยวิธีการนี้จะกำจัดกรดไขมันอิสระโดยใช้สารเคมี ซึ่งเป็นวิธีที่มีมาก่อนวิธีทางกายภาพประกอบด้วย 3 กระบวนการหลัก ได้แก่

- กระบวนการกำจัดยางเหนียวและการทำน้ำมันให้เป็นกลาง (Degumming and Neutralisation) เริ่มด้วยกระบวนการกำจัดยางเหนียวโดยการเติมกรดฟอสฟอริกหรือซิตริก เช่นเดียวกับวิธีทางกายภาพ แต่หลังจากนั้นมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ลงไปทำปฏิกิริยาสaponificationกับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นสบู่แล้วจึงแยกสบู่ออกจากด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifugal separator)

- กระบวนการฟอกสี (Bleaching) น้ำมันปาล์มที่ผ่านการแยกเอาสบู่ออกแล้ว จะทำการฟอกสีโดยเติมดินฟอกสีลงในน้ำมันที่มีอุณหภูมิประมาณ 90°C เช่นเดียวกับวิธีทางกายภาพ

- กระบวนการกำจัดกลิ่น (Deodorization) น้ำมันที่ผ่านกระบวนการฟอกสีแล้วจะเข้าสู่เครื่องกำจัดกลิ่น (deodorizer) เพื่อกำจัดกลิ่นและสารเจือปนอื่นๆ โดยการกลั่นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิสูงประมาณ 200°C ภายใต้สภาวะสุญญากาศ แล้วจึงผ่านเข้าสู่เครื่องกรองจะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Neutralized Bleached and Deodorized Palm oil)

ดังนั้นเมื่อนำวิธีการกลั่นน้ำมันปาล์มทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่าแต่ละวิธีมีจุดเด่นและจุดด้อยที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.4 กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม (ที่มา : www.arda.or.th เข้าถึงวันที่ 9/04/2565)

ตารางที่ 2.1 จุดเด่นและจุดด้อยของกระบวนการกลั่นด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมี

กระบวนการกลั่น	จุดเด่น	จุดด้อย
<u>วิธีทางกายภาพ</u>	<ol style="list-style-type: none"> 1. ผลผลิตสูง 2. ผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้นสามารถสร้างมูลค่าได้ เช่น กรดปาล์ม (PFAD) ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ไฮโดรซีล และจารบี เป็นต้น 3. น้ำมันปาล์มที่ได้มีความคงตัวเมื่อนำมาใช้ในอุณหภูมิสูงและมีความต้านทานการเกิดออกซิเดชันกับความชื้นในอากาศทำให้เหม็นหืนช้า 4. ขั้นตอนในกระบวนการน้อยกว่าวิธีทางเคมี 5. ค่าใช้จ่ายในระหว่างการค้าเนื้องานถูกกว่าวิธีทางเคมี 	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีน้ำเสียในกระบวนการ แต่กำจัดได้โดยใช้ระบบบำบัดแบบระบบสครับบิง (Chemical Scrubbing Process) 2. ต้นทุนเครื่องจักรสูงกว่าวิธีทางเคมี เช่น ระบบกำจัดกลิ่นที่ต้องใช้วัสดุที่ทนต่ออุณหภูมิสูงกว่าทำให้มีราคาแพงกว่า
<u>วิธีทางเคมี</u>	<ol style="list-style-type: none"> 1. อุณหภูมิที่ใช้ต่ำกว่าวิธีทางกายภาพ 2. เมื่อน้ำมันปาล์มที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้นมีองค์ประกอบของกรดไขมันอิสระไม่คงที่ ระบบนี้สามารถปรับสภาวะของแต่ละขั้นตอนได้ง่าย เพียงแค่เพิ่มหรือลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ 3. เหมาะกับน้ำมันที่มีฟอสโฟลิพิดสูง 	<ol style="list-style-type: none"> 1. สูญเสียน้ำมันปาล์มในขั้นตอนที่เกิดสบู่ 2. ใช้สารเคมีและมีน้ำเสียเกิดขึ้นในกระบวนการ และสามารถกำจัดได้เช่นเดียวกับการกลั่นด้วยวิธีทางกายภาพ

2.3 การผลิตส่วนผสมดีเซล

การผลิตส่วนผสมดีเซลมีหลายวิธี ซึ่งความคุ้มค่าของการผลิตจะแตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นในแง่ของต้นทุนการผลิตและผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ รวมถึงแต่ละกระบวนการผลิตจะมีข้อจำกัดในการใช้งานที่แตกต่างกันโดยสามารถจำแนกตามกระบวนการผลิตได้ดังนี้ (Silitonga et al., 2011)

2.3.1 การนำน้ำมันพืชไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง ซึ่งวิธีนี้จะสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำหรือเครื่องยนต์การเกษตร แต่เครื่องยนต์ที่ใช้วิธีนี้พบว่ามีประสิทธิภาพต่อเครื่องยนต์ค่อนข้างสูง เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันพืชมีความแตกต่างจากน้ำมันดีเซลมาก โดยเฉพาะความหนืดของน้ำมันพืชที่มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลอย่างเห็นได้ชัด

2.3.2 การเจือจาง หรือการผสมตามสัดส่วน คือ การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลเพื่อลดความหนืดและปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องยนต์ กระบวนการนี้ไม่ต้องใช้กระบวนการทางเคมีและ

พบว่าการใช้น้ำมันพืช 100% ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน แต่อย่างไรก็ตาม การผสมในสัดส่วนน้ำมันพืช 20% กับน้ำมันดีเซล 80% เหมาะสมกับการใช้งาน แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับการใช้งานในระยะยาวกับเครื่องยนต์แบบฉีดโดยตรง (direct injection engine) เนื่องจากความมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน ASTM ดังนั้นน้ำมันพืชและน้ำมันพืชผสมกับดีเซลจึงไม่ค่อยถูกใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล

2.3.3 เชื้อเพลิงอิมัลชัน คือมีน้ำรวมตัวกับดีเซลซึ่งเชื้อเพลิงอิมัลชันจะมี 2 รูปแบบคือ น้ำมันในน้ำ (O/W) อิมัลชันที่หยดน้ำมันกระจายตัวถูกห่อหุ้มอยู่ในน้ำและน้ำในน้ำมัน (W/O) อิมัลชันที่หยดน้ำกระจายตัวและถูกห่อหุ้มอยู่ในน้ำมัน เนื่องจากจุดเดือดของน้ำต่ำกว่าของน้ำมันส่งผลให้ละอองน้ำจะเดือดก่อนน้ำมันและจะเกิดปรากฏการณ์ระเหยกลายเป็นไอกระจายตัวผ่านชั้นของน้ำมันทำให้ละอองน้ำมันมีขนาดเล็กกว่าเดิมส่งผลให้พื้นที่ผิวของน้ำมันเพิ่มขึ้น ขอบเขตการผสมและผิวสัมผัสระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นและนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอัตราการเผาไหม้ประสิทธิภาพการเผาไหม้และน้ำยังสามารถลดอุณหภูมิการเผาไหม้ (Ithnin et al., 2014)

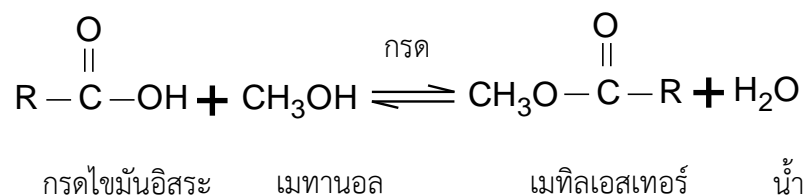
2.3.4 การปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันก่อนนำไปใช้ประกอบด้วย การปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนหรือการอุ่นน้ำมัน และการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการเคมี เช่น ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน การลดยางเหนียว ปฏิกริยาสะปอนนิฟิเคชัน (การลดกรด) และการแยกไข (Knothe, 2001)

2.4 การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันด้วยกระบวนการเคมี

สำหรับการทบทวนเอกสารของการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันด้วยกระบวนการเคมี ในส่วนนี้จะกล่าวถึง การใช้ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากเป็นปฏิกริยาที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบใกล้เคียงดีเซลมากที่สุดจึงเป็นที่นิยมมากที่สุด โดยการทบทวนเอกสารจะศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลให้ปริมาณเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) เพิ่มขึ้น ประกอบด้วย อุณหภูมิทำปฏิกริยา ความดันทำปฏิกริยา เวลาทำปฏิกริยา และอัตราส่วนน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

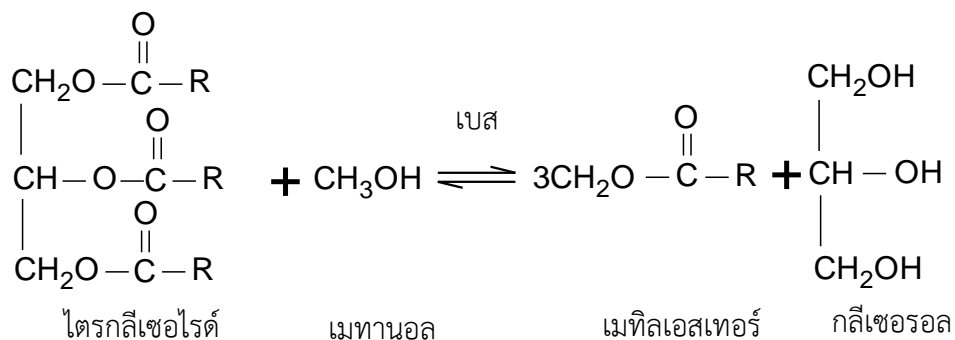
ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นการทำปฏิกริยาระหว่างกรดไขมันอิสระ กับ แอลกอฮอล์ (เมทานอล) โดยหลังจากเกิดปฏิกริยาจะได้เป็นเมทิลเอสเทอร์และน้ำ ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งจะเหมาะกับวัตถุดิบที่มีค่ากรดไขมันสูง > 5.0 wt.% โดยจะมีการให้ความร้อนและอาจมีการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกริยาเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกริยา โดยกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันสามารถเกิดปฏิกริยาได้โดยปราศจากตัวเร่งปฏิกริยา แต่จะต้องอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม เช่น ความดัน อุณหภูมิ และเวลาในการเกิดปฏิกริยา (Santos et al., 2017; กิตตศักดิ์ ทวีสินโสภา, 2549) จากข้อมูลข้างต้น ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ไม่สามารถเร่งการเกิดปฏิกริยาโดยการใช้เบส เนื่องจากจะทำให้เกิดปฏิกริยาสะปอนนิฟิเคชันได้เป็นสบู่แทนที่เอสเทอร์ที่ต้องการ นอกจากนั้น ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันยังได้น้ำเป็น

ผลิตภัณฑ์พลอยได้ จึงทำให้ต้องมีการระมัดระวังเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำที่เกิดขึ้นอาจไปทำปฏิกิริยากับ เอสเทอร์ได้เป็นกรดไขมันเพิ่มกลับมาอีกส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลง



รูปที่.2.5 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (กิตตศักดิ์ ทวีสินโสภา, 2549)

ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาเพื่อย้ายหมู่เอสเทอร์ มีไตรกลีเซอไรด์ ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (เมทานอล) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล (กิตตศักดิ์ ทวีสินโสภา, 2549; นฤมล อินทร์น, 2559) ดังรูปที่ 2.6 โดยจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมนอกลิเซอไรด์ โดยส่วนมากจะใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามี 2 วิธี คือ การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน แบบขั้นตอนเดียว โดยจะเหมาะสมกับวัตถุดิบที่มีปริมาณ FFA \leq 5.0wt.% และการทำปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน สำหรับวัตถุดิบที่มีปริมาณ FFA $>$ 5.0wt.% และสำหรับปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ประกอบด้วย การทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อทำการเปลี่ยนกรดไขมันให้เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันก่อนจึงค่อยนำไปทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากกรดเหล่านี้จะไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันดีเซลชีวภาพ ทำให้เกิดกระบวนการสะปอนนิฟิเคชันหรือกระบวนการเกิดสบู่ขึ้นแทน ซึ่งกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันสามารถเกิดปฏิกิริยาได้โดยปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยา แต่จะต้องอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม เช่น ความดัน อุณหภูมิ และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (นฤมล อินทร์น, 2559)

สำหรับการผลิตเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ที่สภาวะวิกฤตโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทบทวนเอกสารพบว่า ปริมาณเอสเทอร์จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้โมเลกุลของสารในระบบมีพลังงานจลน์สูงขึ้นและเกิดการชนกันของโมเลกุลมากขึ้น ส่งผลให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น (Hongthong et al.,2010; Burapakusolsri et al.,2012; Muppaneni et al.,2012; Velez et al.,2012; Farobie et al.,2015; Suksumrit et al.,2015; Santos et al.,2017 และ Santos et al.,2018) นอกจากนี้ ผลของสัดส่วนน้ำมันต่อแอลกอฮอล์จะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น โดยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันจะใช้ปริมาณแอลกอฮอล์ในสัดส่วนที่สูงประมาณ 1:30–1:40 โดยโมล เนื่องจากมีขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน (Hongthong et al.,2010; Burapakusolsri et al.,2012 และ Farobie et al.,2015) แต่หากเป็นปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่มีขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาแค่ 1 ขั้นตอน จะใช้ปริมาณแอลกอฮอล์ในสัดส่วนที่ต่ำกว่าคือ 1:4–1:9 โดยโมล (Suksumrit et al.,2015; Santos et al.,2017 และ Santos et al.,2018)

ตารางที่ 2.2 การศึกษาปัจจัยที่สำคัญในการผลิตเอสเทอร์ที่สภาวะอุณหภูมิสูงความดันสูงโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

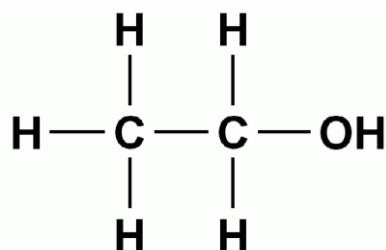
นักวิจัย	วัตถุดิบ	ขอบเขตการวิจัย				เอสเทอร์ (wt.%)
		อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (bar)	เวลา (minute)	สัดส่วนน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ (by mole)	
Hongthong,S et al.,2011	น้ำมันรำข้าว	200-350	80-180	30-180	1:26-1:50	98.5
	ที่สภาวะเหมาะสม (Steady)	300	180	60	1:42	(ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน)
Velez,A et al.,2012	น้ำมันดอกทานตะวัน	300-345	160-200	0-50	1:40	90
	ที่สภาวะเหมาะสม (Steady)	345	160	28	1:40	(ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน)
Muppaneni ,T et al.,2012	น้ำมันคาร์เมรีน่า	245-320	100	30	1:25-1:55	85
	ที่สภาวะเหมาะสม (Steady)	295	100	30	1:45	(ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน)
Burapakusolsri,J et al.,2012	น้ำมันสบู่ดำ	250-350	-	120	1:30-1:60	95
	ที่สภาวะเหมาะสม (Steady)	300	-	120	1:30	(ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน)
Farobie,O et al.,2015	น้ำมันคาโนล่า	270-400	200	30	1:40	98.1
	ที่สภาวะเหมาะสม (Steady)	350	200	30	1:40	(ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน)
Suksumrit,J et al.,2015	กรดไขมันปาล์ม	240-320	-	60	1:1-1:12	97.9
	ที่สภาวะเหมาะสม (Steady)	300	-	60	1:9	(เอสเทอร์ฟิเคชัน)
Santos,P.R.S et al.,2017	กรดคาร์บอกซิลิก	220-280	100	60	1:6-1:9	90
	ที่สภาวะเหมาะสม (Steady)	280	100	10	1:6	(เอสเทอร์ฟิเคชัน)
Santos,K.C.D et al.,2018	น้ำมันถั่วเหลือง	220-350	100-200	0-100	1:2-1:20	85
	ที่สภาวะเหมาะสม (Steady)	280	100	60	1:4	(เอสเทอร์ฟิเคชัน)

ดังนั้นเนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวของส่วนกลั่นกรดไขมันด้วยวิธีการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันบางส่วน เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ยังคงเหลือปริมาณกรดไขมันอิสระทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ โดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จึงได้กำหนดสภาวะทำปฏิกิริยาที่ อุณหภูมิ 275°C และความดัน 70 bar เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งเป็นสภาวะเหนือจุดวิกฤตของเอทานอล (243°C, 70 bar) โดยเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโดยโมลของ PFAD ต่อ เอทานอล ที่ 1:0.6, 1:1 และ 1:2 เพื่อจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของเอสเทอร์และกรดไขมันอิสระที่แตกต่างกัน โดยจะใช้เงื่อนไขเดียวกันสำหรับการทำปฏิกิริยากับบิวทานอลเช่นกัน

2.5 ไบโอบีโอสอลสำหรับเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล

2.5.1 กระบวนการผลิตเอทานอล

เอทานอล (Ethanol) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) สามารถผลิตได้จากผลผลิตทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยทุกส่วนของพืชสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอลได้ โดยเอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอน 5 อะตอม มีสูตรโมเลกุลคือ C_2H_5OH ดังรูป 2.7 มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 46.07 g/mol อุณหภูมิวิกฤตเท่ากับ 242.8°C และความดันวิกฤตเท่ากับ 63.8 bar เป็นของเหลวใสไม่มีสี ไวไฟ ให้เปลวไฟสีน้ำเงินที่ไม่มีควัน



รูปที่ 2.7 สูตรเคมีของเอทานอล

กระบวนการผลิตเอทานอลสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี (กระทรวงพลังงาน, 2554) คือ

1. กระบวนการทางเคมี สำหรับการสังเคราะห์เอทานอล โดยใช้เอทิลีน (Ethylene) เป็นวัตถุดิบ ซึ่งเอทานอลที่ได้เรียกว่า “เอทานอลสังเคราะห์” (Synthetic ethanol)

2. กระบวนการทางชีวเคมี โดยใช้วัสดุเกษตรที่มีองค์ประกอบประเภท แป้ง น้ำตาล หรือเซลลูโลสเป็นวัตถุดิบ ซึ่งเอทานอลที่ได้เรียกว่า “ไบโอบีโอสอล” (Bio-ethanol) มี 4 ขั้นตอนหลักได้แก่

- 2.1) การเตรียมวัตถุดิบก่อนการหมัก มีหลายแบบขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ได้แก่

- วัตถุดิบที่สามารถใช้จุลินทรีย์และการจัดเตรียมทำได้ง่าย ได้แก่ วัตถุดิบที่เป็นกากน้ำตาล เพียงเจือจางด้วยน้ำเพื่อปรับความเข้มข้นให้เหมาะสม ก็สามารถนำไปหมักได้

- วัตถุดิบที่ใช้ได้ยากและการจัดเตรียมซับซ้อน เช่น หัวมันสำปะหลังซึ่งเป็นวัตถุดิบประเภทแป้ง หรือเซลลูโลส วัตถุดิบประเภทเยื่อใย ต้องนำไปผ่านกระบวนการย่อยให้เป็นน้ำตาลด้วยกรดหรือเอนไซม์ ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมก่อนทำการหมักต่อไป

2.2) การเตรียมหัวเชื้อและการหมัก

- การเตรียมหัวเชื้อ เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์แข็งแรงและมีปริมาณมากเพียงพอสำหรับใช้ในการหมัก รวมทั้งต้องปราศจากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์อื่นที่ไม่ต้องการ

- การหมัก เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดจากการทำงานของเชื้อยีสต์ในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคส ภายใต้สภาพปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย โดยทั่วไปการหมักจะใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8-12 โดยปริมาตร

2.3) การแยกผลิตภัณฑ์เอทานอลและการทำให้บริสุทธิ์

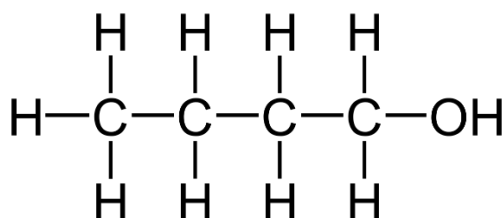
การแยกเอทานอลที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8-12 โดยปริมาตร ด้วยกระบวนการกลั่นซึ่งสามารถแยกเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95.6 โดยปริมาตร (เอทานอลร้อยละ 95) อย่างไรก็ตาม กระบวนการกลั่นที่ความดันบรรยากาศไม่สามารถแยกเอทานอลที่ความบริสุทธิ์สูงกว่าร้อยละ 95.6 ได้ ดังนั้นการแยกเอทานอลที่ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 โดยปริมาตร หรือ เอทานอลไม่มีน้ำ (anhydrous ethanol) จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยี 3 กระบวนการ คือ กระบวนการแยกน้ำด้วยวิธีการกลั่นสกัดแยกกับสารตัวที่สาม กระบวนการแยกด้วยวิธีเมมเบรน และกระบวนการแยกด้วยวิธีโมเลกุลาศีฟ

2.4) การใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์รองและของเสียจากโรงงานเอทานอล

ขั้นตอนสุดท้ายคือการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์รองและของเสียจากโรงงานเอทานอล ในการกระบวนการผลิตเอทานอลนั้น นอกจากจะได้เอทานอลเป็นผลิตภัณฑ์หลักแล้วยังเกิดผลิตภัณฑ์รองอื่นๆ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ฟิวเซลอยล์ และอื่นๆ นอกจากนี้ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เช่น น้ำกาก สามารถแปรรูปเป็นปุ๋ยชีวภาพ อาหารสัตว์ และแก๊สชีวภาพได้ ดังนั้นในการผลิตเอทานอลจึงสามารถใช้ประโยชน์ได้จากผลิตภัณฑ์หลัก ผลิตภัณฑ์รอง และของเสีย ส่งผลให้เป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนการผลิตได้เป็นอย่างดี

2.5.2 กระบวนการผลิตบิวทานอล

บิวทานอล (butanol) หรือบิวทิลแอลกอฮอล์ (butyl alcohol) สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบจำพวกแป้งน้ำตาล และวัตถุดิบที่เหลือใช้ทางการเกษตรเช่นเดียวกับการผลิตเอทานอล โดยบิวทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอน 4 อะตอม มีสูตรโมเลกุลคือ C_4H_9OH ดังรูป 2.8 มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 74.12 g/mol อุณหภูมิวิกฤติเท่ากับ $288.0^{\circ}C$ และความดันวิกฤติเท่ากับ 49.6 bar เป็นสารที่ไม่มีสี ไร้ไฟ ละลายน้ำได้เล็กน้อย มีกลิ่นคล้ายกล้วย ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะในบิวทานอล อย่างไรก็ตามบิวทานอลทำให้เกิดการระคายเคืองเมื่อสัมผัสโดยตรง โดยเฉพาะบริเวณดวงตาและผิวหนัง โดยไอระเหยของบิวทานอลจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อโพรงจมูกได้



รูปที่ 2.8 สูตรเคมีของบิวทานอล

กระบวนการผลิตบิวทานอลสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี (Ouephanit et al., 2012) คือ

1. กระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี บิวทานอลที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมนั้น ส่วนใหญ่จะผลิตจากกระบวนการทางเคมี ประกอบด้วย 3 วิธีการ ได้แก่

1.1 วิธี Oxo (Hydroformylation) มีการเติม Carbon monoxide และ Hydrogen เพื่อเข้าไปแทนที่หมู่ Hydrocarbonyl โดยมีโลหะจำพวก Co, Rh, หรือ Ru เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่ง Aldehyde ที่เกิดขึ้นในระยะแรกจะถูกเปลี่ยนเป็นบิวทานอลในกระบวนการ hydrogenation ต่อไป

1.2 วิธี Reppe อาศัยการเกิดปฏิกิริยาร่วมของ Propylene, Carbon monoxide และน้ำ ในขณะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมอยู่ด้วยซึ่งจะทำให้เกิดของผสมของ n-butanaldehyde และ Isobutanaldehyde ต่อมาถูกลดรูปให้เปลี่ยนเป็นบิวทานอล

1.3 วิธี Crotonaldehyde hydrogenation มีขั้นตอน Aldol condensation, Dehydration และ Hydrogenation ถึงแม้ว่าการใช้วิธีนี้ในปัจจุบันได้ผลิตภัณฑ์บิวทานอลไม่มากนัก แต่ในอนาคตการผลิตบิวทานอลจากกระบวนการ Crotonaldehyde hydrogenation อาจเป็นอีกวิธีหนึ่งที่มี

ความสำคัญ เนื่องจาก Crotonaldehyde สามารถผลิตได้จากเอทานอลโดยตรง ทั้งนี้เอทานอลสามารถผลิตได้จากสารชีวมวลโดยกระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งการผลิตบิวทานอลโดยการสังเคราะห์ทางเคมีด้วยวิธีอื่นต้องอาศัยวัตถุดิบหรือสารตั้งต้นที่มาจากอนุพันธ์ของปิโตรเลียม ซึ่งนับวันยิ่งจะหายากและลดน้อยลง

2. กระบวนการหมัก หรือ กระบวนการเอบีอี (ABE fermentation) เป็นการใช้แบคทีเรียในการหมักเพื่อผลิตบิวทานอลจากสารชีวมวล เป็นกระบวนการที่รู้จักกันดีและเริ่มใช้ครั้งแรกในสมัยสงครามโลกครั้งที่สองซึ่งเป็นกระบวนการหมักที่ไม่ต้องการออกซิเจนจึงต้องมีการไล่อากาศด้วยแก๊สไนโตรเจน โดยให้ผลิตภัณฑ์เป็น แอซิโตน บิวทานอล และเอทานอล ในอัตราส่วน 3:6:1 ซึ่งส่วนใหญ่ใช้แบคทีเรีย Clostridium sp. ในการผลิต โดยเฉพาะ Cl. acetobutylicum ที่เป็นสายพันธุ์ที่นิยมใช้มากที่สุด รวมทั้งสายพันธุ์ Cl. beijerinckii ก็ถูกใช้ในกระบวนการหมักซึ่งให้ผลผลิตที่ดีเช่นกัน

2.6 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ด้วยการใช้ไบโอแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล

จากการทบทวนเอกสารการนำไปใช้ไบโอแอลกอฮอล์ ประกอบด้วย เอทานอล และบิวทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 2.3 พบว่าเชื้อเพลิงผสมสองส่วน ดีเซล-เอทานอล/บิวทานอล และเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ไบโอดีเซล/น้ำมันพืช-เอทานอล/บิวทานอล มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคสูงกว่าดีเซลและเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการผสมของเอทานอล/บิวทานอล เนื่องจากเอทานอล/บิวทานอลมีค่าความร้อนต่ำกว่าดีเซล ทำให้ต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่าในระดับพลังงานเท่ากัน (Dogan et al.,2011; İşik et al.,2014; Yilmaz et al.,2014; Jamrozik et al.,2017; Prakash et al.,2018 และ Sathiyamoorthi and Sankaranarayanan., 2017)

สำหรับประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค จากการทบทวนเอกสารพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคมีทั้งสูงกว่าดีเซล (İşik et al.,2014 และ Jamrozik et al.,2017) อันเนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มเอทานอล/บิวทานอลจะช่วยให้การปรับปรุงการสันดาปให้ดีขึ้นและต่ำกว่าดีเซล (Dogan et al.,2011 และ Prakash et al.,2018) เนื่องจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงผสมที่ลดลง และการผสมน้ำมันพืชที่มีค่าความหนืดสูงจะทำให้การเกิดละอองฝอยไม่ดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสันดาปลดลง

สำหรับอุณหภูมิไอเสีย จากการทบทวนเอกสารพบว่า อุณหภูมิไอเสียของเชื้อเพลิงผสมเอทานอล/บิวทานอลมีค่าต่ำกว่าดีเซล เนื่องจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงผสมต่ำกว่าดีเซลและค่าความร้อนแฝงของการระเหยของบิวทานอลที่สูงกว่าดีเซล (Dogan et al.,2011; İşik et al.,2016; Yilmaz et al.,2014; Jamrozik.,2017 และ Prakash et al.,2018) อย่างไรก็ตาม Sathiyamoorthi and Sankaranarayanan., 2017 พบว่าอุณหภูมิไอเสียของเชื้อเพลิงผสมเอทานอลสูงกว่าดีเซลและ

เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการผสม เนื่องจากเชื้อเพลิงผสมมีการจุดระเบิดที่ล่าช้า ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในไอเสีย ทำให้อุณหภูมิไอเสียสูงขึ้น

ตารางที่ 2.3 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงผสมไบโอแอลกอฮอล์เปรียบเทียบกับดีเซล

นักวิจัย	ชนิดเชื้อเพลิง	เครื่องยนต์ทดสอบ	สภาวะการทดสอบ	ผลทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์		
				BSFC	BTE	EGT
Sathiyamoorthi, R. and Sankaranarayanan, G., 2017	ดีเซล - lemongrass oil -เอทานอล	Single cylinder direct injection	ภาระคงที่ 4.4 kW ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm	↑	↑	↑
Prakash, T et al., 2018	ดีเซล-น้ำมันละหุ่ง-เอทานอล	Single cylinder direct injection	ภาระ 1.3-5.2 kW ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm	↑	↓	↓
Jamrozik, A., .2017	ดีเซล-เอทานอล	Single cylinder direct injection	ภาระคงที่ 7 kW ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm	↑	↑	↓
Dogan, O et al.,2011	ดีเซล-บิวทานอล	Single cylinder direct injection	Torque 3.3-13.1 Nm ที่ความเร็วรอบ 2600 rpm	↑	↓	↓
Yilmaz,N et al.,2014	ดีเซล-ไบโอดีเซล-บิวทานอล	Two cylinder direct injection	ภาระ 1.3-5.2 kW	↑	n.a.	↓
Işik, M.D et al.,2016	ดีเซล-ไบโอดีเซล-บิวทานอล	Four cylinder direct injection	ภาระคงที่ 18 kW ที่ความเร็วรอบ 1500 rpm	↑	↑	↓

บทที่ 3

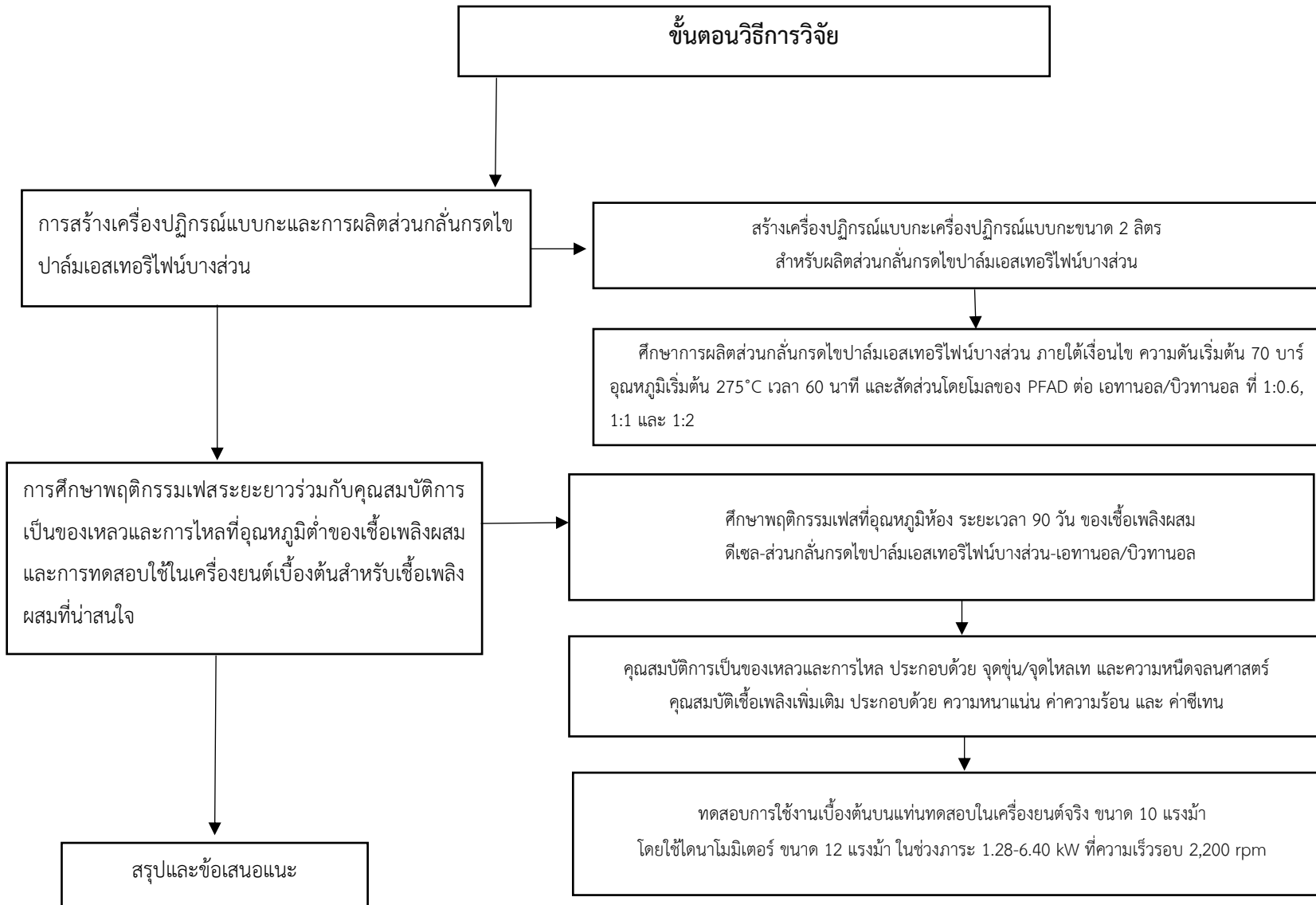
วิธีการวิจัย

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึง ลำดับขั้นตอนการทำวิจัยดังรูปที่ 3.1 ซึ่งในการวิจัยถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและการผลิตส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน และส่วนที่ 2 การศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวร่วมกับคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงผสมและการทดสอบใช้ในเครื่องยนต์เบื้องต้นสำหรับเชื้อเพลิงผสมที่น่าสนใจ

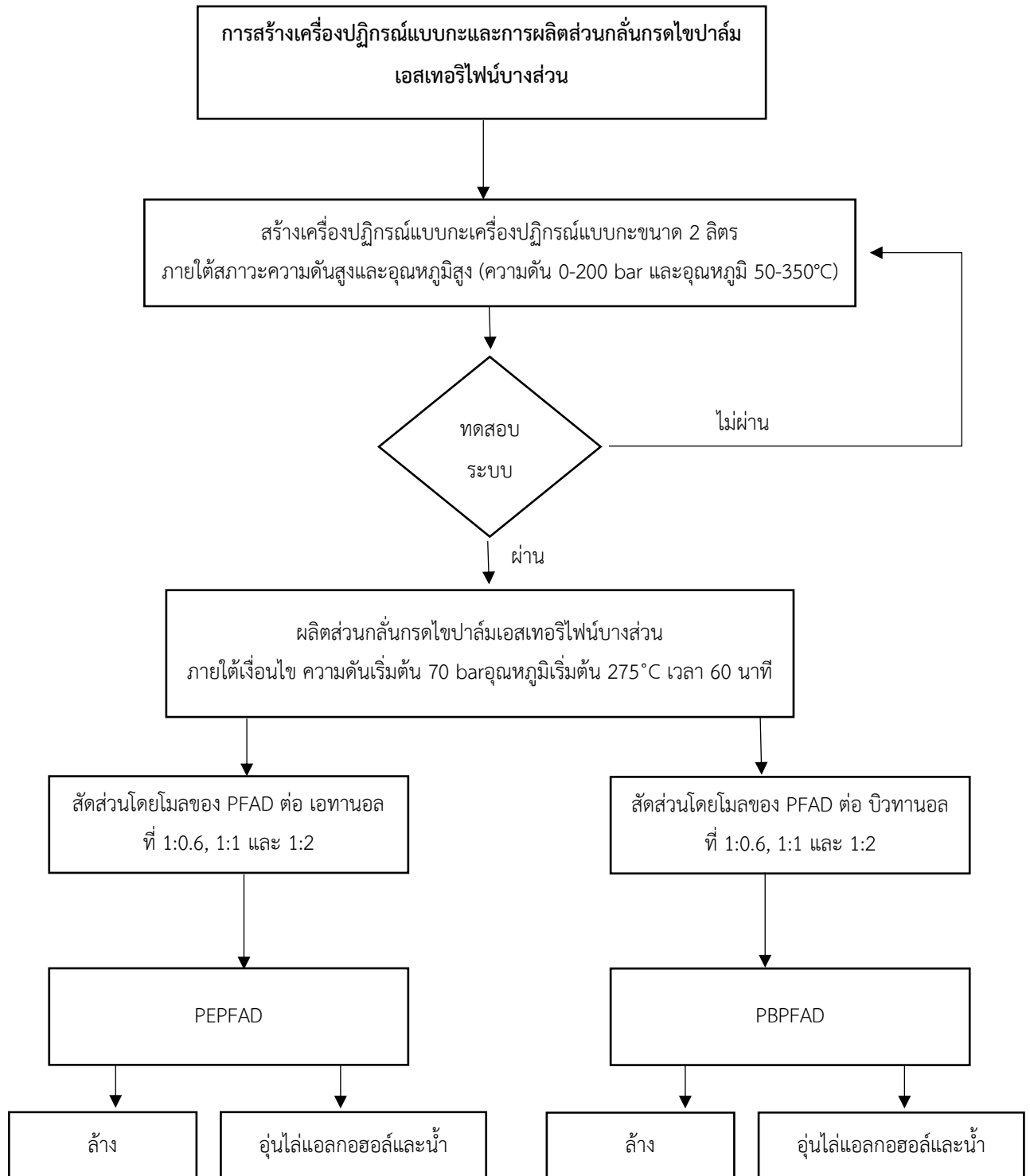
3.1 การสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและการผลิตส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน

การสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ภายใต้สภาวะความดันสูงและอุณหภูมิสูง (ความดัน 0-200 bar และอุณหภูมิ 50-350°C) ประกอบด้วย 4 หน่วย คือ หน่วยเครื่องปฏิกรณ์ หน่วยให้ความร้อน หน่วยหล่อเย็น และหน่วยเก็บข้อมูล โดยหน่วยเครื่องปฏิกรณ์ มีหน้าที่ให้วัตถุดิบทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ไฟน์บางส่วนโดยมีการควบคุมอุณหภูมิและความดัน หน่วยเครื่องปฏิกรณ์ประกอบอยู่ภายในหน่วยให้ความร้อน ที่ทำหน้าที่ให้พลังงานความร้อนแก่หน่วยเครื่องปฏิกรณ์ โดยมีหน่วยหล่อเย็นอยู่ระหว่างหน่วยเครื่องปฏิกรณ์และหน่วยให้ความร้อน ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาเอสเทอร์ไฟน์เคชันของสารตั้งต้นภายในหน่วยเครื่องปฏิกรณ์ และมีหน่วยเก็บข้อมูลทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่สำคัญไว้อย่างต่อเนื่องจากหน่วยเครื่องปฏิกรณ์ เช่น อุณหภูมิ และความดัน เพื่อนำมาวิเคราะห์ในลำดับต่อไป หลังจากการสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับผลิตส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วนแล้วเสร็จ จะมีการทดสอบการใช้งานตามลำดับดังนี้

1. หน่วยเครื่องปฏิกรณ์ ทำการทดสอบโดยใช้น้ำสะอาดใส่ในถังปฏิกรณ์ในระดับเต็ม แล้วปิดฝาชั้นน็อตอัดให้แข็งแรง จากนั้นเพิ่มปริมาณน้ำด้วยปั๊มแรงดันสูงเพื่อเพิ่มความดันภายในถังปฏิกรณ์อยู่ในระดับ 70-90 bar และตรวจสอบดูรอยรั่วบริเวณรอบฝาถังปฏิกรณ์และเกจวัดความดัน
2. หน่วยให้ความร้อน ทำการทดสอบควบคู่กับหน่วยเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อความดันภายในถังปฏิกรณ์คงที่ที่ 70 bar จะเปิดระบบหน่วยให้ความร้อนจนอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์ถึงค่าที่กำหนดที่ 275°C ตรวจสอบดูการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในหน่วยให้ความร้อนและถังปฏิกรณ์



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนวิธีการวิจัย



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและการผลิตส่วนกึ่งกรตไซปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน

3. หน่วยหล่อเย็น ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การหล่อเย็นเครื่องปฏิกรณ์ และการหล่อเย็นวัตถุดิบที่ล้นออกจากการขยายตัว โดยระบบหล่อเย็นเครื่องปฏิกรณ์จะใช้น้ำมันแลกเปลี่ยนความร้อนในถังพักน้ำมันถ่ายเทความร้อน เปิดระบบเพื่อให้ปั๊มทำงานตรวจสอบดูการรั่วไหลตามจุดเชื่อมต่อต่างๆ เช่น ท่อสแตนเลส และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และระบบหล่อเย็นวัตถุดิบที่ล้นออกจากการขยายตัวจะใช้น้ำสะอาดในถังพักน้ำถ่ายเทความร้อน เปิดระบบเพื่อตรวจสอบการทำงานของปั๊มตรวจสอบดูการรั่วไหลตามจุดเชื่อมต่อต่างๆ และชุดปั๊ม

4. หน่วยเก็บข้อมูล ทำการทดสอบควบคู่กับ หน่วยหล่อเย็น หน่วยเครื่องปฏิกรณ์ และหน่วยให้ความร้อน ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิ และความดัน โดยในช่วงการทดสอบระบบจะมีการตรวจสอบเทียบค่าที่เก็บข้อมูลกับค่าที่แสดงบน เกจวัดความดัน และหน้าจอ ดิจิตอลแสดงอุณหภูมิ

การผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของส่วนกลั่นกรดไขมันที่มีองค์ประกอบหลักเป็นกรดไขมันอิสระ (FFA) ≈ 93 wt.% ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่ปราศจากการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงมี 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. การเตรียมสารตั้งต้น : สารตั้งต้นสำหรับการเกิดปฏิกิริยาประกอบด้วย ส่วนกลั่นกรดไขมัน (PFAD) และแอลกอฮอล์ 2 ชนิด คือ เอทานอลชนิดไม่มีน้ำ (AhE) และบิวทานอลชนิดไม่มีน้ำ (AhnB) ในสัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ AhE/AhnB ที่ 1:0.6, 1:1 และ 1:2

2. การทำปฏิกิริยา : ที่สภาวะความดัน 70 bar อุณหภูมิ 275 °C และเวลาการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที ในช่วงการทำปฏิกิริยาจะมีการเพิ่มแอลกอฮอล์ด้วยปั๊มความดันสูงเพื่อรักษาความดันในระบบให้คงที่ หลังครบเวลาตามกำหนด (60 นาที) จะเปิดระบบหล่อเย็นให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิต่ำกว่า 65 °C เพื่อหยุดการเกิดปฏิกิริยา

3. การทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ : ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะทำความสะอาด 2 วิธี คือ การล้าง และการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ เพื่อศึกษาเชิงเปรียบเทียบในลำดับต่อไป

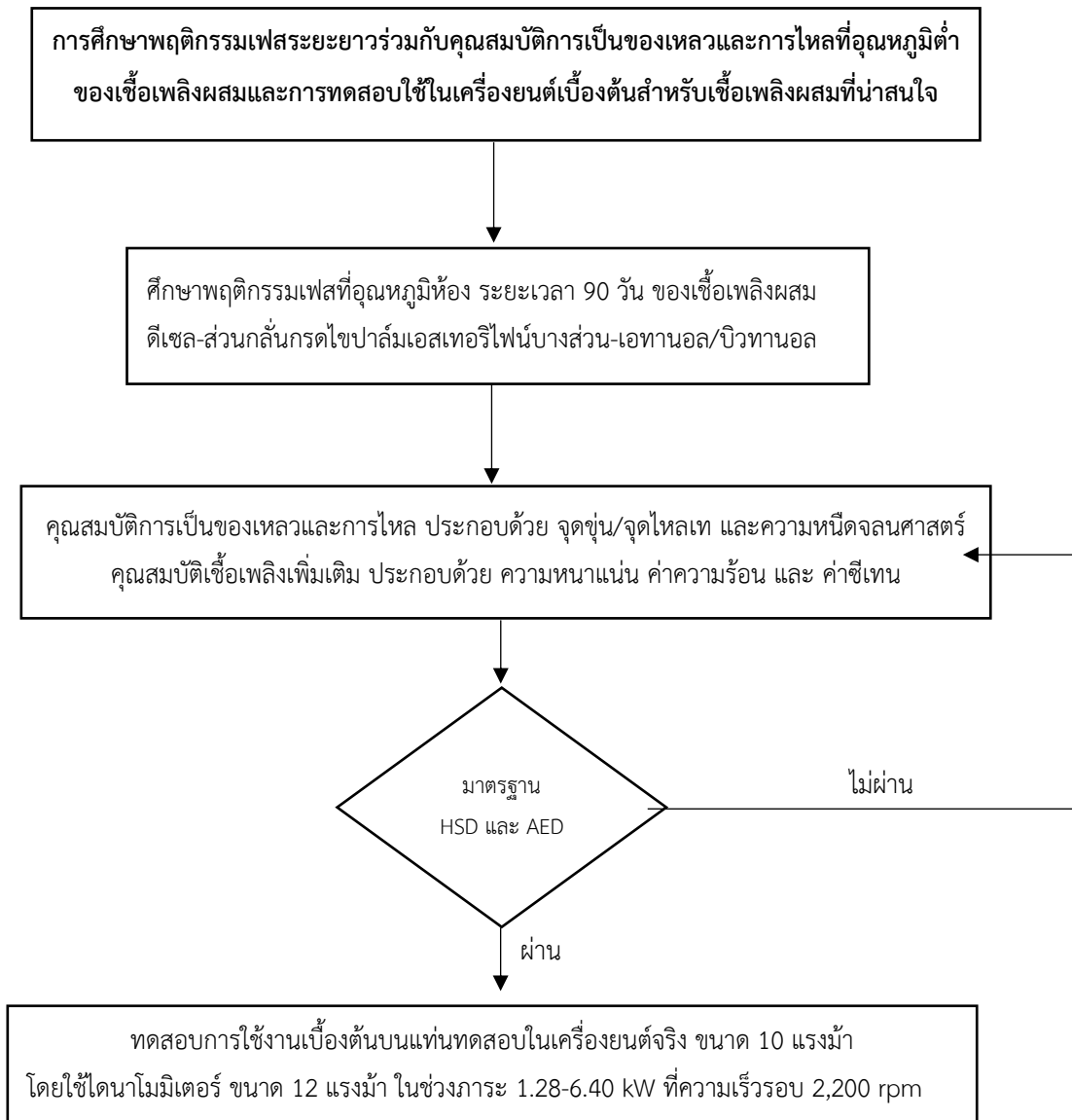
3.2 การศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวร่วมกับคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิ ต่ำของเชื้อเพลิงผสมและการทดสอบใช้ในเครื่องยนต์เบื้องต้นสำหรับเชื้อเพลิงผสมที่น่าสนใจ

สำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษาเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ-แอลกอฮอล์ โดยส่วนกลั่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ ประกอบด้วย 6 เจือปน คือ ที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ AhE/AhnB ที่ 0.6:1, 1:1 และ 2:1 เชื้อเพลิงจะถูกผสมในขวดแก้วเล็กด้วยวิธีการเขย่าอย่างง่าย โดยเชื้อเพลิงผสมถูกเตรียมที่สัดส่วนต่างๆ ของแต่ละ

องค์ประกอบในช่วง 0-100 wt.% ที่ทุกๆ 10 wt.% โดยแต่ละตัวอย่างของเชื้อเพลิงผสมจะมีน้ำหนักรวม 10.0 g และนำไปวางนึ่งที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิ 22-34°C) เป็นเวลา 90 วัน ผลการสังเกตพฤติกรรมเฟสจะนำมาสร้างเฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม เพื่อบ่งบอกคุณลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงผสม

จากการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวของเชื้อเพลิงผสมทำให้ทราบถึงขอบเขตของเชื้อเพลิงผสมที่มีเสถียรภาพการเป็นของเหลว อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องทราบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลของเชื้อเพลิงผสมตามมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทย โดยเปรียบเทียบกับดีเซลเกรดการค้าที่ขายทั่วไปตามสถานีจ่ายน้ำมัน (ดีเซลผสมเมทิลเอสเทอร์ 7 vol%) เนื่องจากการวัดค่าคุณสมบัติบางค่าจำเป็นต้องใช้เครื่องมือเฉพาะในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานของสมาคมการทดสอบและวัสดุอเมริกัน (American Society for Testing and Materials: ASTM) ตัวอย่างจึงถูกเตรียมและส่งไปทดสอบตามสถานที่ต่างๆ ได้แก่ จุดชุมชน/จุดไหลเท ความหนืดจลนศาสตร์ และค่าความหนาแน่น ส่งไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ค่าความร้อน ส่งไปทดสอบที่ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ค่าซีเทน ส่งไปทดสอบที่สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท. จังหวัด พระนครศรีอยุธยา เพื่อเป็นข้อมูลว่าเชื้อเพลิงผสมมีความเหมาะสมต่อการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลหรือไม่

หลังจากตัวอย่างเชื้อเพลิงที่น่าสนใจผ่านการทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญแล้ว จะนำมาทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เบื้องต้นกับดีเซลเบนแทนทดสอบ โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ชนิดฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น RT100DI PLUS ขนาด 10 แรงม้า ไดนาโมมิเตอร์ ขนาด 12 แรงม้า ในช่วงภาระ 1.28-6.40 kW ที่ความเร็วรอบ 2,200 rpm โดยบันทึกข้อมูล แรงบิด ความเร็วรอบ ระยะเวลาสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทดสอบโดยปริมาตร อุณหภูมิเชื้อเพลิงทดสอบ อุณหภูมิก๊าซไอเสีย และนำข้อมูลทั้งหมดคำนวณ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก เพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจเบื้องต้นสำหรับการใช้งาน



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวร่วมกับคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่
อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงผสมและการทดสอบใช้ในเครื่องยนต์เบื้องต้นสำหรับเชื้อเพลิงผสมที่น่าสนใจ

บทที่ 4

การสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมัน เอสเทอร์ไขมันบางส่วน

วัตถุประสงค์ของบทนี้ เพื่อสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไขมันบางส่วน และการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไขมันบางส่วนภายใต้เงื่อนไขการทำปฏิกิริยาความดันสูงและอุณหภูมิสูงโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

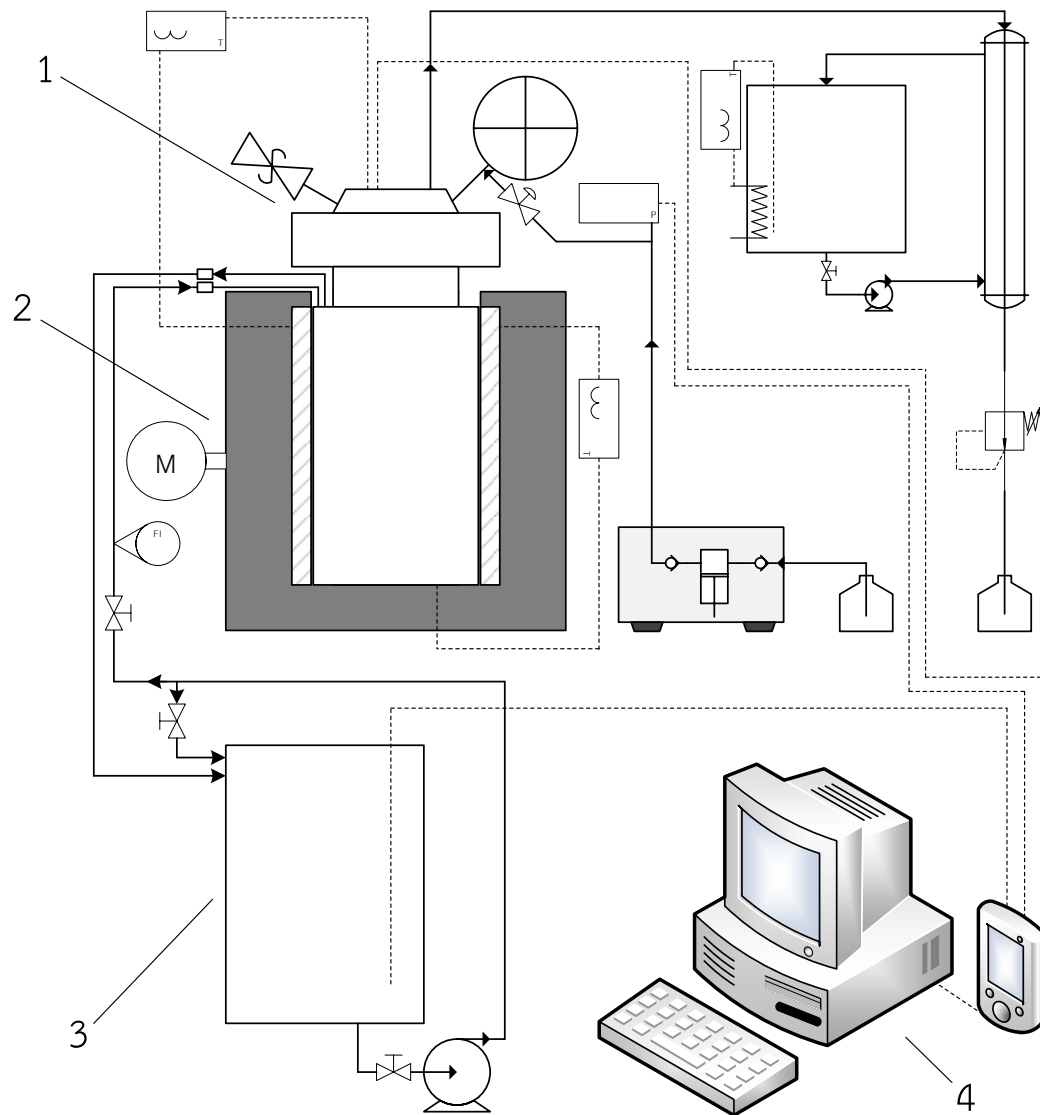
4.1 แนวคิดการสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

เครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไขมันบางส่วนประกอบด้วย 4 หน่วย คือ หน่วยเครื่องปฏิกรณ์ หน่วยให้ความร้อน หน่วยหล่อเย็น และ หน่วยเก็บข้อมูล ดังรูปที่ 4.1 โดยหน่วยเครื่องปฏิกรณ์ มีหน้าที่ให้วัตถุดิบทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไลซิส) โดยมีหน่วยให้ความร้อนประกอบอยู่ภายนอก ทำหน้าที่ให้พลังงานความร้อนแก่หน่วยเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อครบเวลาจะมีหน่วยหล่อเย็นที่อยู่ระหว่างหน่วยเครื่องปฏิกรณ์และหน่วยให้ความร้อน ทำหน้าที่หยุดการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไลซิส) ของสารตั้งต้น โดยมีหน่วยเก็บข้อมูลทำหน้าที่บันทึกข้อมูลที่สำคัญไว้อย่างต่อเนื่อง เพื่อนำมาวิเคราะห์ในลำดับต่อไป

4.1.1 หน่วยเครื่องปฏิกรณ์: ดังรูปที่ 4.2 แสดงแผนภาพไดอะแกรมของหน่วยเครื่องปฏิกรณ์เป็นหน่วยปฏิบัติการที่สำคัญ ในการทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนสารตั้งต้นให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการภายใต้สภาวะความดันสูงและอุณหภูมิสูง (ความดัน 0-200 bar และอุณหภูมิ 50-350°C) โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ประกอบด้วย ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะซึ่งเชื่อมผ่านข้อต่อไปยังชุดหล่อเย็นแบบท่อและยังเชื่อมผ่านข้อต่อไปยังชุดสร้างและควบคุมแรงดัน โดยชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะมีรูปร่างทรงกระบอก รองรับสภาวะความดันและอุณหภูมิข้างต้นได้ สามารถถอดประกอบแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบรรจุวัตถุดิบและส่วนฝา โดยส่วนบรรจุวัตถุดิบมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ทำหน้าที่บรรจุวัตถุดิบเพื่อใช้ผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไขมันบางส่วน ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไลซิส) ด้านบนของส่วนบรรจุวัตถุดิบจะมีส่วนฝาประกอบอยู่ โดยด้านบนของส่วนฝามีวาล์วนิรภัย เกจวัดความดัน และเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิทำปฏิกิริยาประกอบอยู่ โดยวาล์วนิรภัยจะทำหน้าที่ระบายความดัน กรณีความดันในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะเกิน 200 bar ด้านบนของส่วนฝามีข้อต่อเชื่อมไปยังชุดหล่อเย็นแบบท่อที่ทำหน้าที่ป้องกันการอุดตัน ประกอบด้วย เครื่องแลกเปลี่ยน

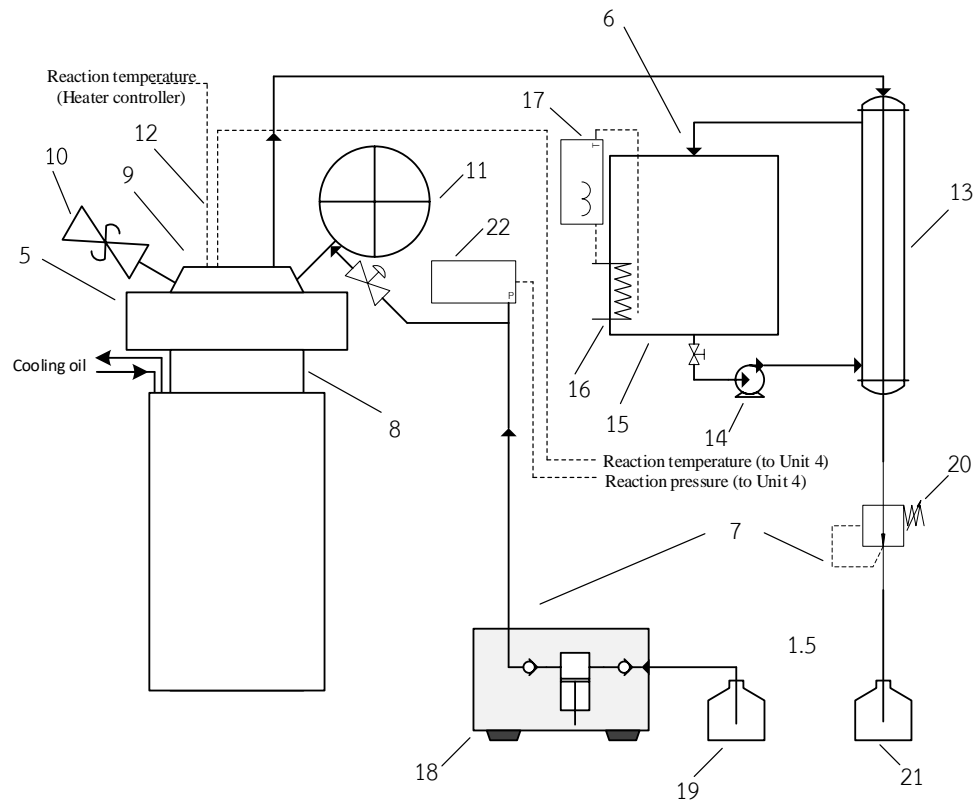
ความร้อนแบบทอสองชั้นทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้น้ำหล่อเย็นดูค้ำจากถังพักน้ำหล่อเย็น ทั้งนี้ถังพักน้ำหล่อเย็นจะมีฮีตเตอร์ประกอบอยู่สำหรับอุ่นน้ำ โดยมีชุดควบคุมอุณหภูมิเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิของน้ำในถังพักน้ำหล่อเย็นให้อยู่ในช่วง 50-60°C ชุดสร้างและควบคุมแรงดัน ทำหน้าที่สร้างแรงดันและควบคุมแรงดันให้แก่ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ซึ่งในการสร้างแรงดันจะมีปั๊มแรงดันสูงทำหน้าที่ปั๊มแอลกอฮอล์เข้าสู่ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะจากภาชนะบรรจุ ส่วนการควบคุมแรงดันจะมีวาล์วความดันต้านกลับ ทำหน้าที่รักษาความดันของชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะตามต้องการด้วยการหมุนเข้าเพื่อเพิ่มความดันหรือหมุนออกเพื่อลดความดันด้วยการระบายวัตถุบอออกสู่ภาชนะบรรจุวัตถุบอส่วนเกิน โดยมีเซนเซอร์วัดความดัน วัดความดันของชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ เพื่อบันทึกค่าความดันในหน่วยเก็บข้อมูล สำหรับการทำปฏิกิริยาที่ความดันตามกำหนด ส่วนเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิทำปฏิกิริยา วัดอุณหภูมิของส่วนบรรจุวัตถุบอ และบันทึกค่าอุณหภูมิทำปฏิกิริยาในหน่วยเก็บข้อมูล และควบคุมการทำงานของหน่วยให้ความร้อน สำหรับการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิตามกำหนด

4.1.2 หน่วยให้ความร้อน : ดังรูปที่ 4.3 แสดงแผนภาพไดอะแกรมของหน่วยให้ความร้อน เป็นหน่วยที่ให้พลังงานความร้อนแก่ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ เพื่อการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไลซิส) ประกอบด้วย ชุดฮีตเตอร์ เชื่อมผ่านข้อต่อเกลียวไปยังชุดปรับระดับ โดยชุดฮีตเตอร์ ประกอบด้วย ฮีตเตอร์หล่อ มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกกลางที่จะถูกเลื่อนระดับให้สวมเข้าและทำหน้าที่ให้ความร้อนกับส่วนบรรจุวัตถุบอ และมีฉนวนกันความร้อน หุ้มรอบฮีตเตอร์หล่อ ที่ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ยังมีส่วนจับยึดฮีตเตอร์หล่อ เพื่อจับยึดในแนวตั้งสำหรับการเลื่อนระดับ ด้านข้างของส่วนจับยึดฮีตเตอร์หล่อจะเชื่อมไปยังชุดปรับระดับด้วยข้อต่อเกลียว โดยชุดปรับระดับ ทำหน้าที่ปรับระดับชุดฮีตเตอร์ให้ขึ้นหรือลงเพื่อการถอดประกอบส่วนบรรจุวัตถุบอ ทั้งนี้ชุดปรับระดับ ประกอบด้วย เพลาปรับระดับ ทำหน้าที่ปรับระดับของชุดฮีตเตอร์ โดยมีเฟืองเกียร์ส่งกำลังจากมอเตอร์ปรับระดับ เพื่อขับเพลาปรับระดับ ส่วนเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิฮีตเตอร์ วัดอุณหภูมิของฮีตเตอร์หล่อ และควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์หล่อ โดยทำงานร่วมกับเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิทำปฏิกิริยา สำหรับการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิตามกำหนด



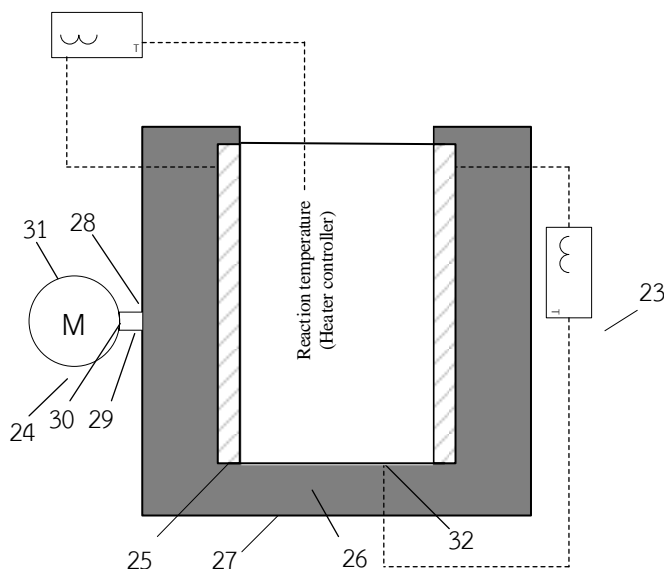
หมายเลข	รายการ
1	หน่วยเครื่องปฏิกรณ์
2	หน่วยให้ความร้อน
3	หน่วยหล่อเย็น
4	หน่วยเก็บข้อมูล

รูปที่ 4.1 แผนภาพไดอะแกรมของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับผลิต
ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไขมันบางส่วน



หมายเลข	รายการ	หมายเลข	รายการ
5	เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ	14	ปั๊มน้ำหล่อเย็น
6	ชุดหล่อเย็นแบบท่อ	15	ถังพักน้ำหล่อเย็น
7	ชุดสร้างและควบคุมแรงดัน	16	ฮีตเตอร์
8	ส่วนบรรจุวัตถุดิบ	17	ชุดควบคุมอุณหภูมิ
9	ส่วนฝา	18	ปั๊มแรงดันสูง
10	วาล์วนิรภัย	19	ภาชนะบรรจุ
11	เกจวัดความดัน	20	วาล์วความดันต้านกลับ
12	เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิทำปฏิกิริยา	21	ภาชนะบรรจุวัตถุดิบส่วนเกิน
13	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น	22	เซนเซอร์วัดความดัน

รูปที่ 4.2 แผนภาพไดอะแกรมของหน่วยเครื่องปฏิกรณ์

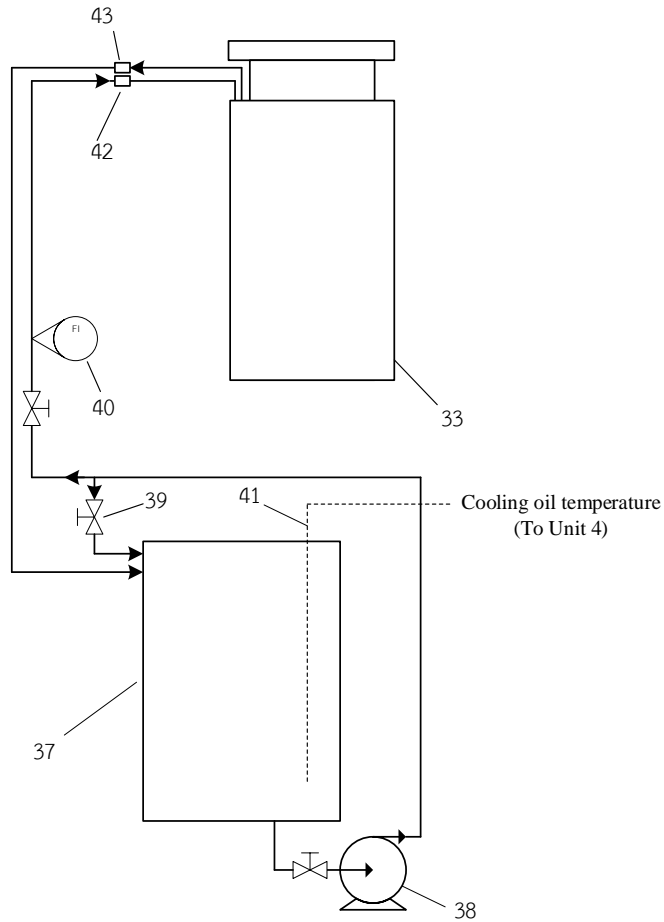


หมายเลข	รายการ	หมายเลข	รายการ
23	ชุดฮีตเตอร์	28	ข้อต่อเกลียว
24	ชุดปรับระดับ	29	เพลลาปรับระดับ
25	ฮีตเตอร์หล่อ	30	เฟืองเกียร์
26	ฉนวนกันความร้อน	31	มอเตอร์ปรับระดับ
27	ส่วนจับยึดฮีตเตอร์หล่อ	32	เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิฮีตเตอร์

รูปที่ 4.3 แผนภาพไดอะแกรมของหน่วยให้ความร้อน

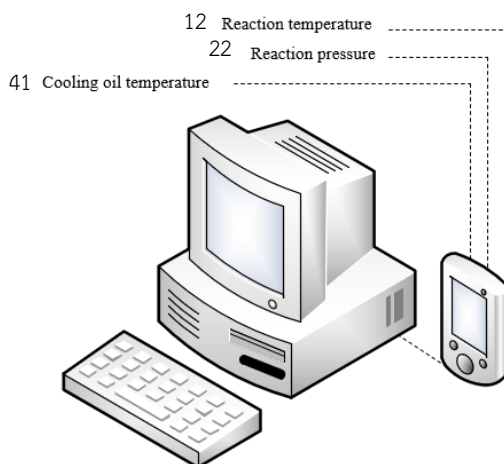
4.1.3 หน่วยหล่อเย็น: ดังรูปที่ 4.4 แสดงแผนภาพไดอะแกรมของหน่วยหล่อเย็น ทำหน้าที่หลักในการหยุดการทำปฏิกิริยาเมื่อถึงเวลาที่กำหนด โดยใช้ น้ำมันถ่ายเทความร้อนเป็นสารหล่อเย็น ประกอบด้วย เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สวมติดอยู่ภายนอกกับส่วนบรรจุวัสดุดิบ โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก โดยภายในผนังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมี ครีบจัดเรียงแบบสลับฟันปลาอยู่ภายในทั่วผนัง เพื่อกำหนดช่องทางการไหลของน้ำมันถ่ายเทความร้อนและให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น ด้านบนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีท่อทางเข้า สำหรับให้น้ำมันถ่ายเทความร้อนที่มีอุณหภูมิปกติเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากนั้นน้ำมันถ่ายเทความร้อนที่มีอุณหภูมิปกติจะไหลวนขึ้นผ่านครีบจัดเรียงแบบสลับฟันปลาและน้ำมันถ่ายเทความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ผ่านทางท่อทางออกไปยังถังพักน้ำมันถ่ายเทความร้อน สำหรับท่อทางเข้า จะรับน้ำมันถ่ายเทความร้อนจากถังพักน้ำมันถ่ายเทความร้อน ด้วยการปั๊มจากปั๊มน้ำมันถ่ายเทความร้อน โดยมีชุดวาล์วปรับอัตราการไหล ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของน้ำมันถ่ายเทความร้อน และมีโรตารีมิเตอร์ สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำมันถ่ายเทความร้อน ภายใน

ถังพักน้ำมันถ่ายเทความร้อน จะมีเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมันถ่ายเทความร้อนอยู่ภายใน เพื่อวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำมันถ่ายเทความร้อนในหน่วยเก็บข้อมูล ทั้งนี้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถอดประกอบออกจากถังพักน้ำมันถ่ายเทความร้อน ได้ด้วยข้อต่อทางเข้าและข้อต่อทางออก



หมายเลข	รายการ	หมายเลข	รายการ
33	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	40	โรตاميเตอร์
35	ท่อทางเข้า	41	เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ
37	ถังพักน้ำมันถ่ายเทความร้อน	42	ข้อต่อทางเข้า
38	ปั้มน้ำมันถ่ายเทความร้อน	43	ข้อต่อทางออก
39	ชุดวาล์วปรับอัตราการไหล		

รูปที่ 4.4 แผนภาพไดอะแกรมของหน่วยหล่อเย็น



หมายเลข	รายการ
12	เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ
22	เซนเซอร์วัดความดัน
41	เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมันถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 4.5 แผนภาพไดอะแกรมของหน่วยเก็บข้อมูล

4.1.4 หน่วยเก็บข้อมูล: ดังรูปที่ 4.5 แสดงแผนภาพไดอะแกรมของหน่วยเก็บข้อมูล ทำหน้าที่เก็บข้อมูลการผลิตในช่วงเวลาต่างๆ ได้อย่างถูกต้องแม่นยำด้วย ชุดคอมพิวเตอร์ร่วมกับชุดเครื่องวัดและบันทึกข้อมูล (Data-logger) และแสดงผลผ่านหน้าจอ ทั้งนี้ชุดเครื่องวัดและบันทึกข้อมูลนี้จะมีซอฟต์แวร์เก็บรวบรวม และประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความดัน เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิทำปฏิกิริยา และเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมันถ่ายเทความร้อน

4.2 ผลการสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

รูปที่ 4.6 แสดงเครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับการผลิตส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพนบางส่วนที่สร้างเสร็จสมบูรณ์ และรูปที่ 4.7 แสดงแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับการผลิตส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพนบางส่วน ประกอบด้วย 4 หน่วย คือ หน่วยเครื่องปฏิกรณ์ หน่วยให้ความร้อน หน่วยหล่อเย็น และหน่วยเก็บข้อมูล (โดยหน่วยเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งทั้ง 4 หน่วยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

รูปที่ 4.8 หน่วยเครื่องปฏิกรณ์ ทำหน้าที่หลักคือ เป็นส่วนของการทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนสารตั้งต้นให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ภายใต้สภาวะความดันสูงและอุณหภูมิสูงโดยไม่ใช้ตัวเร่ง

ปฏิกิริยา ประกอบด้วย ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะเชื่อมผ่านข้อต่อไปยังชุดหล่อเย็นแบบท่อ และยังเชื่อมผ่านข้อต่อไปยังชุดสร้างและควบคุมแรงดัน โดยชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะสามารถถอดประกอบแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนบรรจุวัตถุดิบ และส่วนฝา โดยส่วนบรรจุวัตถุดิบ ทำจากวัสดุสแตนเลส 316 มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ขนาด 2 ลิตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง 115 mm และสูง 280 mm) ที่สามารถรองรับสภาวะความดันและอุณหภูมิใช้งานสูงสุด 200 bar และ 350°C ตามลำดับ ด้านบนของส่วนบรรจุวัตถุดิบจะมีส่วนฝาประกอบอยู่ โดยด้านบนของส่วนฝามีวาล์วนิรภัย เกจวัดความดัน และเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิทำปฏิกิริยา ชนิด k type ที่ควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล ยี่ห้อ DIGICON รุ่น MD-400A ด้านบนของส่วนฝามีข้อต่อเชื่อมไปยังชุดหล่อเย็นแบบท่อ ซึ่งประกอบด้วย เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น ขนาดความยาว 370 mm โดยท่อชั้นนอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm และท่อชั้นในทำจากวัสดุสแตนเลส 316 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 mm และหนา 1.5 mm (ความดันใช้งาน 793 bar ที่ S.F.=4) โดยมีปั้มน้ำหล่อเย็น ขนาด 50 วัตต์ ดึงน้ำจากถังพักน้ำหล่อเย็น ขนาด 10 ลิตร เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น ทั้งนี้ถังพักน้ำหล่อเย็นจะมีฮีตเตอร์ ขนาด 2,000 วัตต์ และชุดวัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิ้ล type k ที่ควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิทัล ยี่ห้อ DIGICON รุ่น MD-400A ประกอบอยู่ สำหรับชุดสร้างและควบคุมแรงดันจะมีปั้มน้ำแรงดันสูง HPLC Pump รุ่น Series-I Pump ทำหน้าที่ปั้มน้ำหรือแอลกอฮอล์เข้าสู่ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะจากภาชนะบรรจุ ส่วนการควบคุมแรงดันจะมีวาล์วความดันต้านกลับ ยี่ห้อ GO Regulator รุ่น BP-60 Series ทำหน้าที่รักษาความดันของชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะตามต้องการ นอกจากนี้ มีเซนเซอร์วัดความดัน ยี่ห้อ SIEMENS รุ่น SITRANS P220 และเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิทำปฏิกิริยา ชนิด k type สำหรับวัดความดันและอุณหภูมิของส่วนบรรจุวัตถุดิบ เพื่อบันทึกในหน่วยเก็บข้อมูล

รูปที่ 4.9 หน่วยให้ความร้อน เป็นหน่วยให้พลังงานความร้อนแก่ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ เพื่อการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไลซิส) ประกอบด้วย ชุดฮีตเตอร์ ซึ่งเชื่อมผ่านข้อต่อเกลียวไปยังชุดปรับระดับ โดยชุดฮีตเตอร์ ประกอบด้วย ฮีตเตอร์หล่อ ขนาด 3,000 วัตต์ ทำจากวัสดุทองเหลือง มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกกลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 180 mm หนา 20 mm และสูง 225 mm และมีฉนวนกันความร้อน หนา 50 mm หุ้มรอบฮีตเตอร์หล่อ นอกจากนี้ ยังมีส่วนจับยึดฮีตเตอร์หล่อ เพื่อการจับยึดในแนวตั้งสำหรับการเลื่อนระดับ ด้านข้างของส่วนจับยึดฮีตเตอร์หล่อ จะเชื่อมไปยังชุดปรับระดับด้วยข้อต่อเกลียว ขนาด 32.5 mm ทั้งนี้ชุดปรับระดับ ประกอบด้วย เพลาปรับระดับ ทำจากสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32.5 mm โดยมีเฟืองเกียร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 mm จำนวน 2 ตัว ส่งกำลังจากมอเตอร์ปรับระดับ ซึ่งเป็น

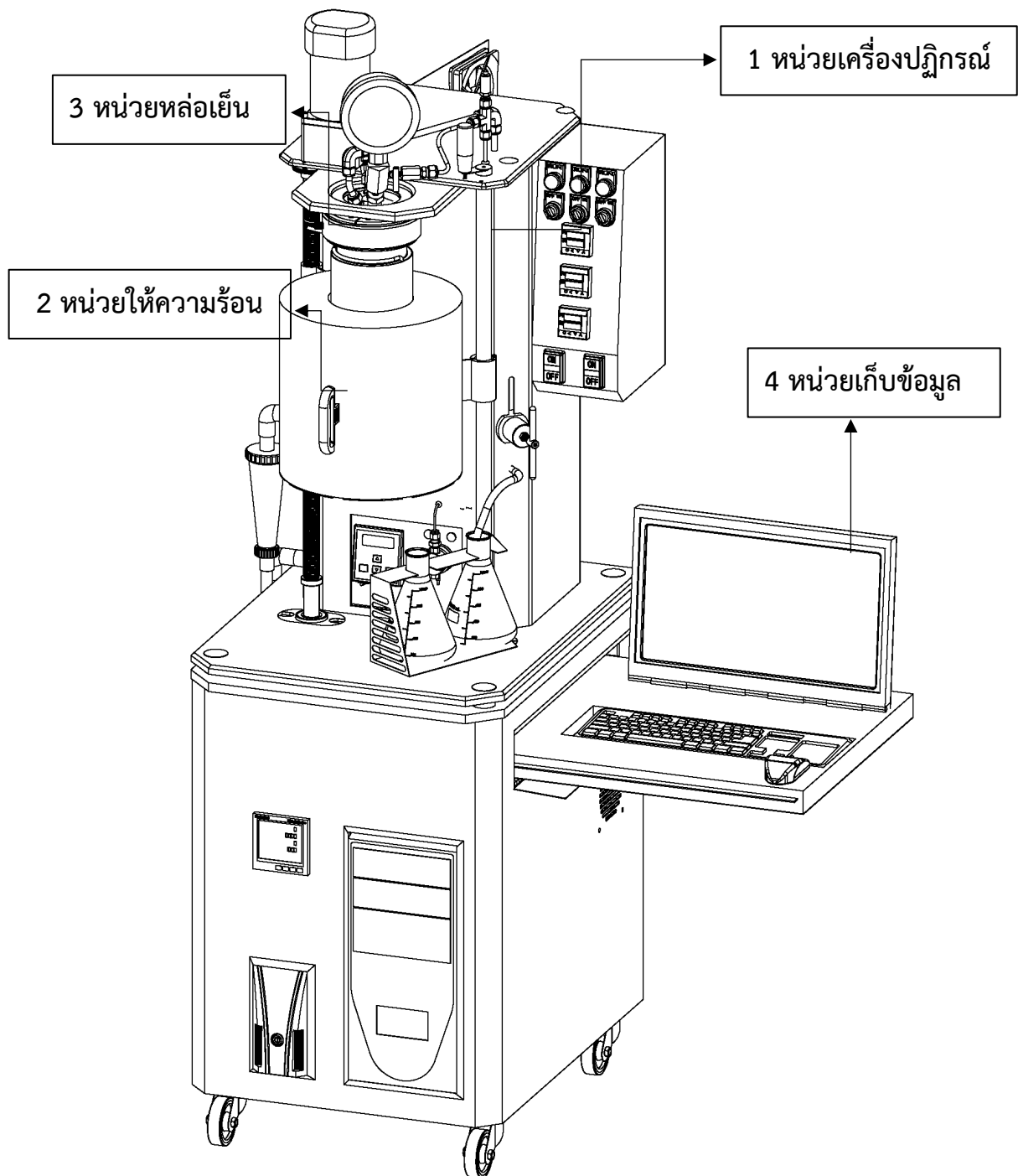
มอเตอร์เกียร์ ขนาด 120 วัตต์ ยี่ห้อ ZHENGE รุ่น 6RK120GU-C ไปยังเพลลาปรับระดับ นอกจากนี้ มี เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิฮีตเตอร์ เป็นเทอร์โมคัปเปิ้ล type k และเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบ ดิจิตอล ยี่ห้อ DIGICON รุ่น MD-400A สำหรับวัดอุณหภูมิและควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์หล่อ

รูปที่ 4.10 หน่วยหล่อเย็น ทำหน้าที่หลักในการหยุดการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไลซิส) เมื่อครบเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่กำหนด โดยใช้ น้ำมันถ่ายเทความร้อนเป็นสารหล่อเย็น ประกอบด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่สวมติดอยู่ภายนอกกับส่วนบรรจุวัตถุดิบ โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอก 115 mm และ 134 mmตามลำดับ และสูง 131 mm โดยภายในผนังของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีครีบบัดเรียงแบบสลับฟันปลา ระยะห่างแต่ละอัน 65 mm สำหรับท่อทางเข้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 mm จะรับน้ำมันถ่ายเทความร้อนจากถังพักน้ำมันถ่ายเทความร้อน ที่มีขนาด 20 ลิตร ด้วยปั้มน้ำมันถ่ายเทความร้อน ขนาด 370 วัตต์ ยี่ห้อ TORQUE รุ่น TM50N (ปั้มหอยโข่งแบบใบพัดเดี่ยว) และมีชุดวาล์วปรับอัตราการไหล ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของน้ำมันถ่ายเทความร้อน และมีโรตาริเตอร์ ยี่ห้อ TREATTON รุ่น Z-3003 สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำมันถ่ายเทความร้อน ภายในถังพักน้ำมันถ่ายเทความร้อน มีเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิน้ำมันถ่ายเทความร้อนแบบเทอร์โมคัปเปิ้ล type k อยู่ภายในเพื่อวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำมันถ่ายเทความร้อนในหน่วยเก็บข้อมูล ทั้งนี้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สามารถถอดประกอบออกจากถังพักน้ำมันถ่ายเทความร้อนได้ด้วยข้อต่อเกลียว ขนาด M18 ที่ข้อต่อทางเข้า และข้อต่อทางออก

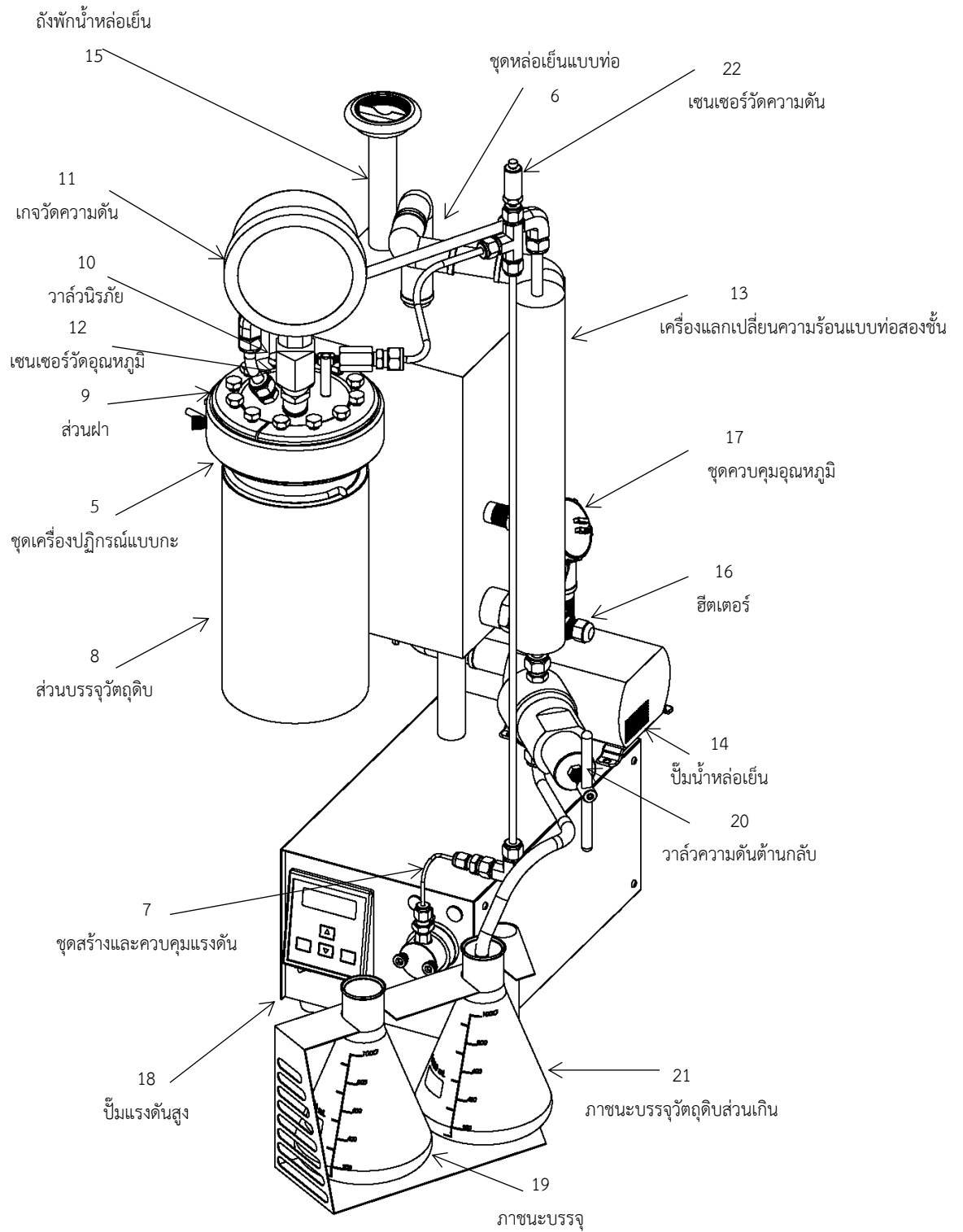
รูปที่ 4.6 หน่วยเก็บข้อมูล ทำหน้าที่หลักในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความดันทำปฏิกิริยาตลอดช่วงการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ โดยใช้ร่วมกับบันทึกข้อมูล (Data-logger) ยี่ห้อ WISCO รุ่น AI210 และแสดงผลผ่านหน้าจอ ขนาด 16 นิ้ว



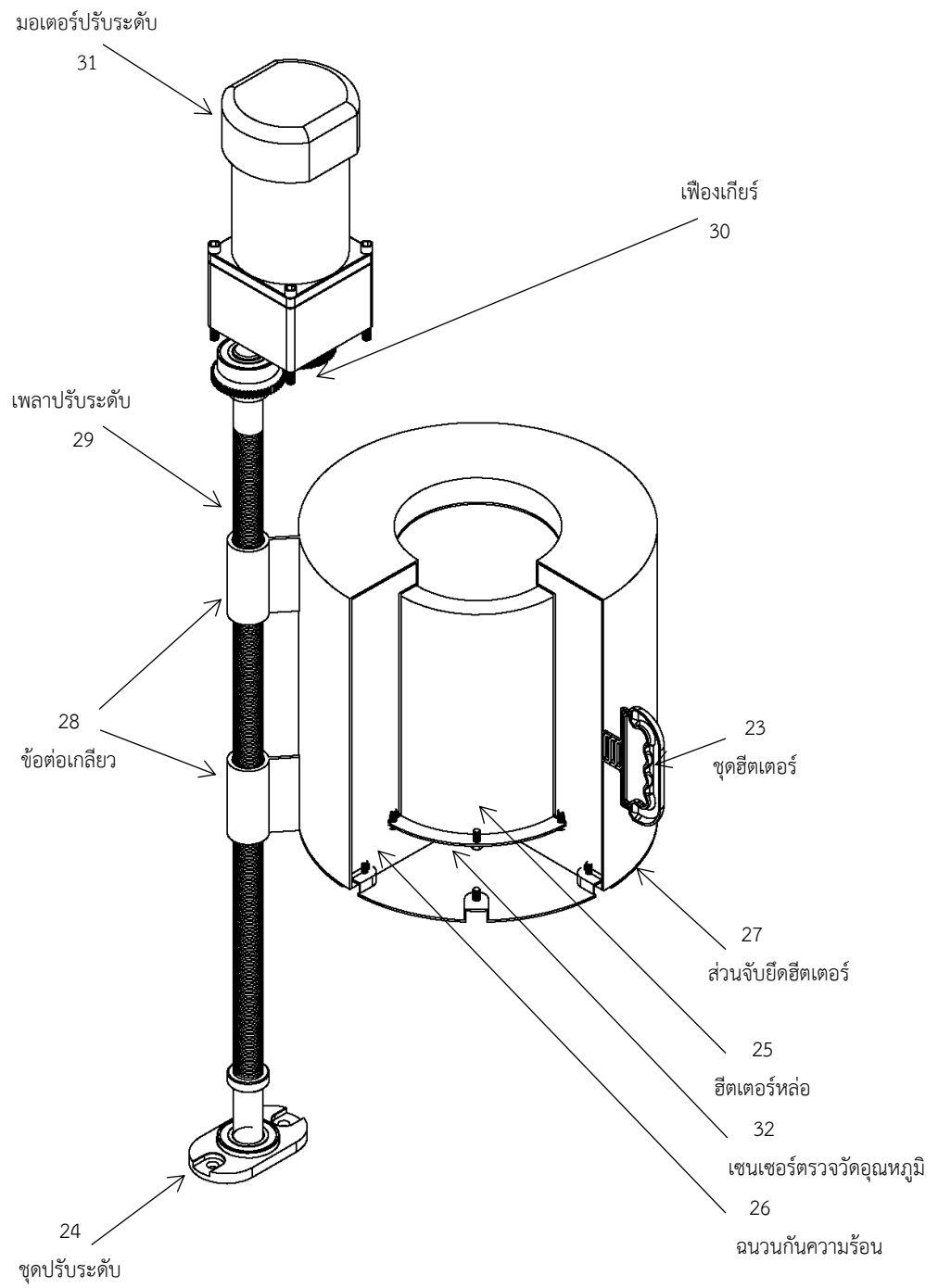
รูปที่ 4.6 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับผลิตส่วนกลั่นกรดไฮพอลิมเอสเตอร์ไฟน์บางส่วนที่สร้างจริง



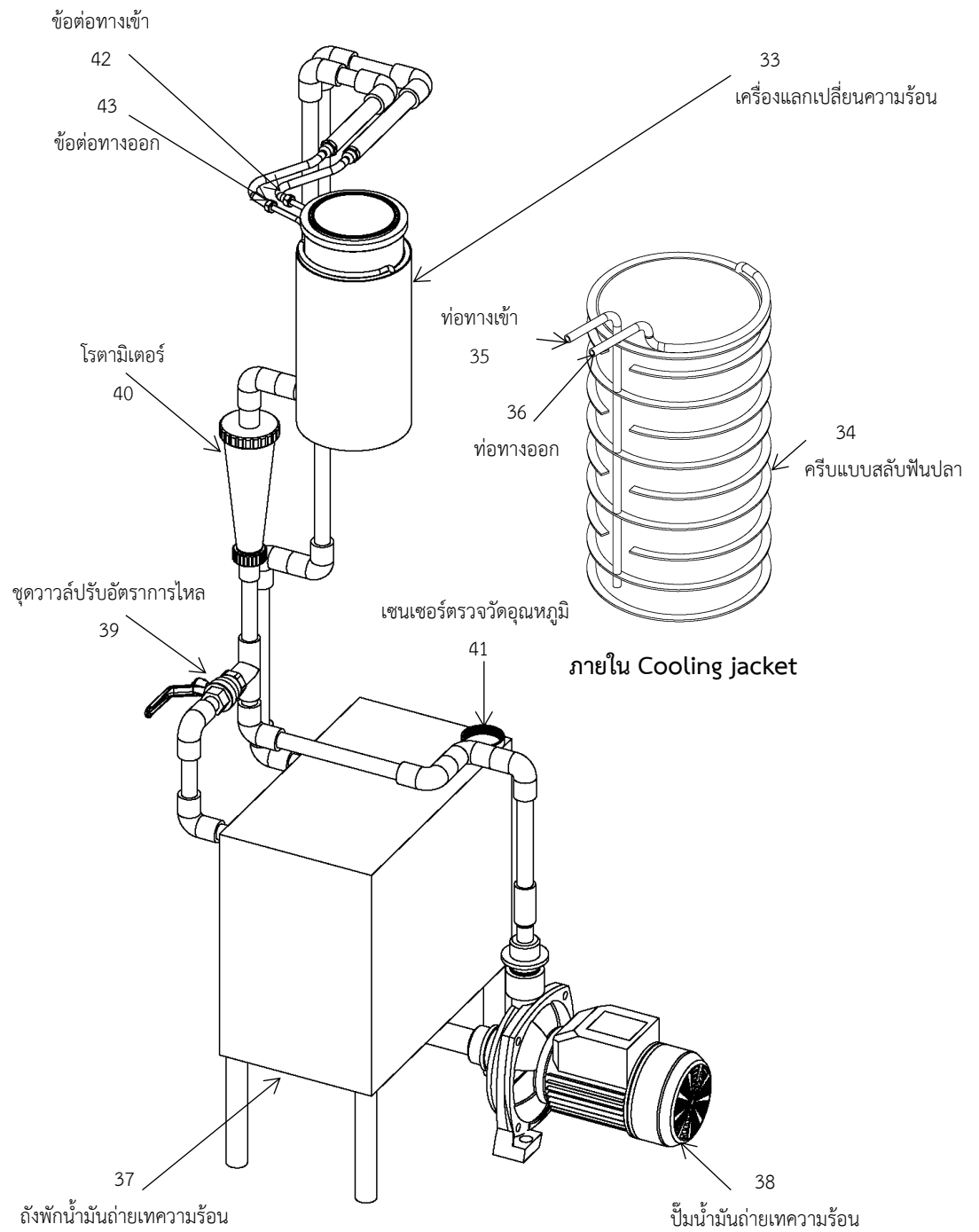
รูปที่ 4.7 แบบเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ



รูปที่ 4.8 แบบหน่วยเครื่องปฏิกรณ์



รูปที่ 4.9 แบบหน่วยให้ความร้อน

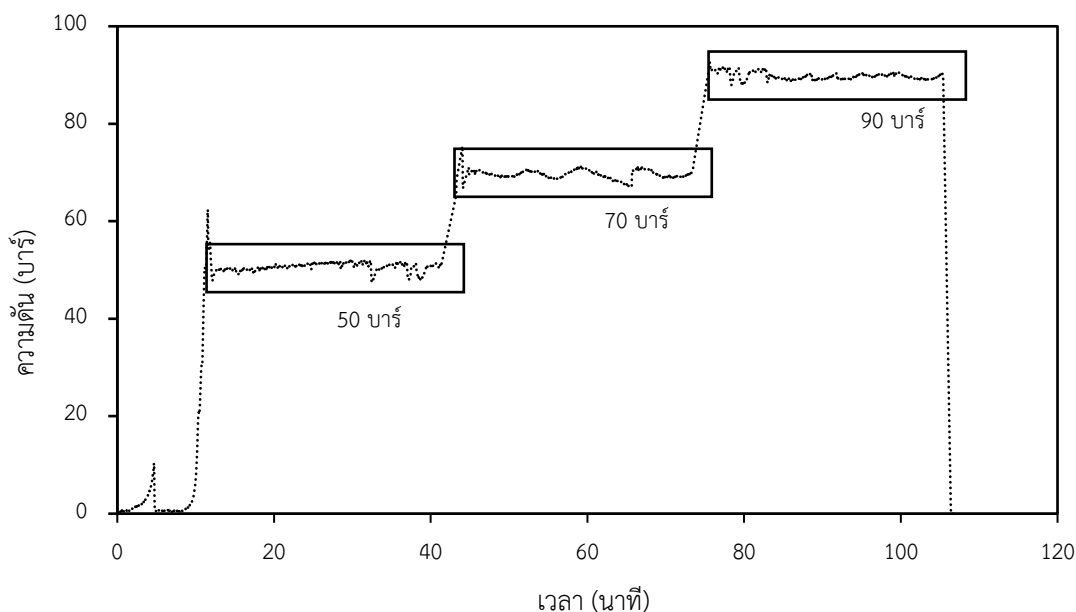


รูปที่ 4.10 แบบหน่วยหล่อเย็น

4.3 การทดสอบเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

เมื่อการสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับผลิตส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วนแล้วเสร็จ การทดสอบระบบการทำงานเป็นขั้นตอนถัดมาที่สำคัญ โดยแบ่งออกเป็น 4 รายการ ดังนี้

4.3.1 การทดสอบหน่วยเครื่องปฏิกรณ์ : เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์เป็นภาชนะรองรับความดันที่เกิดขึ้นในช่วงการทำปฏิกิริยาจึงต้องมีการตรวจสอบรอยรั่วที่อาจเกิดขึ้น และทดสอบการทำงานของปั๊มแรงดันสูงที่ทำหน้าที่รักษาความดันตลอดช่วงทำปฏิกิริยา ซึ่งวิธีการทดสอบสำหรับหน่วยเครื่องปฏิกรณ์ จะใช้น้ำสะอาดเป็นวัตถุทดสอบโดยใส่ในถังปฏิกรณ์ ประมาณ 2 ลิตร จากนั้นปิดฝาถังปฏิกรณ์โดยการขันอัดให้แน่น แล้วเปิดระบบทำงานปั๊มแรงดันสูงทดสอบแรงดัน 3 ระดับ คือ 50, 70 และ 90 bar ด้วยการปรับระดับค่าความดันจากวาล์วความดันด้านกลับ และเมื่อความดันในระบบถึงค่าที่กำหนดไว้จะทำการตรวจสอบหารอยรั่วซึมตามจุดเชื่อมต่อต่างๆ พร้อมทั้งตรวจดูค่าความดันในระบบจากเกจวัดความดันโดยจะต้องไม่ลดลงในช่วงเวลาไม่น้อยกว่า 10% ซึ่งจากการทดสอบไม่พบการรั่วซึม และได้ทำการเก็บข้อมูลบันทึกผล ดังรูปที่ 4.11



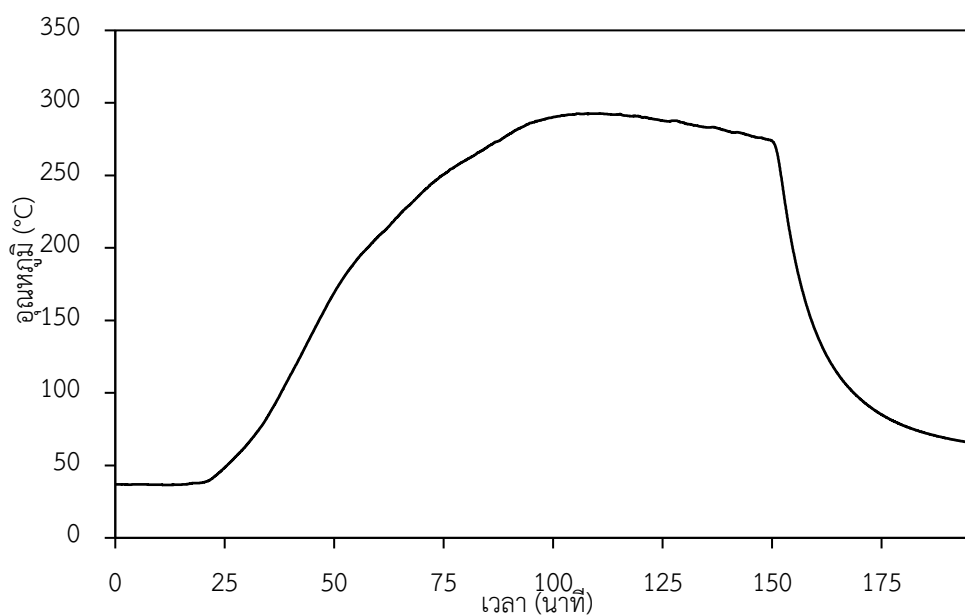
รูปที่ 4.11 กราฟการทดสอบหน่วยเครื่องปฏิกรณ์

ผลการทดสอบ: จากรูปที่ 4.11 พบว่าปั๊มแรงดันสูง HPLC Pump รุ่น Series-I Pump ใช้เวลาเพิ่มความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ด้วยอัตราการไหล 9 ml/s จาก 0 ถึง 50 bar ใช้เวลา 11 นาที โดยในช่วงความดัน 0 ถึง 5 bar ใช้เวลาถึง 10 นาที เมื่อความดันสูงกว่า 5 bar ความดันจะเพิ่มขึ้นอย่าง

รวดเร็ว ที่ความดัน 50 bar พบว่ามีความดันเฉลี่ย 50.7 ± 1.2 bar หลังจากนั้นใช้ปั๊มเพิ่มความดันที่ 70 bar ใช้เวลา 2 นาที 6 วินาที พบว่ามีความดันเฉลี่ย 69.6 ± 1.0 bar หลังจากนั้นใช้ปั๊มเพิ่มความดันที่ 90 bar ใช้เวลา 1 นาที 48 วินาที พบว่ามีความดันเฉลี่ย 89.8 ± 0.8 bar

4.3.2 การทดสอบหน่วยให้ความร้อน : เป็นหน่วยให้พลังงานแก่หน่วยเครื่องปฏิกรณ์ ใช้วัตถุดิบคือ PFAD : เอทานอล ที่สัดส่วนโดยโมล 1:2 ตามลำดับ โดยจะเริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิภายในเท่ากับ 275°C เป็นเวลา 60 นาที และมีการตั้งอุณหภูมิไว้ 2 ตำแหน่ง คือ ชุดฮีตเตอร์หล่อ และภายในถังปฏิกรณ์ โดยตั้งอุณหภูมิชุดฮีตเตอร์หล่อสูงกว่าอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์ประมาณ 50°C เพื่อให้ความร้อนถ่ายเทไปยังถังปฏิกรณ์ในระยะเวลาที่น้อยลง นอกจากนี้ เมื่ออุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์ถึงค่าที่กำหนดระบบจะสั่งตัดการทำงานของชุดฮีตเตอร์หล่อ แต่เมื่ออุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์มีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนด (275°C) มากกว่า 5°C ระบบจะเปิดการทำงานของชุดฮีตเตอร์หล่ออีกครั้งเพื่อให้อุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์กลับสู่ค่าที่กำหนดไว้ เป็นการรักษาระดับอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์ให้คงที่ตลอดช่วงการทำปฏิกิริยา จากนั้นเปิดระบบฮีตเตอร์หล่อโดยตั้งอุณหภูมิภายในฮีตเตอร์หล่อที่ 325°C และตั้งอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์ที่ 275°C ใช้เวลา 60 นาที ตลอดการทดสอบได้ทำการเก็บข้อมูลบันทึกผล ดังรูปที่ 4.12

ผลการทดสอบ: จากรูปที่ 4.12 พบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิจาก 37°C ถึง 275°C ใช้เวลา 88 นาที มีอัตราการให้ความร้อน $2.7^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$ หลังจากนั้นเริ่มจับเวลา 60 นาที มีอุณหภูมิเฉลี่ย $286.4 \pm 5.2^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.12 กราฟการทดสอบหน่วยให้ความร้อน

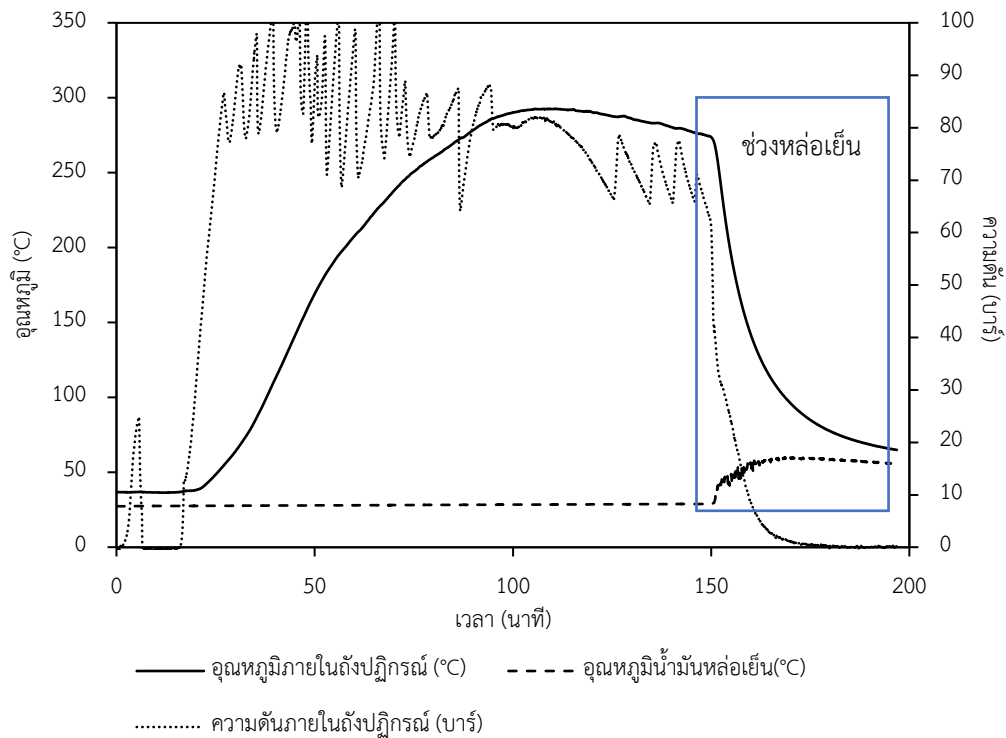
4.3.3 การทดสอบหน่วยหล่อเย็น : เป็นหน่วยสำหรับการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ภายในถังปฏิกรณ์เพื่อหยุดการเกิดปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไลซิส) ในระบบ โดยการทดสอบหน่วยหล่อเย็นจะเป็นส่วนต่อเนื่องจากการทดสอบหน่วยให้ความร้อน ใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อนเป็นสารหล่อเย็น โดยมีปั๊มน้ำมันถ่ายเทความร้อนทำหน้าที่สูบ/จ่ายน้ำมันถ่ายเทความร้อน ผ่านชุด Cooling jacket ที่สวมประกบถังปฏิกรณ์ เพื่อรับพลังงานความร้อนจากถังปฏิกรณ์ไปสู่ถังพักน้ำมันถ่ายเทความร้อน โดยในการทดสอบหน่วยหล่อเย็นจะมี 2 ขั้นตอนดังนี้

- เปิดระบบหล่อเย็นก่อนการทดสอบหน่วยให้ความร้อน เพื่อตรวจสอบการทำงานของปั๊มน้ำมันถ่ายเทความร้อนและตรวจสอบการรั่วซึมตามจุดเชื่อมต่อต่างๆ เช่น ชุด Cooling jacket และข้อต่อท่อน้ำมันถ่ายเทความร้อน

- เปิดระบบหล่อเย็นหลังการทดสอบหน่วยให้ความร้อน เพื่อตรวจสอบอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำมันถ่ายเทความร้อนเสมือนทดลองจริง โดยเก็บข้อมูลจากการทดสอบที่ 4.3.2 การทดสอบหน่วยให้ความร้อน ดังรูปที่ 4.13

ผลการทดสอบ : จากรูปที่ 4.13 พบว่าสามารถลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิ 275.3 °C ความดัน 66.1 bar เป็น อุณหภูมิ 65 °C ความดัน 0 bar ใช้เวลาทั้งสิ้น 48 นาที 33 วินาที มีอัตราการหล่อเย็น 4.3 °C/min โดยในช่วงอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ 275.3-100 °C มีการลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์และน้ำมันหล่อเย็นสูงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่ออุณหภูมิผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า 100 °C พบว่าการลดลงของอุณหภูมิช้ากว่าเดิมอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์และน้ำมันหล่อเย็นต่ำลงจึงใช้เวลานานในการลดอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์ให้ต่ำกว่า 65 °C

4.3.4 การทดสอบหน่วยเก็บข้อมูล : เป็นหน่วยที่รวบรวมข้อมูลในการทำปฏิกิริยา ผ่านชุดอุปกรณ์ PC-based-data-logger ที่แปลงข้อมูลมาเก็บบันทึกในชุดคอมพิวเตอร์ โดยสามารถตั้งเวลาการเก็บค่าบันทึกผลได้สูงสุดที่ 1 วินาที แต่เนื่องจากการผลิตส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเตอร์ไฟน์บางส่วนจะใช้เวลาไม่ต่ำกว่า 3 ชั่วโมง หรือ 180 นาที ดังนั้นจึงตั้งค่าการเก็บข้อมูลที่ 3 วินาที โดยในการทดสอบหน่วยเก็บข้อมูลจะเปรียบเทียบค่าที่แสดงในชุดโปรแกรมการเก็บข้อมูลและค่าที่เกิดขึ้นจริงเพื่อแสดงถึงความแม่นยำในการเทียบวัด นอกจากนี้จะทดสอบการบันทึกผลที่เกิดขึ้นจริงในช่วงการทดสอบของหน่วยเครื่องปฏิกรณ์ หน่วยให้ความร้อน และหน่วยหล่อเย็น ดังรูปที่ 4.14

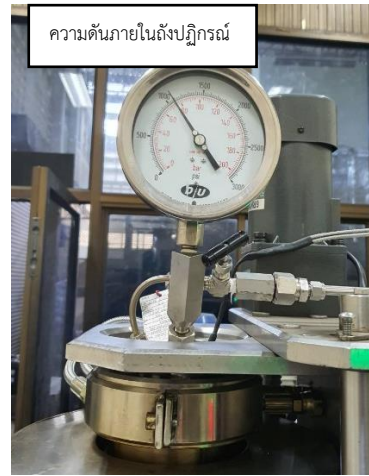


รูปที่ 4.13 กราฟการทดสอบหน่วยหล่อเย็น

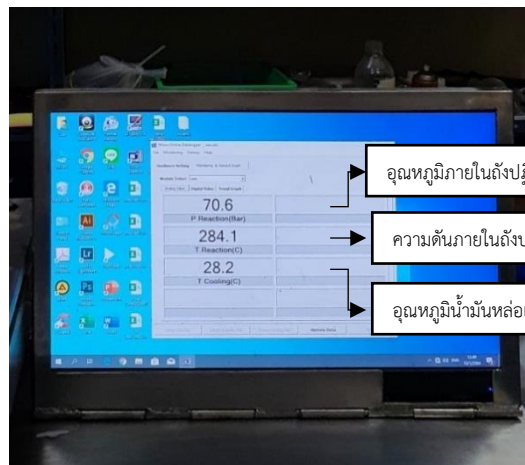
ผลการทดสอบ : จากรูปที่ 4.14 (ก)-(ง) พบว่าหน่วยเก็บข้อมูลสามารถจัดเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยบันทึกข้อมูลในรูปแบบ Excel File ทำให้ง่ายต่อการประมวลผล ทั้งนี้ยังมีข้อจำกัดในส่วนองปริมาณข้อมูลที่บันทึกได้ไม่เกิน 10,000 ค่า ส่งผลให้ต้องบันทึกข้อมูลห่างกันครั้งละ 3 วินาที เพื่อให้สามารถจัดเก็บข้อมูลได้ครบถ้วน



(ก)



(ข)



(ค)

	A	B	C	D	E	F
1	Wisco Datalogger					
2	Test System 1					
3	Store Time	0:00:03				
4	Start Time	15/08/2563 09:51:37				
5	Record Count	4234				
6	Date	Time	P Reaction(Bar)	T Reaction(C)	T Cooling(C)	
7	15/08/2020	9:51:38	0.299	40.4	27.8	
8	15/08/2020	9:51:42	0.399	40.4	27.8	
9	15/08/2020	9:51:46	0.2	40.4	27.8	
10	15/08/2020	9:51:50	0.499	40.4	27.8	
11	15/08/2020	9:51:54	0.399	40.4	27.8	
12	15/08/2020	9:51:58	0.399	40.3	27.8	
13	15/08/2020	9:52:02	0.399	40.4	27.8	
14	15/08/2020	9:52:06	0.299	40.3	27.8	
15	15/08/2020	9:52:10	0.499	40.3	27.9	
16	15/08/2020	9:52:14	0.698	40.3	27.8	

(ง)

รูปที่ 4.14 การบันทึกผลที่เกิดขึ้นจริงในระหว่างการทดสอบ

- (ก) อุณหภูมิฮีทเตอร์, อุณหภูมิภายในถังปฏิกิริยา และอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็น (Black pressure) ที่แสดงบนจอแสดงผลแผงควบคุม
- (ข) ความดันภายในถังปฏิกิริยาที่แสดงบนเกจวัดความดัน
- (ค) ความดันภายในถังปฏิกิริยา, อุณหภูมิภายในถังปฏิกิริยา และอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็นที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์
- (ง) ความดันภายในถังปฏิกิริยา, อุณหภูมิภายในถังปฏิกิริยา และอุณหภูมิน้ำมันหล่อเย็น บันทึกหน่วยเก็บข้อมูลในรูปแบบ Excel File

4.4 วัสดุและวิธีการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน

ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมัน (PFAD) เอทานอลชนิดไม่มีน้ำเกรดการค้าความบริสุทธิ์ 99.9% และบิวทานอลชนิดไม่มีน้ำเกรดการค้าความบริสุทธิ์ 99.4% เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วนด้วยปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไลซิส) ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมัน ซึ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมันอิสระ ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมนอกไลเซอไรด์ เท่ากับ 93.8 1.9 2.2 และ 2.1 wt.% ตามลำดับ ซื้อมาจาก บริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันพืช จำกัด ตำบลห้างสูง อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี เอทานอลชนิดไม่มีน้ำ และบิวทานอลชนิดไม่มีน้ำซื้อมาจาก บริษัท แกรททิทูด อินฟิไนท์ จำกัด (มหาชน)

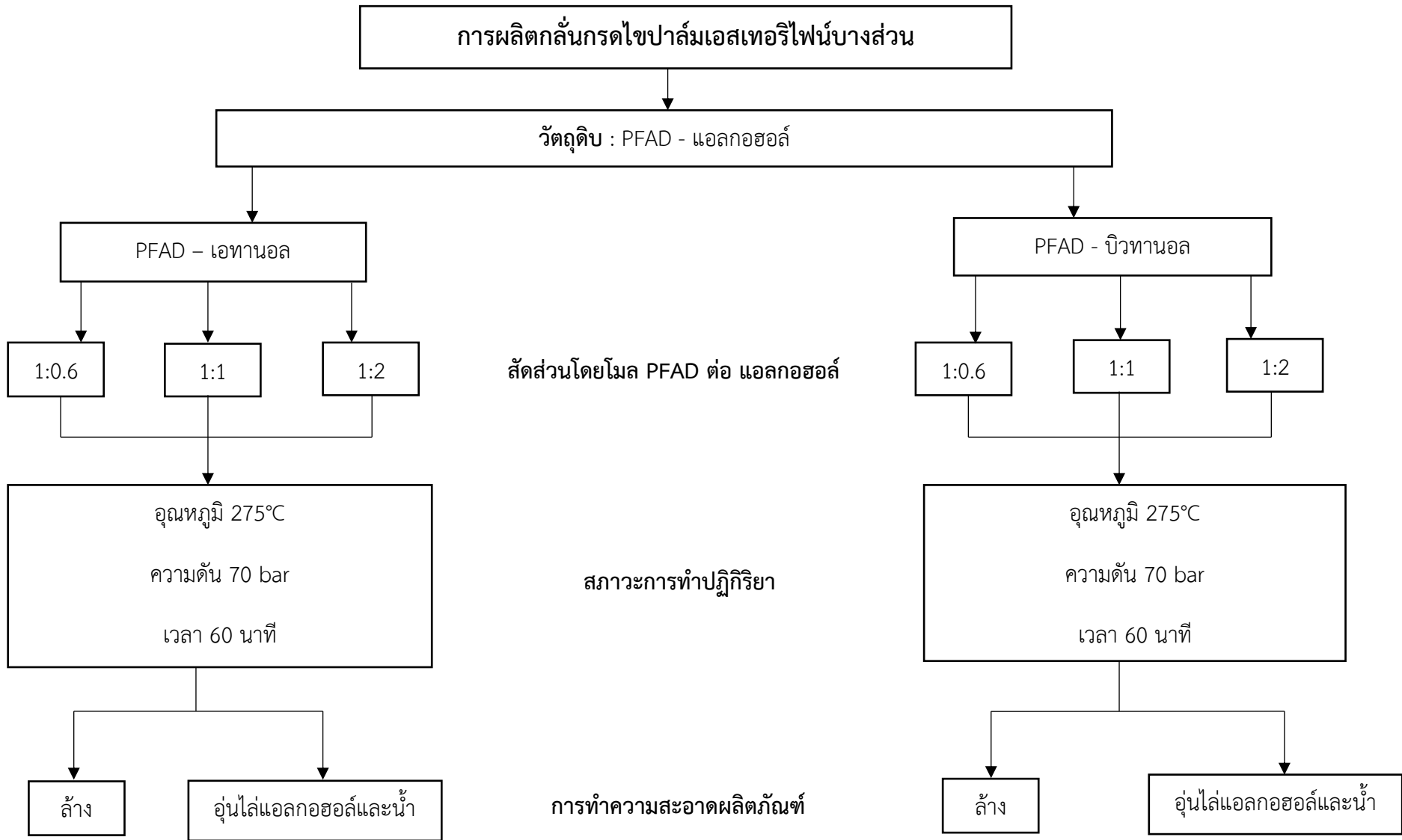
สำหรับ PFAD ก่อนเข้ากระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน PFAD จะถูกล้างให้สะอาด ด้วยขั้นตอนดังนี้ ซึ่ง PFAD 1.0 kg ในปิกเกอร์ขนาด 2,000 ml แล้วนำไปอุ่นบนเตาให้ความร้อน (hot plate) จนกระทั่ง PFAD ละลายเป็นของเหลวทั้งหมด จากนั้นเติมน้ำ 0.5 kg ลงไปแล้วกวนส่วนผสมด้วยใบกวนชนิด 6-blade disk turbine ที่ความเร็วรอบ 250-300 rpm โดยควบคุมอุณหภูมิ $\approx 100^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นวางทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาทีเพื่อให้ น้ำแยกออกจาก PFAD แล้วถ่ายน้ำทิ้ง และล้างซ้ำอีก 1 รอบ จากนั้นทำการอุ่นไล่น้ำที่อุณหภูมิ $\approx 120^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที สุดท้ายกรอง PFAD ด้วยตะแกรงละเอียด จะได้ PFAD ที่จะถูกใช้สำหรับกระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันต่อไป

วิธีการทดลอง : ดังรูปที่ 4.15 สำหรับการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วนด้วยปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ ซึ่งส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันและเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ/บิวทานอลชนิดไม่มีน้ำ ตามสัดส่วนโดยโมลที่ 1:0.6, 1:1 และ 1:2 ใส่ในปิกเกอร์ขนาด 3,000 ml โดยมีน้ำหนักรวม 2,000 g กวนส่วนผสมบนฮีทเตอร์ด้วยใบกวนชนิด 6-blade disk turbine (เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 mm) ที่ความเร็วรอบ 250-300 rpm และอุณหภูมิ $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำส่วนผสมใส่ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ขนาด 2 ลิตร ปิดฝาและให้ความร้อนแก่เครื่องปฏิกรณ์ด้วยฮีทเตอร์หล่อทรงกระบอกจนถึงอุณหภูมิทำปฏิกิริยา 275°C ควบคู่กับการรักษาความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 70 bar ด้วยวาล์วความดันด้านกลับและปั๊มความดันสูง เมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ถึง 275°C จะเริ่มจับเวลาการทำปฏิกิริยา 60 นาที เมื่อครบเวลาทำปฏิกิริยาจะทำการหล่อเย็นผลิตภัณฑ์เพื่อหยุดการเกิดปฏิกิริยา โดยการปั๊มน้ำมันถ่ายเทความร้อนเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สวมติดอยู่กับเครื่องปฏิกรณ์แบบกะจนผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิ 65°C จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้เข้ากระบวนการทำความสะอาดโดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. กระบวนการล้าง มีขั้นตอนคือ ชั่งผลิตภัณฑ์ 1 kg ในปิกเกอร์ขนาด 2,000 ml แล้วนำไปอุ่นบนเตาให้ความร้อน (hot plate) ให้มีอุณหภูมิ 65-75°C จากนั้นเติมน้ำ 0.5 kg ลงไป แล้วกวนส่วนผสมด้วยใบกวนชนิด 6-blade disk turbine ที่ความเร็วรอบ 250-300 rpm โดยควบคุมอุณหภูมิ $\approx 100^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นวางทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้น้ำแยกออกจากผลิตภัณฑ์ แล้วถ่ายน้ำทิ้ง และล้างซ้ำอีก 1 รอบ จากนั้นทำการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำที่อุณหภูมิ $\approx 120^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที จะได้ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์บางส่วน ภายใต้เงื่อนไขการทำความสะอาดด้วยกระบวนการล้าง

2. กระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ มีขั้นตอนคือ นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ใส่ในปิกเกอร์ขนาด 2,000 ml แล้วนำไปอุ่นบนเตาให้ความร้อน (hot plate) ให้มีอุณหภูมิ $\approx 120^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที จะได้ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์บางส่วน ภายใต้เงื่อนไขการทำความสะอาดด้วยกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ

จากนั้นนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ (ภายใต้เงื่อนไขกระบวนการล้าง) วิเคราะห์องค์ประกอบด้วยวิธีการ thin layer chromatography/ flame ionization detector (TLC/FID)



รูปที่ 4.15 ขั้นตอนวิธีการผลิตส่วนกลิ่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน

4.5 ผลและวิจารณ์ผลการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันไม่อิ่มตัวไฮดรอกซีไขมันไม่อิ่มตัวบางส่วน

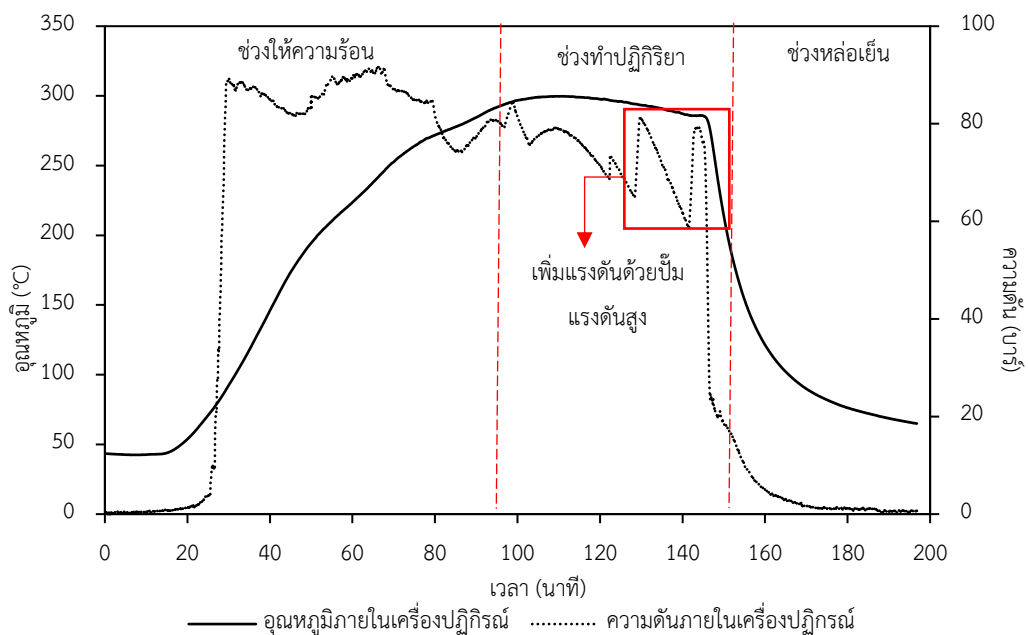
สำหรับการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันไม่อิ่มตัวไฮดรอกซีไขมันไม่อิ่มตัวบางส่วนด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไลซิส) โดยไม่ใช้ตัวเร่งในการทำปฏิกิริยา ที่สัดส่วนโดยโมลของ PFAD ต่อแอลกอฮอล์ 1:0.6, 1:1 และ 1:2 เริ่มทำปฏิกิริยาด้วยอุณหภูมิ 275°C ความดัน 70 bar เป็นเวลา 60 นาที โดยแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทดลอง คือ เอทานอล และบิวทานอล จากขอบเขตการทดลองที่ออกแบบไว้ กระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันไม่อิ่มตัวไฮดรอกซีไขมันไม่อิ่มตัวบางส่วนจะมี 6 เงื่อนไขการทดลอง

- PFAD กับ เอทานอล 3 เงื่อนไข ประกอบด้วย ที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ เอทานอล ที่ 1:0.6, 1:1 และ 1:2 โดยเขียนในรูปแบบ PEPFAD (1:0.6), PEPFAD (1:1) และ PEPFAD (1:2) ตามลำดับ
- PFAD กับ บิวทานอล 3 เงื่อนไข ประกอบด้วย ที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ บิวทานอล ที่ 1:0.6, 1:1 และ 1:2 โดยเขียนในรูปแบบ PBPFD (1:0.6), PBPFD (1:1) และ PBPFD (1:2) ตามลำดับ

4.5.1 กระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันไม่อิ่มตัวไฮดรอกซีไขมันไม่อิ่มตัวบางส่วน (PEPFAD)

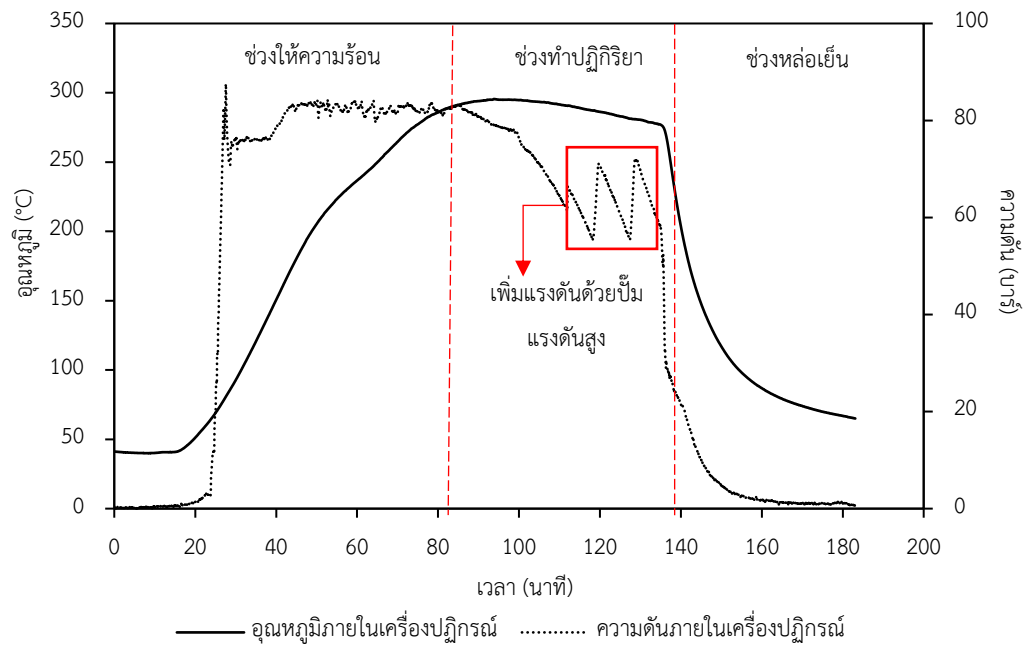
จากรูปที่ 4.16 ถึง 4.18 แสดงกราฟค่าความดันและอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างกระบวนการผลิต PEPFAD (1:0.6), PEPFAD (1:1) และ PEPFAD (1:2) มีความดันเริ่มต้นที่ประมาณ 0 bar อุณหภูมิเริ่มต้นในช่วง 41-50°C เมื่อเครื่องปฏิกรณ์แบบกะถูกขันปิดฝาอย่างแน่นหนา พร้อมสำหรับการทำปฏิกิริยาที่ความดันสูงและอุณหภูมิสูง จากนั้นเปิดการทำงานฮีทเตอร์หล่อทรงกระบอก เพื่อให้ความร้อนและเพิ่มความดันแก๊วติดุติภายในเครื่องปฏิกรณ์ จนมีอุณหภูมิ 275°C ควบคู่กับการปรับความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ให้มีค่าใกล้เคียง 70 bar จากนั้นเริ่มจับเวลาทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 60 นาที สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 275°C ของ PEPFAD (1:0.6), PEPFAD (1:1) และ PEPFAD (1:2) ใช้เวลา 70, 74 และ 78 นาที ด้วยอัตราการความร้อน 3.32, 3.16 และ 3.05°C/min ตามลำดับ โดยตลอดช่วงทำปฏิกิริยา พบว่า PEPFAD (1:0.6), PEPFAD (1:1) และ PEPFAD (1:2) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 292.8 ±6.5, 288.6 ±5.6 และ 294.5 ±6.6°C ความดันเฉลี่ย 74.8 ±5.4, 72.2 ±8.6 และ 75.5 ±4.5 bar ตามลำดับ ในระหว่างการทำปฏิกิริยามีการรักษาความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ด้วยการใช้ปั๊มแรงดันสูง ที่อัตราการไหล 9 ml/s ด้วยเอทานอลชนิดไม่มีน้ำให้มีความดันประมาณ 70 bar หลังจากทำปฏิกิริยาครบ 60 นาที เข้ากระบวนการหล่อเย็นผลิตภัณฑ์ให้มีอุณหภูมิ 65°C โดย PEPFAD (1:0.6), PEPFAD (1:1) และ PEPFAD (1:2) ใช้เวลา 54, 49 และ 53 นาที ด้วยอัตราการหล่อเย็น 4.1, 4.3 และ 4.2°C/min ตามลำดับ

หลังการทำปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบของเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ไบโอ ดีเซล) กลีเซอรอล ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ น้ำ และแอลกอฮอล์ที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด จากนั้นแยกทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยกระบวนการล้างและกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และ น้ำ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีลักษณะทางกายภาพเป็นไขและของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 4.19 (ก)-(ง) จากการตรวจด้วยวิธีการ TLC/FID เพื่อวัดองค์ประกอบของเอสเทอร์ของกรดไขมัน กรดไขมัน อิสระ ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ สำหรับผลิตภัณฑ์ PEPFAD (1:0.6) มีค่า 53.2, 44.5, 0.9, 1.1 และ 0.3 wt.% ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ PEPFAD (1:1) มีค่า 71.5, 26.8, 1.1, 0.3 และ 0.3 wt.% ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ PEPFAD (1:2) มีค่า 88.8, 10.0, 0.4, 0.4 และ 0.4 wt.% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.20 โดยสรุป กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไลซิส) โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จากส่วนกลั่นกรดไขมันและเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ สามารถผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟต์ บางส่วนที่มีองค์ประกอบของเอสเทอร์ในระดับสูง ≥ 53.2 wt.% ที่สกัดส่วนโดยโมลเอทานอลต่ำสุด (PFAD ต่อ เอทานอล ที่ 1:0.6)

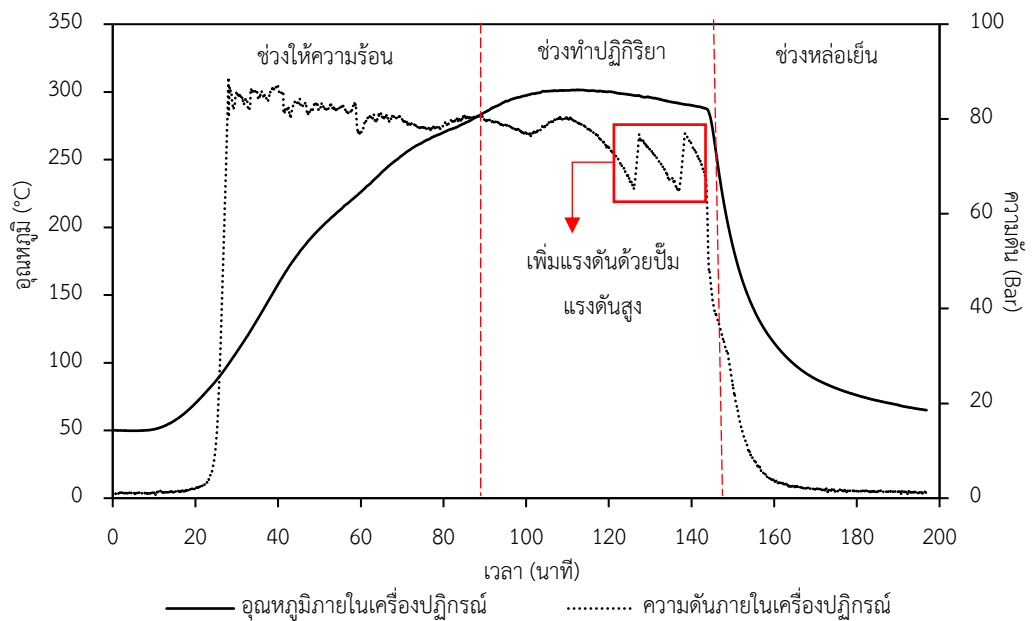


รูปที่ 4.16 กราฟค่าอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์

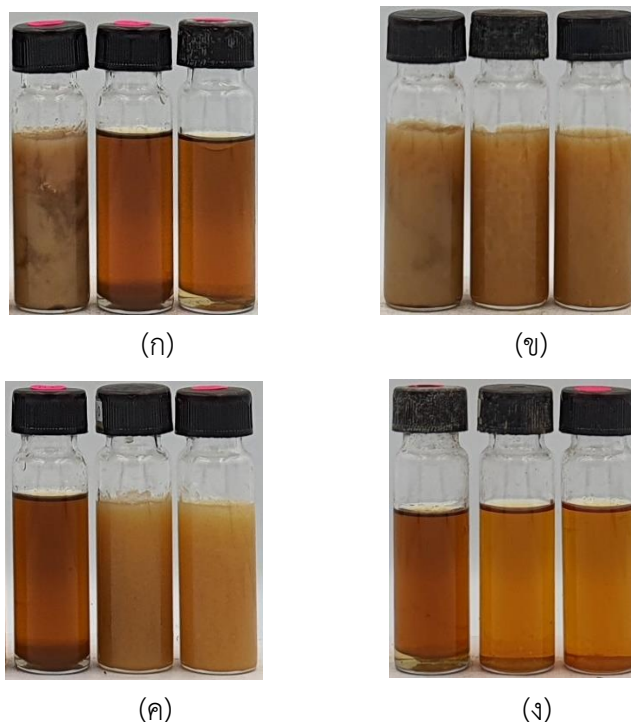
ระหว่างกระบวนการผลิต PEPFAD (1:0.6)



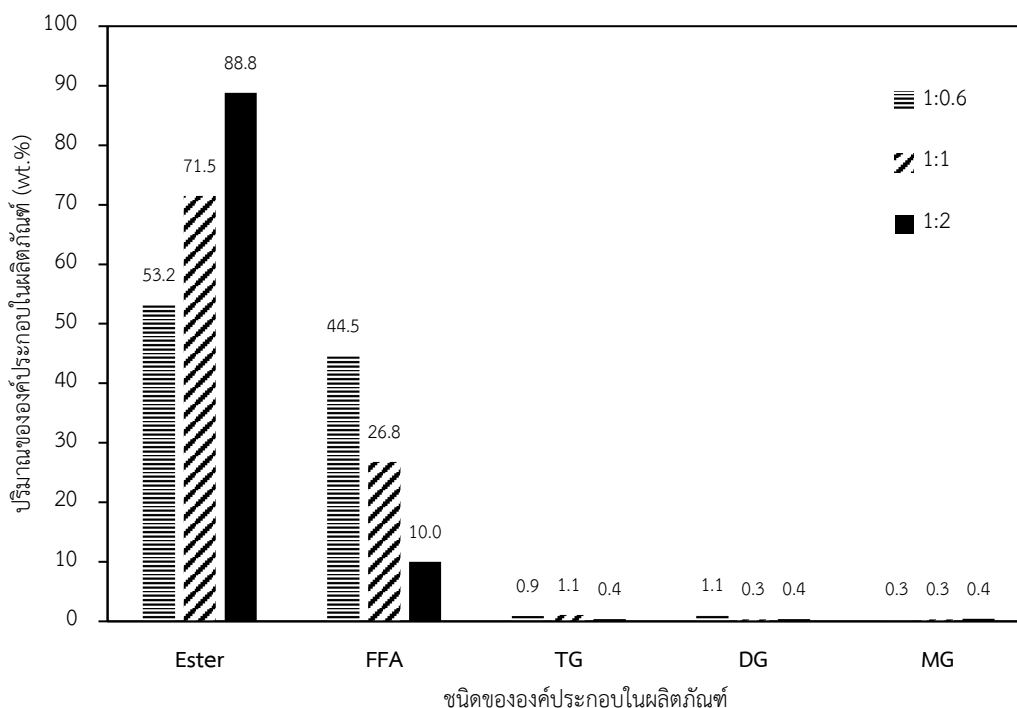
รูปที่ 4.17 กราฟค่าอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ ระหว่างกระบวนการผลิต PEPFAD (1:1)



รูปที่ 4.18 กราฟค่าอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ ระหว่างกระบวนการผลิต PEPFAD (1:2)



- รูปที่ 4.19** ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน (PEPFAD)
- (ก) ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน (PEPFAD) ที่ไม่ผ่านการทำความสะอาด ที่อัตราส่วนโดยโมล PFAD ต่อ เอทานอล 1:0.6, 1:1 และ 1:2 (จากซ้ายไปขวา)
- (ข) ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน (PEPFAD) ที่อัตราส่วนโดยโมล PFAD ต่อ เอทานอล 1:0.6 ไม่ผ่านการทำความสะอาด ผ่านการล้าง และผ่านการอุ่นใต้ แลกอฮอล์และน้ำ (จากซ้ายไปขวา)
- (ค) ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน (PEPFAD) ที่อัตราส่วนโดยโมล PFAD ต่อ เอทานอล 1:1 ไม่ผ่านการทำความสะอาด ผ่านการล้าง และผ่านการอุ่นใต้ แลกอฮอล์และน้ำ (จากซ้ายไปขวา)
- (ง) ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน (PEPFAD) ที่อัตราส่วนโดยโมล PFAD ต่อ เอทานอล 1:2 ไม่ผ่านการทำความสะอาด ผ่านการล้าง และผ่านการอุ่นใต้ แลกอฮอล์และน้ำ (จากซ้ายไปขวา)



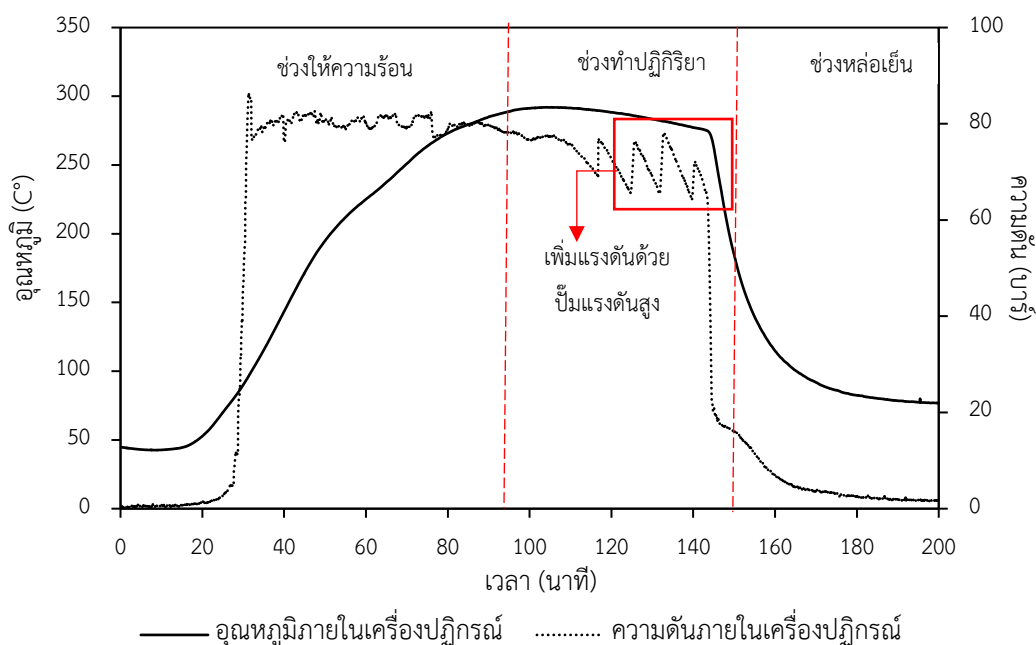
รูปที่ 4.20 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จากการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันแบบกะที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ เอทานอล ที่ 1:0.6, 1:1 และ 1:2

4.5.2 กระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไขมันบางส่วน (PBPFFAD)

จากรูปที่ 4.21 ถึง 4.23 แสดงกราฟค่าความดันและอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ระหว่างกระบวนการผลิต PBPFFAD (1:0.6), PBPFFAD (1:1) และ PBPFFAD (1:2) มีความดันเริ่มต้นที่ประมาณ 0 bar และอุณหภูมิเริ่มต้นจะอยู่ในช่วง 43-50°C เมื่อเครื่องปฏิกรณ์แบบกะถูกขันปิดฝาอย่างแน่นหนา พร้อมสำหรับการทำปฏิกิริยาที่ความดันสูงและอุณหภูมิสูง จากนั้นเปิดการทำงานฮีทเตอร์หล่อทรงกระบอก เพื่อให้ความร้อนและเพิ่มความดันแก๊วตฤติบภายในเครื่องปฏิกรณ์ จนมีอุณหภูมิ 275°C ควบคู่กับการปรับความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ให้มีค่าใกล้เคียง 70 bar จากนั้นเริ่มจับเวลาทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 60 นาที ที่สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 275°C ของ PBPFFAD (1:0.6), PBPFFAD (1:1) และ PBPFFAD (1:2) ใช้เวลา 73, 68 และ 67 นาที ด้วยอัตราความร้อน 3.24, 3.46 และ 3.51°C/min ตามลำดับ โดยตลอดช่วงทำปฏิกิริยา พบว่า PBPFFAD (1:0.6), PBPFFAD (1:1) และ PBPFFAD (1:2) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 287.6±5.2, 293.4±6.3 และ 286.1±4.9°C ความดันเฉลี่ย 75.6±3.8, 73.2±6.2 และ 74.8±4.2 bar ในระหว่างการทำปฏิกิริยาจะมีการรักษาความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ด้วยการใช้ปั๊มแรงดันสูง ที่อัตราการไหล 9 ml/s ด้วยบิวทานอลชนิดไม่มีน้ำให้มีความดันประมาณ 70 bar หลังจากทำปฏิกิริยาครบ 60 นาที

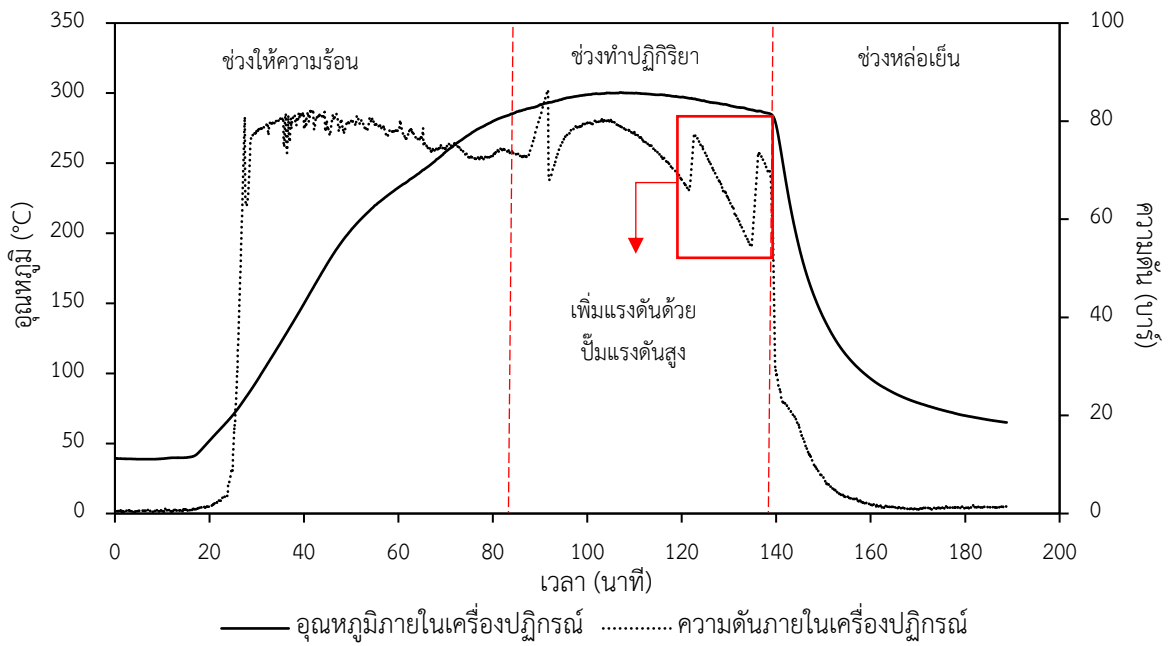
เข้ากระบวนการหล่อเย็นผลิตภัณฑ์ให้มีอุณหภูมิ 65°C โดย PBPFD (1:0.6), PBPFD (1:1) และ PBPFD (1:2) ใช้เวลา 48, 52 และ 49 นาที ด้วยอัตราการหล่อเย็น 4.40, 4.29 และ 4.31°C/min ตามลำดับ

หลังการทำปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันที่มีองค์ประกอบของเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ไบโอดีเซล) กลีเซอรอล ไตรกลีไรด์ ไดกลีเซไรด์ โมโนกลีเซไรด์ น้ำ และแอลกอฮอล์ที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด จากนั้นแยกทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นไขและของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 4.24 (ก)-(ง) จากการตรวจด้วยวิธีการ TLC/FID เพื่อวัดองค์ประกอบของเอสเทอร์ของกรดไขมัน กรดไขมันอิสระ ไตรกลีไรด์ ไดกลีเซไรด์ และโมโนกลีเซไรด์ สำหรับผลิตภัณฑ์ PBPFD (1:0.6) มีค่า 62.7, 35.5, 0.5, 1.0 และ 0.3 wt.% ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ PBPFD (1:1) มีค่า 78.4, 20.4, 0.3, 0.6 และ 0.31 wt.% ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ PBPFD (1:2) มีค่า 93.2, 6.0, 0.5, 0.2 และ 0.1 wt.% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.25 โดยสรุป กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไลซิส) โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากส่วนกลับ กรดไขมันและบิวทานอลชนิดไม่มีน้ำ สามารถผลิตส่วนกลับกรดไขมันเอสเทอร์ไฟนบางส่วนที่มีองค์ประกอบของเอสเทอร์ในระดับสูง ≥ 62.7 wt.% ที่สัดส่วนโดยโมลบิวทานอลต่ำสุด (PFAD ต่อ บิวทานอลชนิดไม่มีน้ำ ที่ 1:0.6)



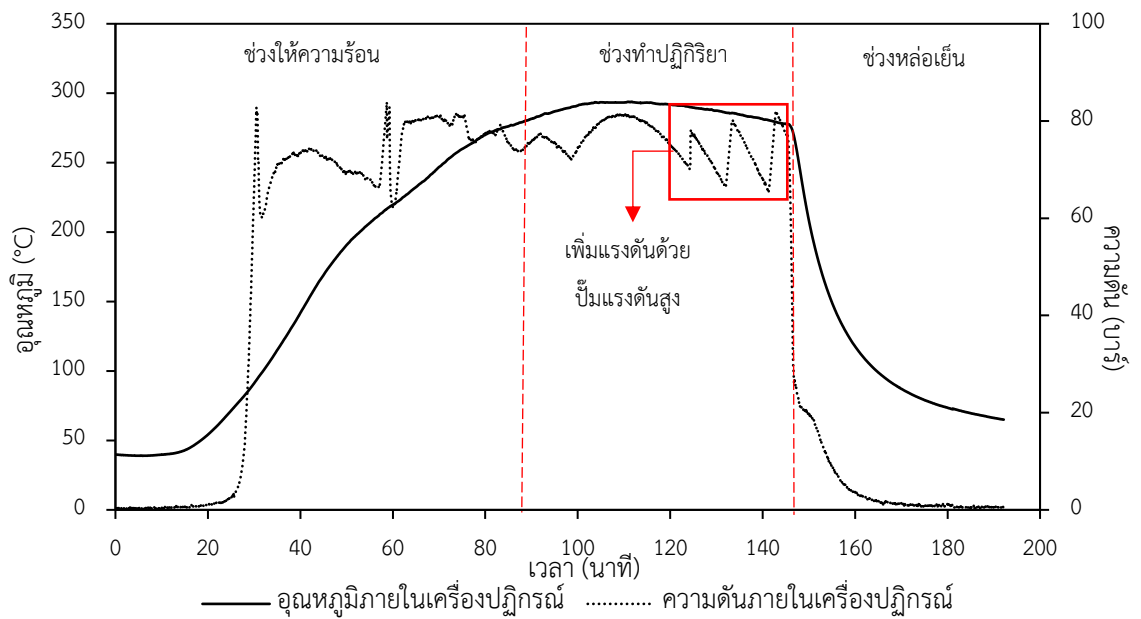
รูปที่ 4.21 กราฟค่าอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์

ระหว่างกระบวนการผลิต PBPFD (1:0.6)



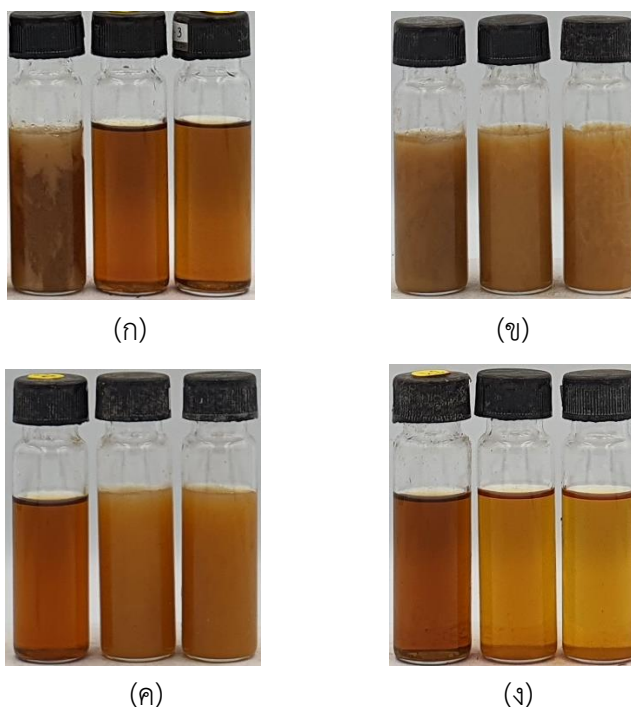
รูปที่ 4.22 กราฟค่าอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์

ระหว่างกระบวนการผลิต PBPFD (1:1)

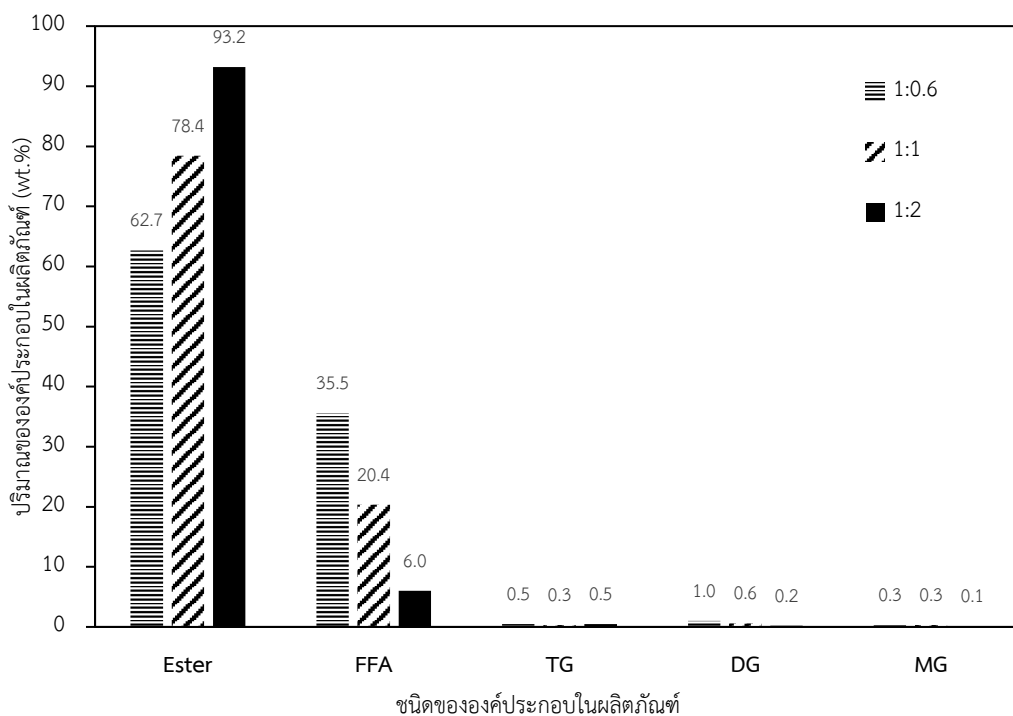


รูปที่ 4.23 กราฟค่าอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์

ระหว่างกระบวนการผลิต PBPFD (1:2)



- รูปที่ 4.24** ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน (PBPFAD)
- (ก) ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน (PBPFAD) ที่ไม่ผ่านกระบวนการล้างและอุ่นไอน้ำ ที่อัตราส่วนโดยโมล PFAD ต่อ บิวทานอล ที่ 1:0.6, 1:1, และ 1:2 (จากซ้ายไปขวา)
- (ข) ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน (PBPFAD) ที่อัตราส่วนโดยโมล PFAD ต่อ บิวทานอล 1:0.6 ไม่ผ่านกระบวนการล้างและอุ่นไอน้ำ ผ่านกระบวนการล้างและผ่านกระบวนการอุ่นไอน้ำแอลกอฮอล์และน้ำ (จากซ้ายไปขวา)
- (ค) ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน (PBPFAD) ที่อัตราส่วนโดยโมล PFAD ต่อ บิวทานอล 1:1 ไม่ผ่านกระบวนการล้างและอุ่นไอน้ำ ผ่านกระบวนการล้างและผ่านกระบวนการอุ่นไอน้ำแอลกอฮอล์น้ำ (จากซ้ายไปขวา)
- (ง) ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน (PBPFAD) ที่อัตราส่วนโดยโมล PFAD ต่อ บิวทานอล 1:2 ไม่ผ่านกระบวนการล้างและอุ่นไอน้ำ ผ่านกระบวนการล้างและผ่านกระบวนการอุ่นไอน้ำแอลกอฮอล์และน้ำ (นับจากซ้ายไปขวา)



รูปที่ 4.25 แสดงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จากการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันแบบกะที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ ปิวทานอล ที่ 1:0.6, 1:1 และ 1:2

4.6 สรุปผล

การสร้างและทดสอบการใช้งานเบื้องต้นเครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน ประกอบด้วย 4 หน่วย คือ หน่วยที่ 1 หน่วยเครื่องปฏิกรณ์ เป็นหน่วยปฏิบัติการที่สำคัญทำหน้าที่หลักคือ การทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนสารตั้งต้นให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการภายใต้สภาวะความดันสูงและอุณหภูมิสูง โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ประกอบด้วย เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ทำจากวัสดุสแตนเลส 316 ขนาด 2 ลิตร สามารถสร้างและรักษาแรงดันในช่วงการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไลซิส) ได้ตามกำหนด (70 bar) หน่วยที่ 2 หน่วยให้ความร้อน เป็นหน่วยให้พลังงานความร้อนแก่ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะเพื่อการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไลซิส) ประกอบด้วย ฮีตเตอร์หล่อทรงกระบอก ขนาด 3,000 วัตต์ ที่สวมอยู่ด้านนอกของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ สามารถให้ความร้อนแก่วัตถุดิบจนถึงอุณหภูมิทำปฏิกิริยาตามกำหนด (275°C) ด้วยอัตรา 2.65°C/min และสามารถรักษาอุณหภูมิในช่วงการทำปฏิกิริยาได้ตามกำหนดที่ $286.4 \pm 5.2^{\circ}\text{C}$ หน่วยที่ 3 หน่วยหล่อเย็น เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่ในการหยุดการทำปฏิกิริยาโดยใช้น้ำมันถ่ายเทความร้อนเป็นสารหล่อเย็น ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สวมติดอยู่กับเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ สามารถลดอุณหภูมิของ

ผลิตภัณฑ์ (ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไขมันบางส่วน) ด้วยอัตรา 4.33°C/min และหน่วยที่ 4 หน่วยเก็บข้อมูล เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลอุณหภูมิและความดันการทำปฏิกิริยา โดยบันทึกลงชุดคอมพิวเตอร์ในรูปแบบ Excel file ทำให้มีความสะดวกและแม่นยำ

หลังจากสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะเสร็จได้ศึกษาการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไขมันบางส่วน จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ (เอทานอล/บิวทานอล) ที่ 1:0.6, 1:1 และ 1:2 เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิ 275°C และความดัน 70 bar พบว่าการเพิ่มสัดส่วนแอลกอฮอล์ส่งผลให้ปริมาณเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) สูงขึ้น เนื่องจากแอลกอฮอล์เป็นปัจจัยที่สำคัญในการขับเคลื่อนปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันไปทางผลิตภัณฑ์ (เอสเทอร์) หากแอลกอฮอล์ไม่พอจะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง (ไฮโดรไลซิส) ให้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันอิสระ ทำให้สัดส่วนของเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) น้อยลง สำหรับผลิตภัณฑ์ PEPFAD (1:1) มีปริมาณเอสเทอร์สูงกว่า PEPFAD (1:0.6) ที่ +35.0% และ PEPFAD (1:2) ปริมาณเอสเทอร์สูงกว่า PEPFAD (1:1) ที่ +23.7% สำหรับผลิตภัณฑ์ PEPFAD (1:1) มีปริมาณเอสเทอร์สูงกว่า PEPFAD (1:0.6) ที่ +25.1% และ PEPFAD (1:2) ปริมาณเอสเทอร์สูงกว่า PEPFAD (1:1) ที่ +18.8% นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ PEPFAD มีปริมาณเอสเทอร์สูงกว่า PEPFAD ในทุกสัดส่วน +17.9%, +9.2% และ +4.9% ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์ PEPFAD (1:0.6), PEPFAD (1:1), PEPFAD (1:0.6) และ PEPFAD (1:1) มีลักษณะทางกายภาพเป็นไขที่อุณหภูมิต่ำ แต่มีความนิ่มกว่า PFAD ที่ไม่ผ่านการทำปฏิกิริยา และผลิตภัณฑ์ PEPFAD (1:2) มีลักษณะเป็นของเหลวชั้นบนและเป็นไขชั้นล่าง (ประมาณ 10-20%) ที่อุณหภูมิต่ำ และผลิตภัณฑ์ PEPFAD (1:2) มีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวทั้งหมดที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การนำ PFAD มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (เอทานอล/บิวทานอล) เพื่อเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในจะส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้เปลี่ยนแปลงไป แม้จะทำปฏิกิริยาที่สัดส่วนแอลกอฮอล์ที่น้อย (สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อแอลกอฮอล์ ที่ 1:0.6) ก็สามารถส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน จึงมีความเป็นไปได้ในการเพิ่มการผสมผลิตภัณฑ์กับดีเซล/ดีโซฮอล์ ในสัดส่วนที่สูงขึ้นจากเดิม (PFAD) ซึ่งได้ศึกษาในหัวข้อถัดไป

บทที่ 5

การศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวร่วมกับคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่ อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงผสมและการทดสอบใช้ในเครื่องยนต์เบื้องต้น

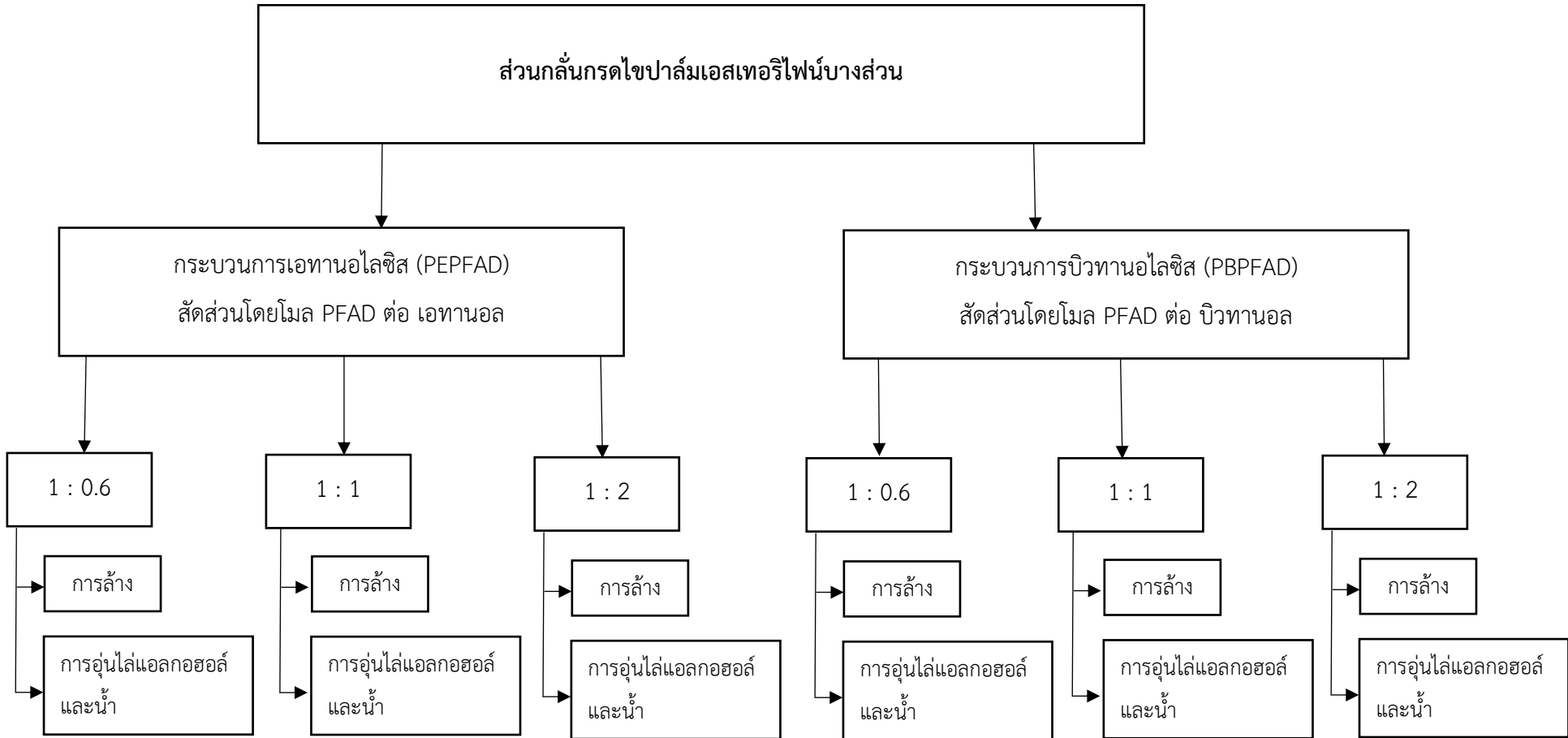
จากการผลิตส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วนในบทก่อนหน้า ทำให้รู้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะทางกายภาพที่อ่อนขึ้นตามสัดส่วนแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีแนวโน้มในการเป็นส่วนผสมดีเซล/ดีโซฮอลในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยจุดประสงค์ของบทนี้คือการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน-แอลกอฮอล์ เป็นเวลา 90 วัน ร่วมกับการทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลตามมาตรฐานสมาคมการทดสอบและวัสดุอเมริกัน (American Society for Testing and Materials : ASTM) เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงผสมที่เป็นของเหลวเฟสเดียวสำหรับทดสอบใช้งานในเครื่องยนต์เบื้องต้นเปรียบเทียบกับดีเซล

5.1 วัสดุและวิธีการสำหรับการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาว

ผลิตภัณฑ์ PEPFAD และ PBPFAD จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (แอลกอฮอล์ไอโซซิดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้ำ (ผสมไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ 6-7 vol.%) เอทานอลชนิดไม่มีน้ำเกรดการค้ำ (99.9%) และบิวทานอลชนิดไม่มีน้ำเกรดการค้ำ (99.4%) เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาว ดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้ำ ชื่อจากปั้มน้ำมันบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ตำบลคองหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เอทานอล ชื่อจากบริษัท แกรททิทูต อินฟินิท จำกัด (มหาชน) และบิวทานอล ชื่อจากห้างหุ้นส่วนจำกัด แอล บี ซายน์

ผลิตภัณฑ์ PEPFAD และ PBPFAD ในงานวิจัยนี้จะศึกษา ที่สัดส่วนโดยโมลของ PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ ที่ 1:0.6, 1:1 และ 1:2 จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ผ่านกระบวนการทำความสะอาด 2 วิธีคือ การล้าง และการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 12 เจริ้นไซ เพื่อใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงผสมต่อไป ดังรูปที่ 5.1

สำหรับการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวของ เชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD/PBPFAD-AhE/AhnB เชื้อเพลิงผสมถูกเตรียมในขวดแก้วขนาดเล็กด้วยวิธีการเขย่าอย่างง่ายโดยผสมที่สัดส่วนต่างๆ ของแต่ละองค์ประกอบในช่วง 0-100 wt.% ที่ทุกๆ 10 wt.% โดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียดสูง(0.0001 กรัม) ยี่ห้อ METTLER รุ่น AL204 ซึ่งแต่ละตัวอย่างของเชื้อเพลิงผสม



รูปที่ 5.1 ผลิตรภัณฑ์ส่วนกลิ่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟน์บางส่วนทั้ง 12 เจือปนใช้สำหรับการเตรียมเชื้อเพลิงผสม

จะมีน้ำหนักรวม 10.0 g และมีความคลาดเคลื่อนในช่วง ± 0.05 wt.% สำหรับเชื้อเพลิงผสมสองส่วน แต่ละองค์ประกอบจะถูกชั่งตามสัดส่วน ปิดฝา อุ่นที่ $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$ แล้วทำการเขย่าขวดเป็น เวลา 1 นาที และสำหรับเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ขั้นตอนแรกจะทำการผสมระหว่างส่วนกลั่นกรดไขมันพาล์มเอสเทอร์ ไฟน์บางส่วนกับแอลกอฮอล์ (เอทานอลและบิวทานอล) ก่อน ปิดฝาอุ่นที่ $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$ แล้วทำการเขย่า ขวดเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นจึงผสมดีเซลตามสัดส่วนอุ่นที่ $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$ แล้วทำการเขย่าอีกเป็นเวลา 1 นาที ก็จะได้เชื้อเพลิงผสมที่ต้องการ จากนั้นนำไปวางนึ่งที่บรรยากาศปกติที่มีอุณหภูมิรายวันในช่วง $22-34^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 90 วัน เพื่อสังเกตพฤติกรรมเฟสระยะยาว

5.2 ผลการทดลองและวิจารณ์การศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาว

5.2.1 เชื้อเพลิงผสมส่วนกลั่นกรดไขมันพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วนที่สัดส่วนโดยโมล 1:0.6

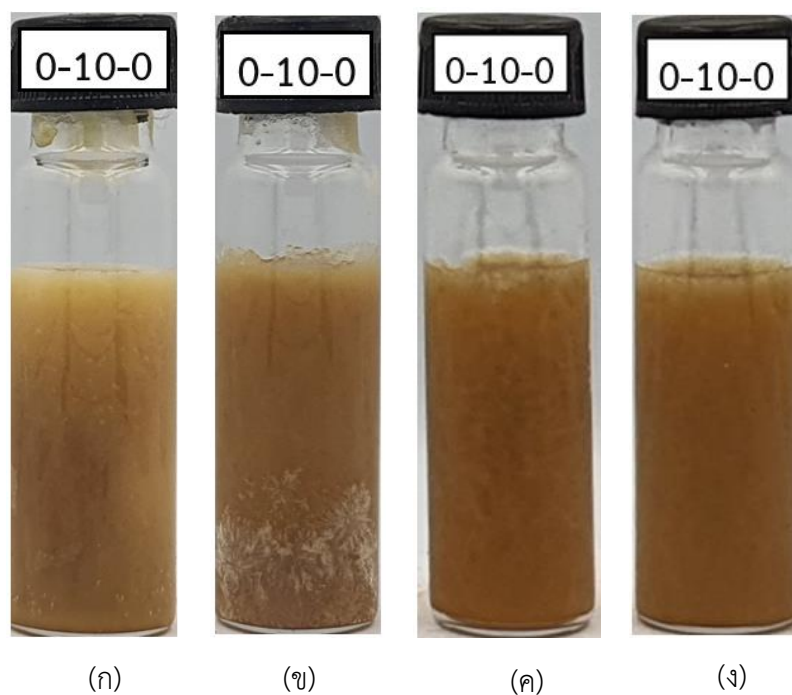
ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขมันพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน ที่ใช้ในการศึกษา คือ PEPFAD และ PBPfAD ที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6 โดยแบ่งตามวิธีการ ทำความสะอาด คือ การล้าง และการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ

จากการทดสอบหาค่าองค์ประกอบของน้ำมันด้วยเทคนิค thin layer chromatography/flame ionization detector (TLC/FID) ด้วยตัวอย่าง PEPFAD (1:0.6) พบว่า มี ปริมาณองค์ประกอบเอสเทอร์ 53.1 wt.% กรดไขมันอิสระ 44.5 wt.% และองค์ประกอบอื่นๆ 2.3 wt.% และ PBPfAD (1:0.6) พบว่า มีปริมาณองค์ประกอบเอสเทอร์ 62.7 wt.% กรดไขมันอิสระ 35.5 wt.% และองค์ประกอบอื่นๆ 1.8 wt.% ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพเป็นไขที่อุณหภูมิห้อง แต่จากการ สังเกตพบว่ามีลักษณะที่อ่อนและนิ่มกว่า PFAD ดังรูปที่ 5.2 (ก) ถึง (ง)

ด้วยลักษณะทางกายภาพของ PEPFAD (1:0.6) และ PBPfAD (1:0.6) ที่เป็นไข แสดง ให้เห็นว่าจุดหลอมเหลวสูงกว่าอุณหภูมิห้อง ดังนั้นการนำเอทานอลหรือบิวทานอลที่มีจุดไหลเทต่ำที่ -114°C และ -89°C ตามลำดับ (Kumar et al., 2013) มาใช้เป็นส่วนผสมเชื้อเพลิงจะปรับปรุงเฟสของ ผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล ซึ่งจุดไหลเทที่ต่ำมากจะทำหน้าที่ในการช่วยปรับปรุง คุณสมบัติการไหลของเชื้อเพลิงผสม ในขณะเดียวกัน PEPFAD (1:0.6) และ PBPfAD (1:0.6) ที่มี องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเอสเทอร์และกรดไขมันอิสระทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในการประสาน แอลกอฮอล์และดีเซลให้เป็นของเหลวเฟสเดียวเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล

ผลของเอทานอล/บิวทานอลต่อการปรับปรุงเฟสของส่วนกลั่นกรดไขมันพาล์มเอสเทอร์ ไฟน์บางส่วนในเชื้อเพลิงผสม และการใช้ส่วนกลั่นกรดไขมันพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วนเป็นตัวประสาน สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขมันพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-เอทานอล

และ ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน-บิวทานอล เพื่อเป็นเชื้อเพลิงเหลวพิเศษที่อุณหภูมิรายวัน 24-36°C เวลา 90 วัน ได้รวบรวมข้อมูลในตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะพิเศษของส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน

ที่สกัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6

- (ก) PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง
- (ข) PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ
- (ค) PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง
- (ง) PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ

เชื้อเพลิงผสมสองส่วน ดีเซล-เอทานอล พบว่ามีการแยกเฟสอย่างชัดเจนในช่วง สัดส่วนการผสมเอทานอล 20-70 wt.% สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kwanchareon et al. (2007), Chotwichien et al. (2009) และ ศุภกิจ เอียดตรง (2559) เนื่องจากเอทานอลเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว มากกว่าไม่มีขั้ว เมื่อผสมกับดีเซลที่เป็นโมเลกุลไม่มีขั้วจึงทำให้เกิดการแยกเฟสขึ้น

เชื้อเพลิงผสมสองส่วน ดีเซล-บิวทานอล พบว่า สามารถผสมบิวทานอลกับดีเซล โดยตรงได้ทุกสัดส่วน โดยไม่ต้องใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน สอดคล้องกับงานวิจัย ของ Kwanchareon et al. (2007), Chotwichien et al. (2009) และ ศุภกิจ เอียดตรง (2559) เนื่องจากบิวทานอลมีจำนวนคาร์บอน 4 อะตอม ทำให้ส่วนหางที่ไม่มีขั้วยาวขึ้น ส่งผลให้สภาพ โดยรวมของบิวทานอลมีลักษณะไม่มีขั้วสูง ดังนั้นจึงสามารถผสมโดยตรงกับดีเซลที่มีสภาพไม่มีขั้ว เหมือนกันเป็นเชื้อเพลิงเหลวเฟสเดียวได้ในทุกสัดส่วนการผสม

เชื้อเพลิงผสมสองส่วน ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-เอทานอล พบว่า สามารถผสม PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำได้ไม่เกิน 70 wt.% สำหรับสัดส่วนการผสม PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ พบว่าสามารถผสมได้ไม่เกิน 80 wt.%

เชื้อเพลิงผสมสองส่วน ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-บิวทานอล พบว่าสามารถผสม PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำได้ไม่เกิน 70 wt.% สำหรับสัดส่วนการผสม PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์ และน้ำ พบว่าสามารถผสมได้ไม่เกิน 70 wt.% และ 80 wt.% ตามลำดับ

เชื้อเพลิงผสมสองส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน พบว่า สามารถผสม PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ ได้ไม่เกิน 20wt.% และ 30wt.% ตามลำดับ ในขณะที่ PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่ แอลกอฮอล์และน้ำ สามารถเป็นส่วนผสมได้ไม่เกิน 40wt.%

เชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-เอทานอล พบว่า พบว่าสามารถผสม PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำได้ ไม่เกิน 70 wt.% และ 60 wt.% ตามลำดับ ในขณะที่ สำหรับ PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง และการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ สามารถเป็นส่วนผสมได้ไม่เกิน 80wt.%

เชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-บิว ทานอล พบว่า พบว่าสามารถผสม PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์

และน้ำได้ไม่เกิน 50 wt.% และ 60 wt.% ตามลำดับ ในขณะที่ สำหรับ PBPfAD (1:0.6) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ สามารถเป็นส่วนผสมได้ไม่เกิน 70wt.%

ตารางที่ 5.1 เชื้อเพลิงผสมของเหลวเฟสเดียวที่ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน (1:0.6)

ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์ม เอสเทอร์ไฟน์บางส่วน	เชื้อเพลิงผสม	สัดส่วนผสม ไม่เกิน (wt.%)
PEPFAD แบบล้าง	PEPFAD-AhE	70
	PEPFAD-AhnB	70
	CHSD-PEPFAD	20
	CHSD-PEPFAD-AhE	70
	CHSD-PEPFAD-AhnB	50
PEPFAD แบบอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ	PEPFAD-AhE	70
	PEPFAD-AhnB	70
	CHSD-PEPFAD	30
	CHSD-PEPFAD-AhE	60
	CHSD-PEPFAD-AhnB	60
PBPfAD แบบล้าง	PBPfAD-AhE	80
	PBPfAD-AhnB	70
	CHSD-PBPfAD	40
	CHSD-PBPfAD-AhE	80
	CHSD-PBPfAD-AhnB	70
PBPfAD แบบอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ	PBPfAD-AhE	80
	PBPfAD-AhnB	80
	CHSD-PBPfAD	40
	CHSD-PBPfAD-AhE	80
	CHSD-PBPfAD-AhnB	70

5.2.2 เชื้อเพลิงผสมส่วนกลั่นกรดไขปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วนที่สกัดด้วยโมล 1:1

ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน ที่ใช้ในการศึกษาคือ PEPFAD และ PBPFAD ที่สกัดด้วยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1 โดยแบ่งตามวิธีการทำความสะอาด คือ การล้าง และการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ

จากการทดสอบหาค่าองค์ประกอบของน้ำมันด้วยเทคนิค thin layer chromatography/flame ionization detector (TLC/FID) ด้วยตัวอย่าง PEPFAD (1:1) พบว่า มีปริมาณองค์ประกอบเอสเทอร์ 71.5 wt.% กรดไขมันอิสระ 26.8 wt.% และองค์ประกอบอื่นๆ 1.7 wt.% สำหรับ PBPFAD (1:1) พบว่า มีปริมาณองค์ประกอบเอสเทอร์ 78.4 wt.% กรดไขมันอิสระที่ 20.4 wt.% และองค์ประกอบอื่นๆ 1.2 wt.% มีลักษณะทางกายภาพเป็นไขที่อุณหภูมิห้อง จากการสังเกตพบว่ามีลักษณะที่อ่อนและนิ่มกว่า PEPFAD (1:0.6) และ PBPFAD (1:0.6) ดังรูปที่ 5.3 (ก) ถึง (ง)

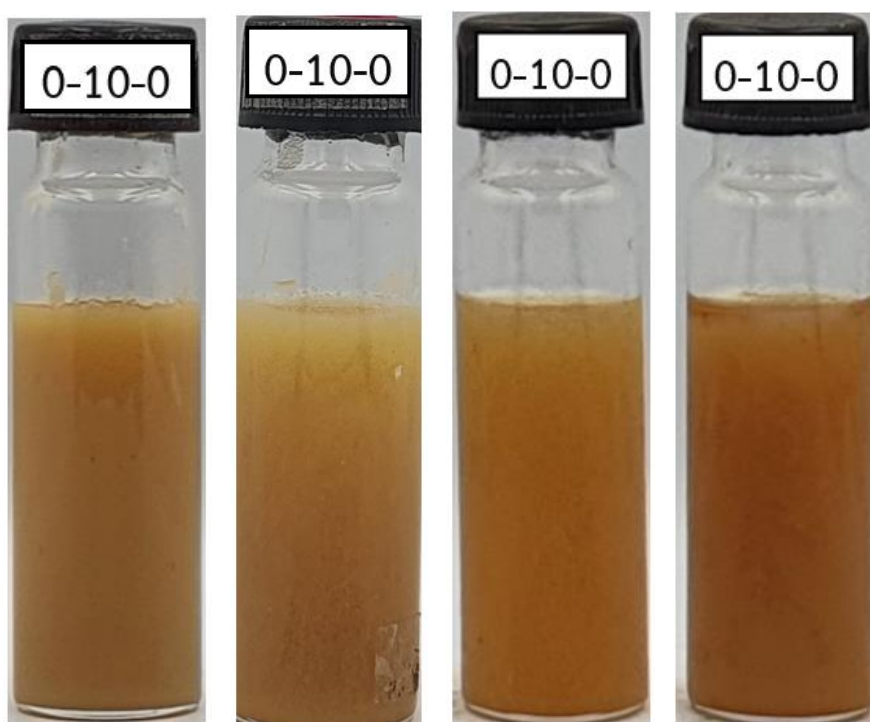
ดังนั้นด้วยลักษณะทางกายภาพของ PEPFAD (1:1) และ PBPFAD (1:1) ที่เป็นไข แสดงให้เห็นว่าจุดหลอมเหลวยังคงสูงกว่าอุณหภูมิห้อง เช่นเดียวกับ PFAD, PEPFAD (1:0.6) และ PBPFAD (1:0.6) การนำเอทานอลและบิวทานอลที่มีจุดไหลเทต่ำมาใช้เป็นส่วนผสมเชื้อเพลิงเพื่อปรับปรุงเฟสยังคงมีความจำเป็นเช่นเดียวกัน

ผลของเอทานอล/บิวทานอลต่อการปรับปรุงเฟสของส่วนกลั่นกรดไขปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน ในเชื้อเพลิงผสม และการใช้ส่วนกลั่นกรดไขปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วนเป็นตัวประสานสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-เอทานอล และ ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-บิวทานอล เพื่อเป็นเชื้อเพลิงเหลวเฟสเดียวที่อุณหภูมิรายวัน 24-36°C เวลา 90 วัน ได้รวบรวมข้อมูลในตารางที่ 5.2

เชื้อเพลิงผสมสองส่วน ส่วนกลั่นกรดไขปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-เอทานอล พบว่าสามารถผสม PEPFAD (1:1) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำได้สูงสุด 90 wt.% ดังแสดงเฟสไดอะแกรมในรูปที่ 5.4 และ 5.6 (เส้นขอบด้านซ้าย) และพฤติกรรมเฟสของเชื้อเพลิงผสมในรูปที่ 5.5 และ 5.7 (a)-(j) (ขวดที่ 1 จากซ้าย) เช่นเดียวกันกับการผสม PBPFAD (1:1) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ ดังแสดงเฟสไดอะแกรมในรูปที่ 5.8 และ 5.10 (เส้นขอบด้านซ้าย) และพฤติกรรมเฟสของเชื้อเพลิงผสมในรูปที่ 5.9 และ 5.11 (a)-(j) (ขวดที่ 1 จากซ้าย)

เชื้อเพลิงผสมสองส่วน ส่วนกลั่นกรดไขปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-บิวทานอล พบว่าสามารถผสม PEPFAD (1:1) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำได้สูงสุด 80

wt.% ดังแสดงเฟสไดอะแกรมในรูปที่ 5.12 และ 5.14 (เส้นขอบด้านซ้าย) และพฤติกรรมเฟสของเชื้อเพลิงผสมในรูปที่ 5.13 และ 5.15 (a)-(j) (ขวดที่ 1 จากซ้าย) ในขณะที่ PPFAD (1:1) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไอล์แอลกอฮอล์และน้ำ สามารถเป็นส่วนผสมได้ไม่เกิน 90 wt.% ดังแสดงเฟสไดอะแกรมในรูปที่ 5.16 และ 5.18 (เส้นขอบด้านซ้าย) และพฤติกรรมเฟสของเชื้อเพลิงผสมในรูปที่ 5.17 และ 5.19 (a)-(j) (ขวดที่ 1 จากซ้าย)



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะเฟสของส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน

ที่สกัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ 1:1

(ก) PPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง

(ข) PPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไอล์แอลกอฮอล์และน้ำ

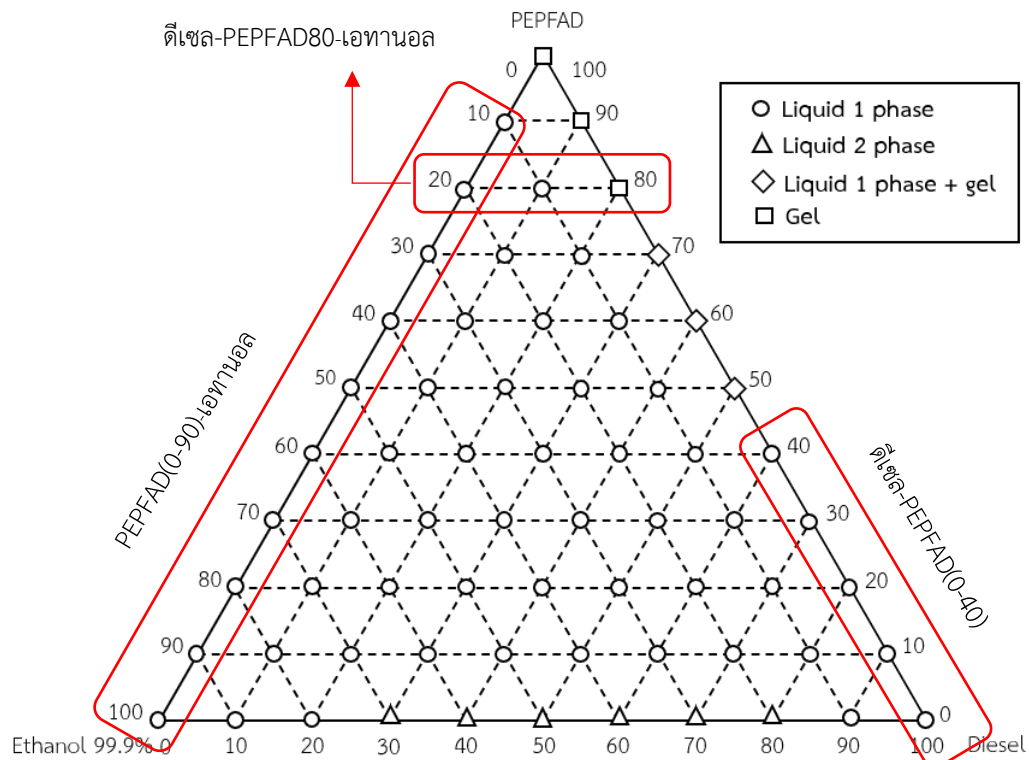
(ค) PPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง

(ง) PPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไอล์แอลกอฮอล์และน้ำ

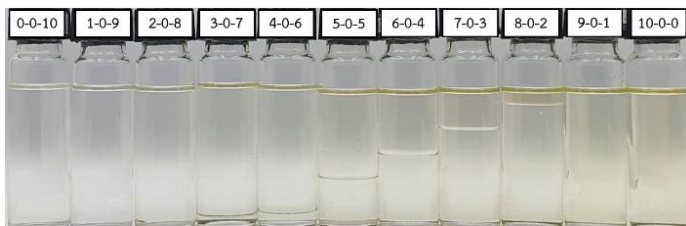
เชื้อเพลิงผสมสองส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน พบว่าสามารถผสม PEPFAD (1:1) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ ได้ไม่เกิน 40wt.% ดังแสดงเฟสไดอะแกรมในรูปที่ 5.4, 5.6, 5.12 และ 5.14 (เส้นขอบด้านขวา) และพฤติกรรมเฟสของเชื้อเพลิงผสมในรูปที่ 5.5, 5.7, 5.13 และ 5.15 (a)-(j) (ขวดที่ 1 จากขวา) ในขณะที่ PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ สามารถเป็นส่วนผสมได้ไม่เกิน 50wt.% ดังแสดงเฟสไดอะแกรมในรูปที่ 5.8, 5.10, 5.16 และ 5.18 (เส้นขอบด้านขวา) และพฤติกรรมเฟสของเชื้อเพลิงผสมในรูปที่ 5.9, 5.11, 5.17 และ 5.19 (a)-(j) (ขวดที่ 1 จากขวา)

เชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-เอทานอล พบว่า พบว่าสามารถผสม PEPFAD (1:1) และ PBPFAD (1:1) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำได้ไม่เกิน 80 wt.%

เชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-บิวทานอล พบว่า พบว่าสามารถผสม PEPFAD (1:1) และ PBPFAD (1:1) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำได้ไม่เกิน 80 wt.%



รูปที่ 5.4 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล



(a) 0 wt.%



(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%

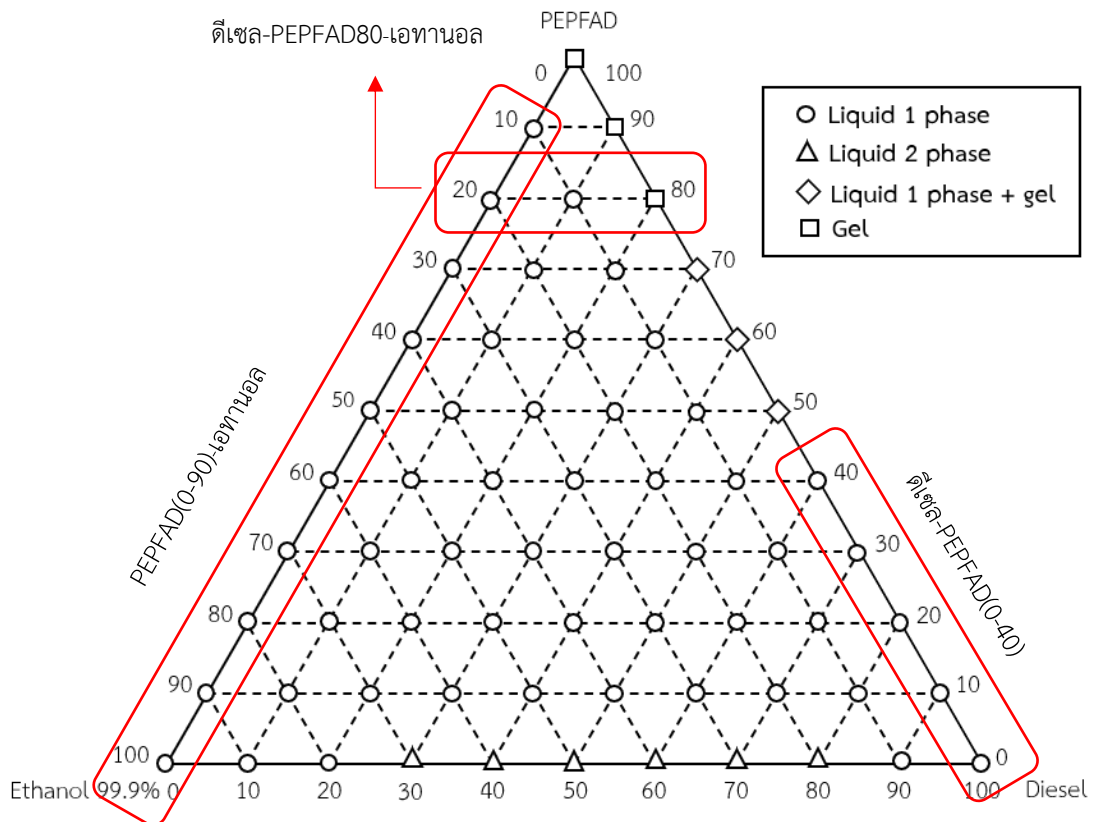


(g) 60 wt.%



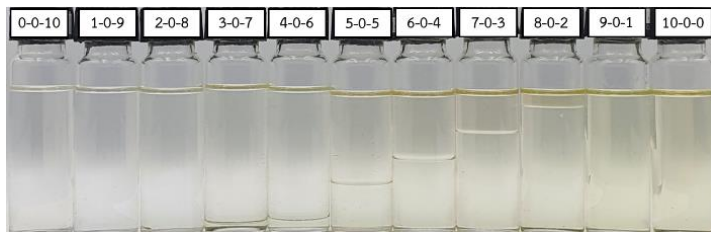
(f) 50 wt.%

รูปที่ 5.5 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล



รูปที่ 5.6 เฟสไดอะแกรมของ

ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล



(a) 0 wt.%



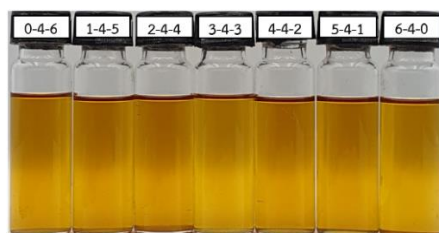
(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%



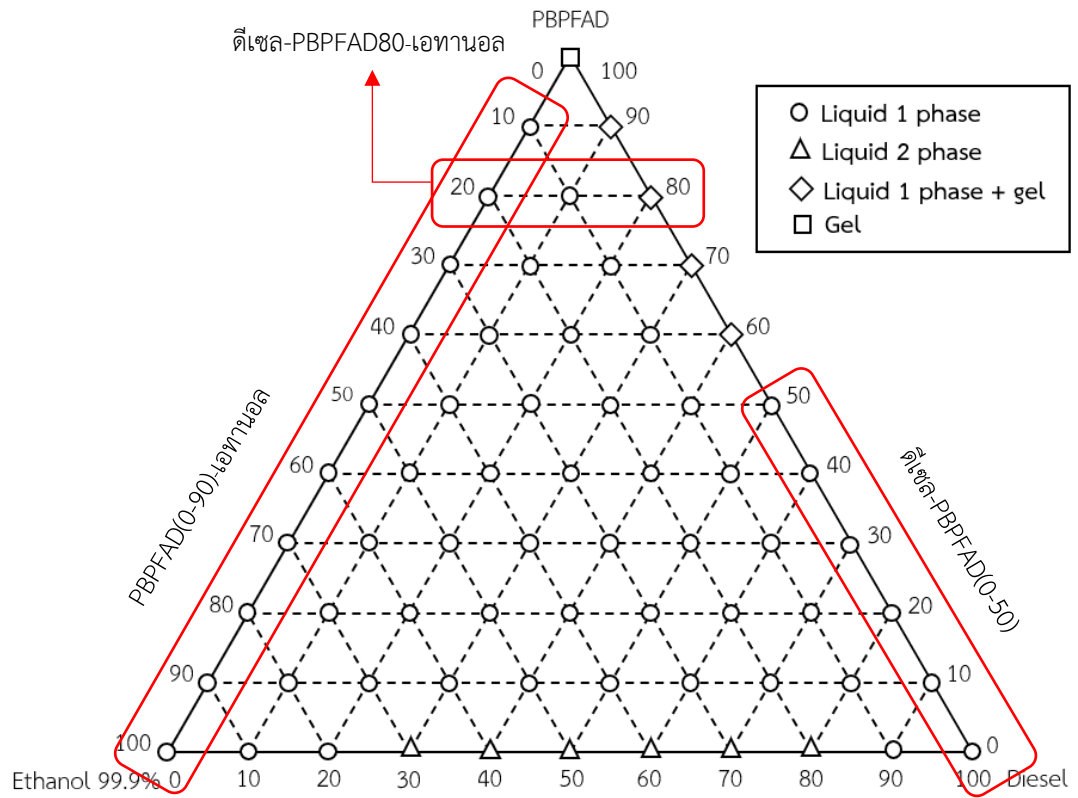
(g) 60 wt.%



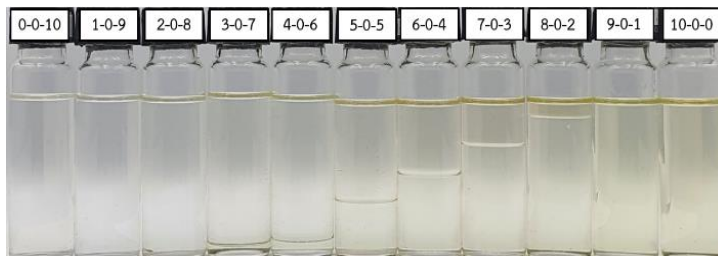
(f) 50 wt.%

รูปที่ 5.7 พฤติกรรมเฟสของ

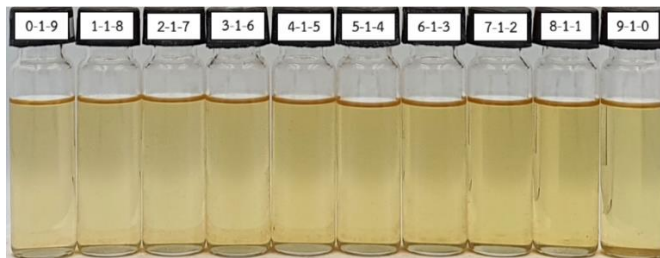
ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล



รูปที่ 5.8 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล



(a) 0 wt.%



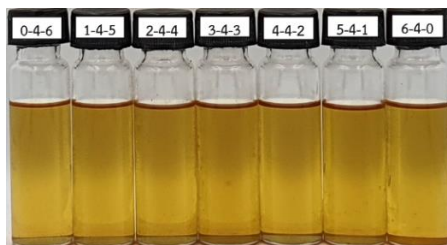
(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%

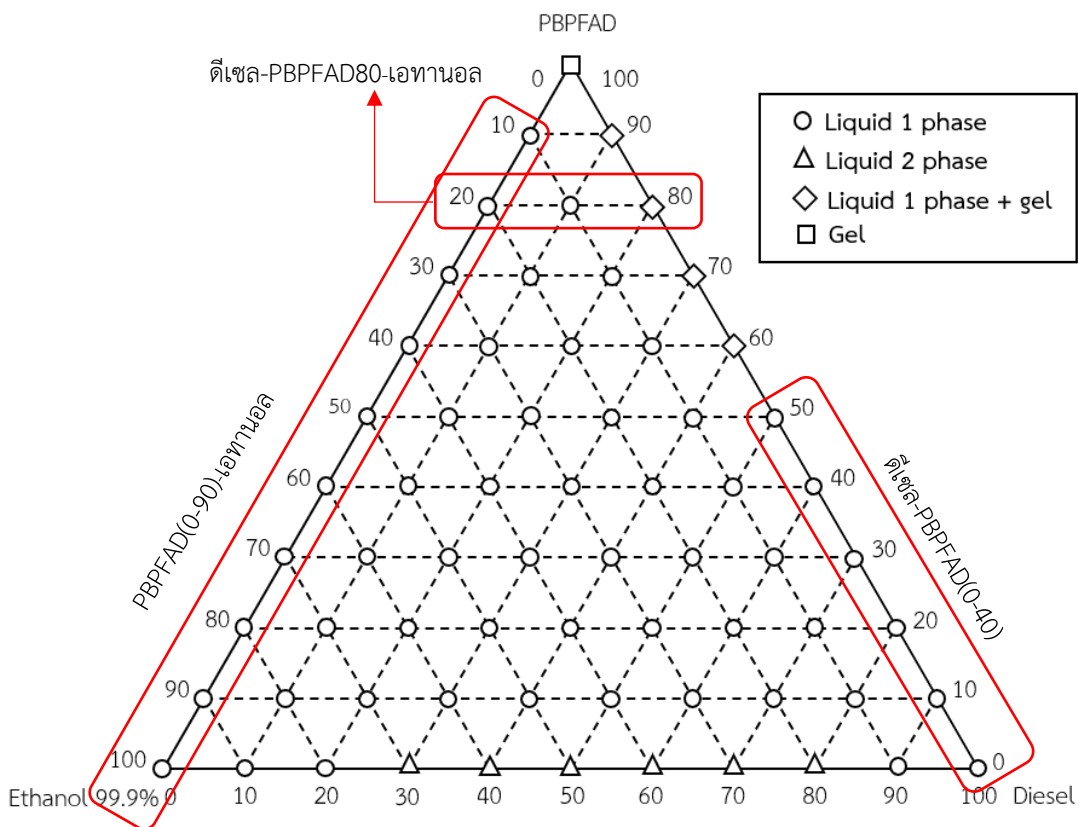


(g) 60 wt.%

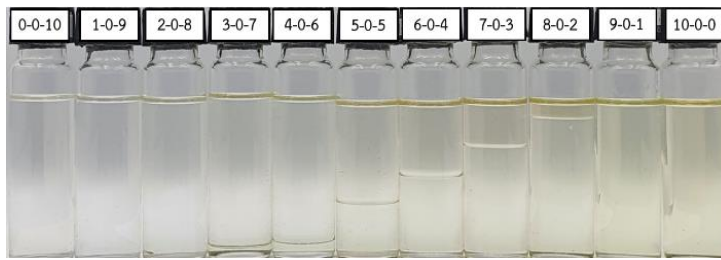


(f) 50 wt.%

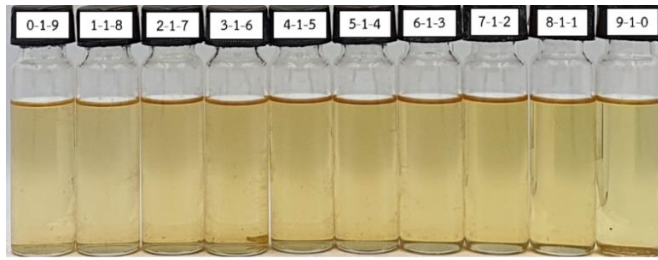
รูปที่ 5.9 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล



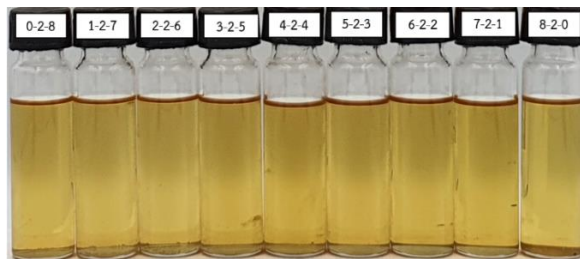
รูปที่ 5.10 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล



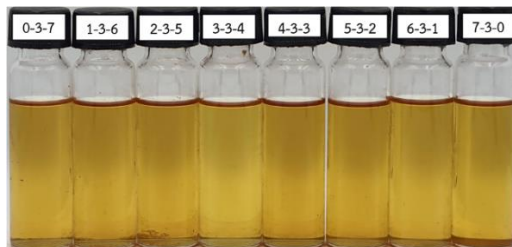
(a) 0 wt.%



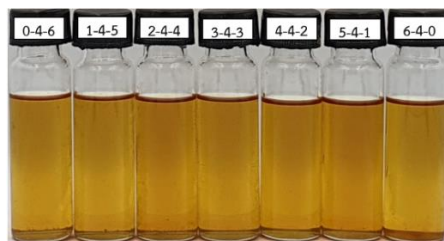
(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%



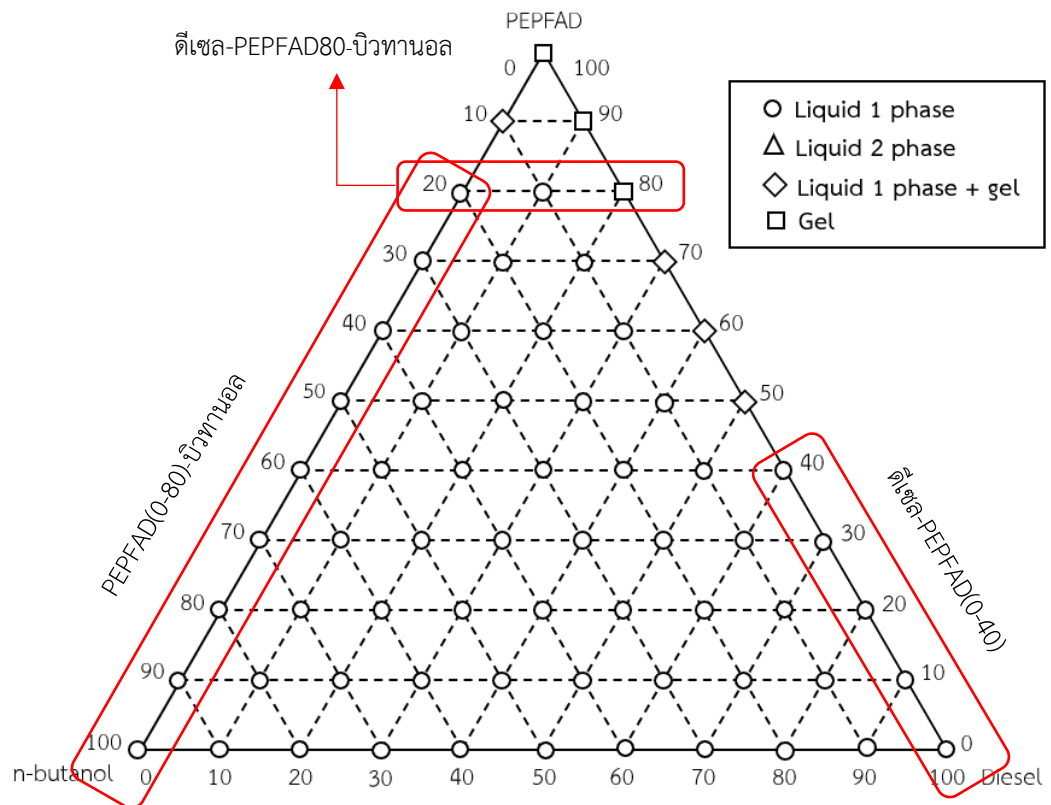
(g) 60 wt.%



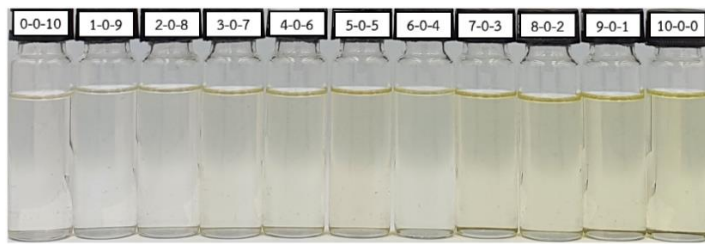
(f) 50 wt.%

รูปที่ 5.11 พฤติกรรมเฟสของ

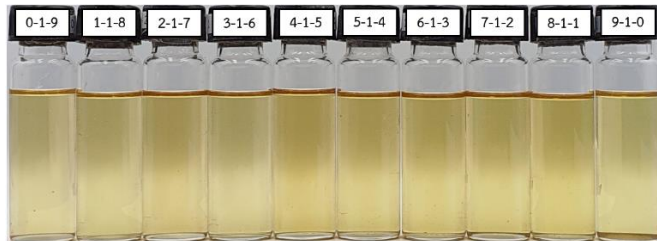
ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล



รูปที่ 5.12 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล



(a) 0 wt.%



(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%

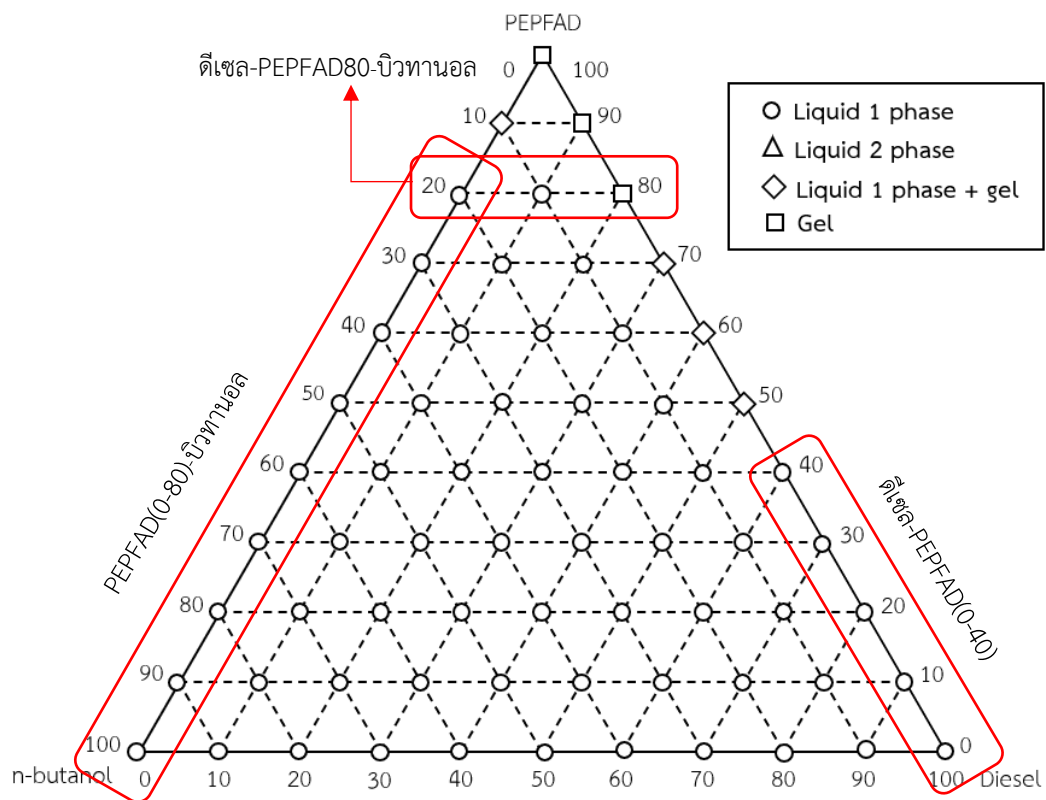


(g) 60 wt.%



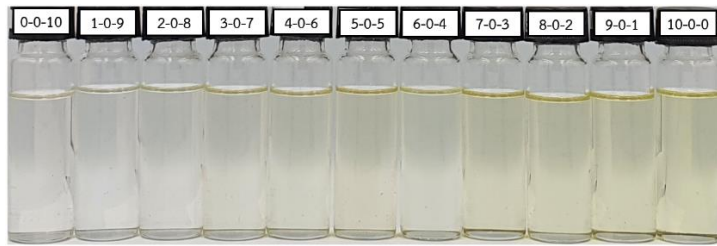
(f) 50 wt.%

รูปที่ 5.13 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล



รูปที่ 5.14 เฟสไดอะแกรมของ

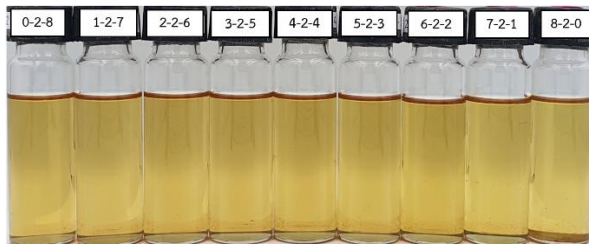
ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไอล์แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล



(a) 0 wt.%



(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%

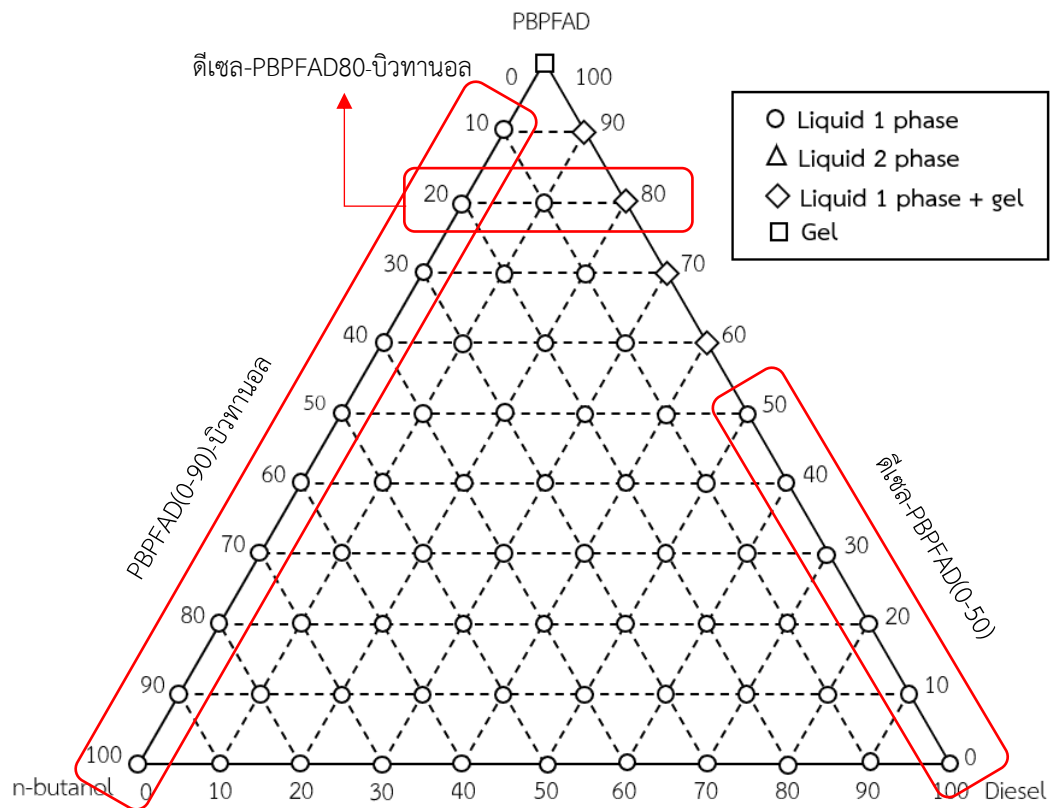


(g) 60 wt.%

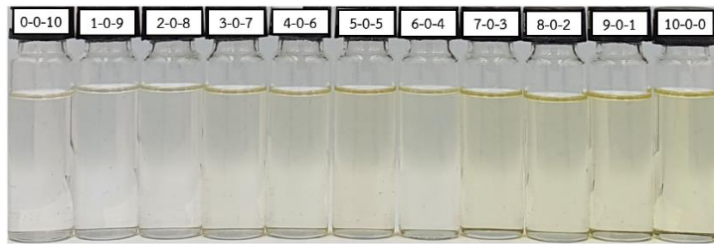


(f) 50 wt.%

รูปที่ 5.15 พฤติกรรมเฟสของ
ดีเซล-PEPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไอล้แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล



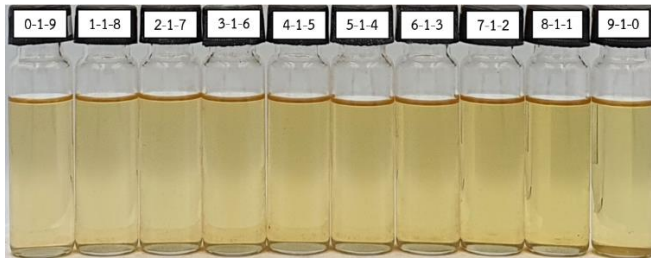
รูปที่ 5.16 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล



(a) 0 wt.%



(j) 90 wt.%



(b) 10 wt.%



(i) 80 wt.%



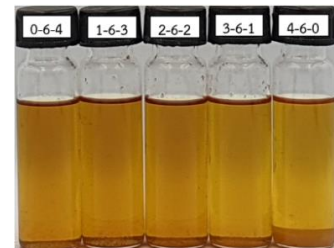
(c) 20 wt.%



(h) 70 wt.%



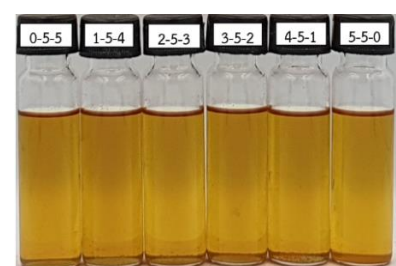
(d) 30 wt.%



(g) 60 wt.%

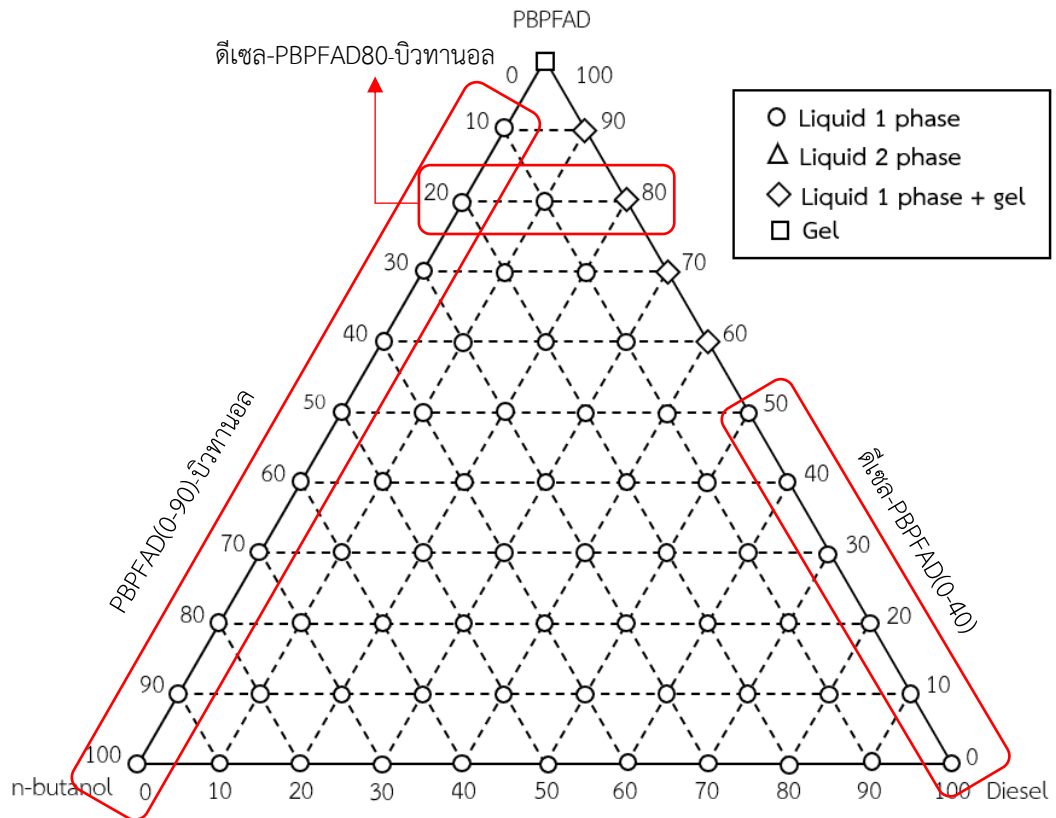


(e) 40 wt.%



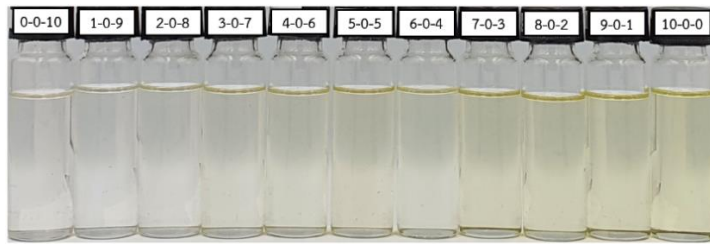
(f) 50 wt.%

รูปที่ 5.17 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล



รูปที่ 5.18 เฟสไดอะแกรมของ

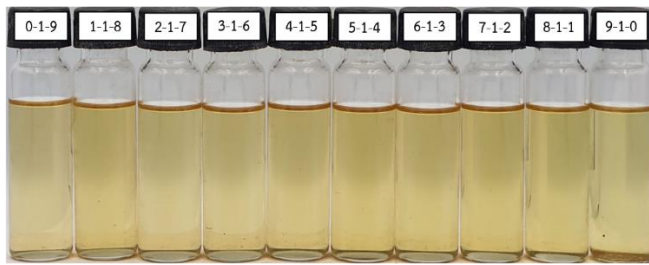
ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไอล์แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล



(a) 0 wt.%



(j) 90 wt.%



(b) 10 wt.%



(i) 80 wt.%



(c) 20 wt.%



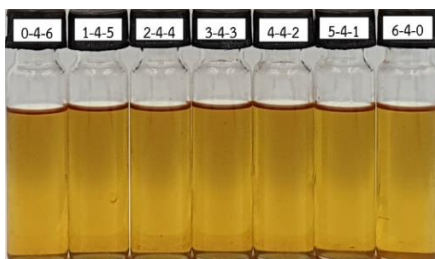
(h) 70 wt.%



(d) 30 wt.%



(g) 60 wt.%



(e) 40 wt.%



(f) 50 wt.%

รูปที่ 5.19 พฤติกรรมเฟสของ
ดีเซล-PBPFAD (1:1) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล

ตารางที่ 5.2 เชื้อเพลิงผสมของเหลวเฟสเดียวที่ส่วนกลั่นกรดไขมันพอลิเมอร์ไฮดรอกซีพอลิเมอร์เอสเตอร์รีไฟน์บางส่วน (1:1)

ส่วนกลั่นกรดไขมันพอลิเมอร์ไฮดรอกซีพอลิเมอร์เอสเตอร์รีไฟน์บางส่วน	เชื้อเพลิงผสม	สัดส่วนผสม ไม่เกิน (wt.%)
PEPFAD แบบล้าง	PEPFAD-AhE	90
	PEPFAD-AhnB	80
	CHSD-PEPFAD	40
	CHSD-PEPFAD-AhE	80
	CHSD-PEPFAD-AhnB	80
PEPFAD แบบอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ	PEPFAD-AhE	90
	PEPFAD-AhnB	80
	CHSD-PEPFAD	40
	CHSD-PEPFAD-AhE	80
	CHSD-PEPFAD-AhnB	80
PBPFAD แบบล้าง	PBPFAD-AhE	90
	PBPFAD-AhnB	90
	CHSD-PBPFAD	50
	CHSD-PBPFAD-AhE	80
	CHSD-PBPFAD-AhnB	80
PBPFAD แบบอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ	PBPFAD-AhE	90
	PBPFAD-AhnB	90
	CHSD-PBPFAD	50
	CHSD-PBPFAD-AhE	80
	CHSD-PBPFAD-AhnB	80

5.2.3 เชื้อเพลิงผสมส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วนที่สกัดด้วยโมล 1:2

ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน ที่ใช้ในการศึกษาคือ PEPFAD และ PBPFD ที่สกัดด้วยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2 โดยแบ่งตามวิธีการทำความสะอาด คือ การล้าง และการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ

จากการทดสอบหาค่าองค์ประกอบของน้ำมันด้วยเทคนิค thin layer chromatography/flame ionization detector (TLC/FID) ด้วยตัวอย่าง PEPFAD (1:2) พบว่ามีปริมาณองค์ประกอบเอสเทอร์ที่ 88.8 wt.% กรดไขมันอิสระ 10.0 wt.% และองค์ประกอบอื่นๆ 1.2 wt.% และ PBPFD (1:2) พบว่ามีปริมาณองค์ประกอบเอสเทอร์ที่ 93.2 wt.% กรดไขมันอิสระ 6.0 wt.% และองค์ประกอบอื่นๆ 0.8 wt.% มีลักษณะทางกายภาพ เป็นไขชั้นกลางและชั้นบนเป็นของเหลวประมาณร้อยละ 80-90 สำหรับ PEPFAD (1:2) และเป็นของเหลวทั้งหมดสำหรับ PBPFD (1:2) ดังรูปที่ 5.20 (ก) และ (ง)

จากลักษณะทางกายภาพของ PEPFAD (1:2) ที่เป็นไขชั้นกลางและชั้นบนเป็นของเหลว และ PBPFD (1:2) เป็นของเหลวทั้งหมด ส่งผลให้จุดหลอมเหลวมีค่าที่ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับ PEPFAD และ PBPFD ที่สกัดด้วยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6 และ 1:1 ดังนั้น การนำเอทานอลและบิวทานอลที่มีจุดไหลเทต่ำมาใช้เป็นส่วนผสมเชื้อเพลิงเพื่อปรับปรุงเฟสของ PEPFAD จะมีความจำเป็นที่น้อยกว่าอย่างมีนัยยะสำคัญ

ผลของเอทานอล/บิวทานอลต่อการปรับปรุงเฟสของส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วนในเชื้อเพลิงผสม และการใช้ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วนเป็นตัวประสานสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน-เอทานอล และ ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน-บิวทานอล เพื่อเป็นเชื้อเพลิงเหลวเฟสเดียวที่อุณหภูมิรายวัน 24-36°C เวลา 90 วัน ได้รวบรวมข้อมูลในตารางที่ 5.3

เชื้อเพลิงผสมสองส่วน ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน-เอทานอล พบว่าสามารถผสม PEPFAD (1:2) และ PBPFD (1:2) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำได้สูงสุด 90 wt.%

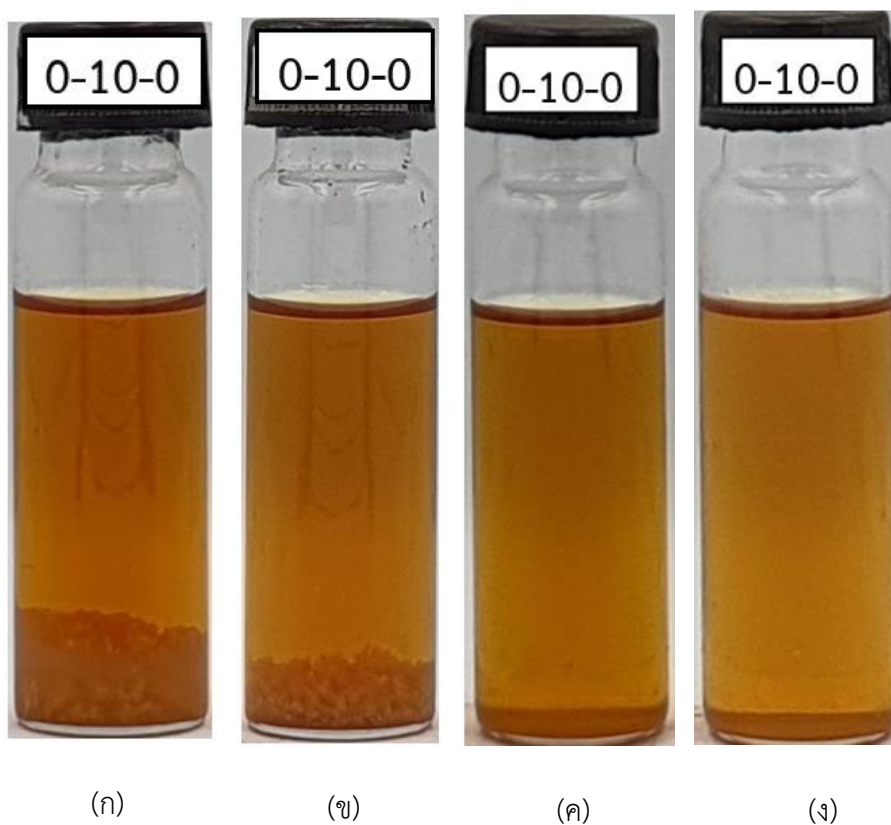
เชื้อเพลิงผสมสองส่วน ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน-บิวทานอล พบว่าสามารถผสม PEPFAD (1:2) และ PBPFD (1:2) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำได้สูงสุด 90 wt.%

เชื้อเพลิงผสมสองส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน พบว่าสามารถผสม PEPFAD (1:2) และ PBPFAD (1:2) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำได้สูงสุด 90wt.%

เชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-เอทานอล พบว่า พบว่าสามารถผสม PEPFAD (1:2) และ PBPFAD (1:2) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำได้สูงสุด 80 wt.%

เชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-บิวทานอล พบว่า พบว่าสามารถผสม PEPFAD (1:2) และ PBPFAD (1:2) จากกระบวนการล้างและการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำได้สูงสุด 80 wt.%

จากผลการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวของเชื้อเพลิงผสม ทั้ง 24 เงื่อนไข ตัวอย่างเชื้อเพลิงจะถูกเลือก เพื่อทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำ ตามมาตรฐานสมาคมการทดสอบและวัสดุอเมริกัน (American Society for Testing and Materials : ASTM) ประกอบด้วย จุดขุ่น จุดไหลเท และความหนืดจลนศาสตร์ เปรียบเทียบกับมาตรฐานดีเซลหมุนเร็ว (high speed diesel : HSD) และดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (agricultural engine diesel : AED) ของประเทศไทย จากนั้นจึงเลือกตัวอย่างเชื้อเพลิงผสมสำหรับทดสอบใช้งานในเครื่องยนต์เบื้องต้นเปรียบเทียบกับดีเซลบนแท่นทดสอบ โดยจะทดสอบคุณสมบัติเพิ่มเติม ประกอบด้วย ค่าความหนาแน่น ค่าความร้อน และค่าซีเทน ดังแสดงในตารางที่ 5.4 เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณหาสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ต่อไป



รูปที่ 5.20 ลักษณะเฟสของส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟน์บางส่วน
ที่สกัดด้วยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2

- (ก) PEPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง
- (ข) PEPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ
- (ค) PEPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง
- (ง) PEPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ

ตารางที่ 5.3 เชื้อเพลิงผสมของเหลวเฟสเดียวที่ส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์รีไฟน์บางส่วน (1:2)

ส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์รีไฟน์บางส่วน	เชื้อเพลิงผสม	สัดส่วนผสม ไม่เกิน (wt.%)
PEPFAD แบบล้าง	PEPFAD-AhE	90
	PEPFAD-AhnB	90
	CHSD-PEPFAD	90
	CHSD-PEPFAD-AhE	80
	CHSD-PEPFAD-AhnB	80
PEPFAD แบบอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ	PEPFAD-AhE	90
	PEPFAD-AhnB	90
	CHSD-PEPFAD	90
	CHSD-PEPFAD-AhE	80
	CHSD-PEPFAD-AhnB	80
PBPFAD แบบล้าง	PBPFAD-AhE	90
	PBPFAD-AhnB	90
	CHSD-PBPFAD	90
	CHSD-PBPFAD-AhE	80
	CHSD-PBPFAD-AhnB	80
PBPFAD แบบอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ	PBPFAD-AhE	90
	PBPFAD-AhnB	90
	CHSD-PBPFAD	90
	CHSD-PBPFAD-AhE	80
	CHSD-PBPFAD-AhnB	80

5.3 วัสดุและวิธีการสำหรับการทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำ

การเลือกตัวอย่างเชื้อเพลิงทดสอบ : เนื่องจากเหตุผลด้านงบประมาณ และเวลาในการทำวิจัย จึงไม่สามารถนำเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นของเหลวเฟสเดียวและมีความเสถียรทั้งหมดไปทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงสำคัญได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกเชื้อเพลิงที่น่าสนใจจากผลพฤติกรรมเฟสระยะยาวของเชื้อเพลิงผสมมีเงื่อนไขที่ชัดเจน คือ เชื้อเพลิงผสมนั้นจะต้องเป็นของเหลวเฟสเดียวและมีความเสถียรระยะยาวที่บรรยากาศปกติ (อุณหภูมิรายวันในช่วง 22-34°C) เป็นเวลา 90 วัน นอกจากนี้จะใช้สัดส่วนการผสมแอลกอฮอล์เป็นตัวช่วยตัดสินใจ โดยจะศึกษาในสัดส่วนแอลกอฮอล์ระดับต่ำก่อน โดยเฉพาะที่สัดส่วนผสมแอลกอฮอล์ ≤ 20 wt.% เนื่องจากเหตุผลด้านคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่น่าจะใกล้เคียงกับดีเซล ดังนั้นตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ส่งทดสอบจะประกอบด้วย

- ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน ที่สัดส่วน PFAD ต่อ เอทานอล/บิวทานอล เท่ากับ 1:0.6 ได้แก่ PEPFAD(10-30), PBPFAD(10-30), PEPFAD(10-40)AhE10, PBPFAD(10-40)AhE10, PEPFAD(10-50)AhnB10, PBPFAD(10-50)AhnB10, PEPFAD(10-50)AhnB20 และ PBPFAD(10-50)AhnB20

- ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน ที่สัดส่วน PFAD ต่อ เอทานอล/บิวทานอล เท่ากับ 1:1 ได้แก่ PEPFAD(10-40), PBPFAD(10-40), PEPFAD(10-90)AhE10, PBPFAD(10-90)AhE10, PEPFAD(10-70)AhnB10, PBPFAD(10-70)AhnB10, PEPFAD(10-70)AhnB20 และ PBPFAD(10-70)AhnB20

- ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน ที่สัดส่วน PFAD ต่อ เอทานอล/บิวทานอล เท่ากับ 1:2 ได้แก่ PEPFAD(10-90), PBPFAD(10-90), PEPFAD(10-90)AhE10, PBPFAD(10-90)AhE10, PEPFAD(10-90)AhnB10, PBPFAD(10-90)AhnB10, PEPFAD(10-70)AhnB20 และ PBPFAD(10-70)AhnB20

โดยตัวเลขที่ตามหลัง PEPFAD, PBPFAD, AhE และ AhnB คือสัดส่วนการผสมกับดีเซลในหน่วย wt.% สามารถสรุปได้ง่าย ดังแสดงในตารางที่ 5.5 ซึ่งแต่ละการทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงตัวอย่างเชื้อเพลิงจะถูกเลือกอีกครั้งตามความเหมาะสม

ตารางที่ 5.4 คุณสมบัติเชื้อเพลิงเปรียบเทียบมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทย

คุณสมบัติเชื้อเพลิง	มาตรฐานทดสอบ	เกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทย	
		HSD	AED
จุดขุ่น (°C)	ASTM D2500	n.a.	n.a.
จุดไหลเท (°C)	ASTM D97	≤10	n.a.
ความหนืดจลนศาสตร์ ที่ 40°C (mm ² /s)	ASTM D445	1.8-4.1	1.9-8.0
ความหนาแน่น ที่ 15.6°C (g/l)	ASTM D1298	810-870	860-900
ค่าความร้อน (MJ/kg)	ASTM D240	n.a.	n.a.
ค่าซีเทน	ASTM D613	≥50	≥47

HSD : high speed diesel ; AED : agricultural engine diesel ; n.a. : ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 5.5 ตัวอย่างเชื้อเพลิงทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหล

ชนิดเชื้อเพลิง	ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน (wt.%)		
	PEPFAD/PBPFAD 1:0.6	PEPFAD/PBPFAD 1:1	PEPFAD/PBPFAD 1:2
เชื้อเพลิงผสมสองส่วน	10-30	10-40	10-90
เชื้อเพลิงผสมสามส่วน AhE10	10-40	10-90	10-90
เชื้อเพลิงผสมสามส่วน AhnB10	10-50	10-70	10-90
เชื้อเพลิงผสมสามส่วน AhnB20	10-50	10-70	10-70

หมายเหตุ : เชื้อเพลิงผสมทั้ง 4 ชนิด มีส่วนผสมดีเซลเป็นพื้นฐานตามสัดส่วนที่เหลือจากองค์ประกอบที่กำหนด

สำหรับค่าจุดขุ่น/จุดไหลเท ความหนืดจลนศาสตร์ และความหนาแน่น จะถูกส่งทดสอบ ที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ค่าความร้อน จะถูกส่งทดสอบ ที่สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และค่า

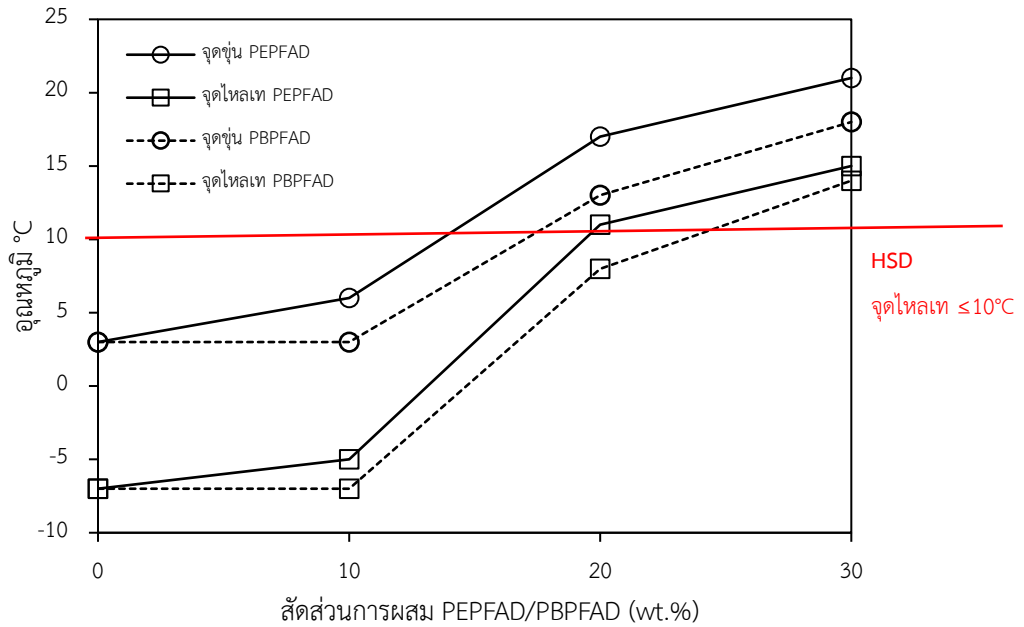
ซีเทน ส่งทดสอบที่ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ตามมาตรฐานสมาคมการทดสอบและวัสดุอเมริกัน (American Society for Testing and Materials : ASTM)

5.4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำ

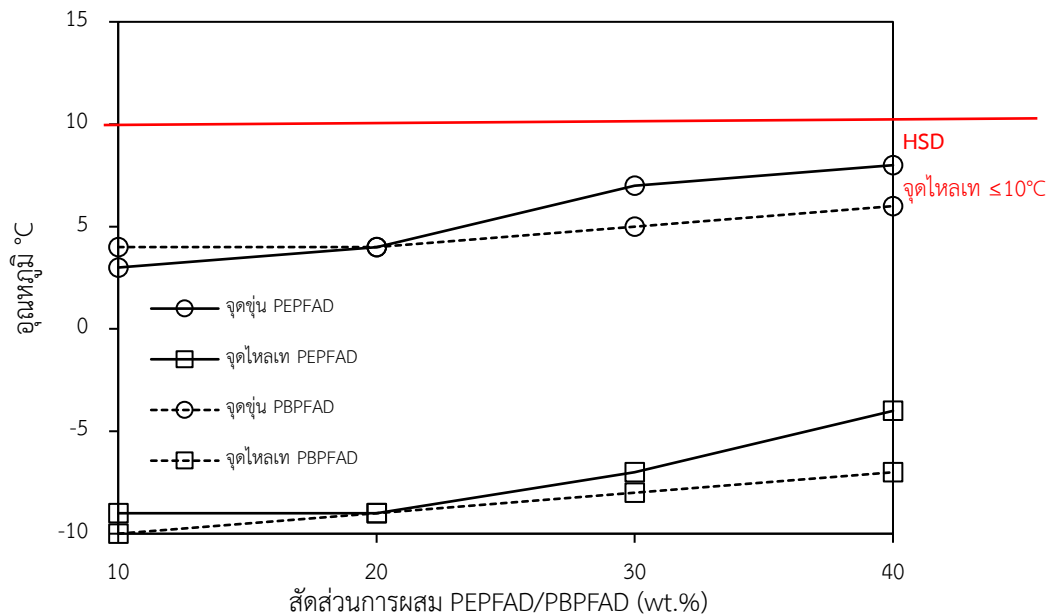
5.4.1 จุดขุ่น/จุดไหลเท เป็นคุณสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่สำคัญของดีเซล จุดขุ่น (cloud point) หมายถึง อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงเริ่มตกผลึกเป็นฝ้ามีความสำคัญมาก เพราะการที่ไขเริ่มตกผลึกจะทำให้ชุดกรองเชื้อเพลิงตันอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ระบบสูบน้ำมันมีปัญหา จุดไหลเท (pour point) หมายถึง อุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงยังเป็นของเหลวพอจะไหลได้ ดังนั้น จุดขุ่นและจุดไหลเทของเชื้อเพลิงที่น่าสนใจจะถูกทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2500 และ ASTM D97 ตามลำดับ และเปรียบเทียบดีเซลตามมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทย

จากผลการทดสอบ สำหรับ PEPFAD และ PBPFD ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6 พบว่า PEPFAD(10-30) และ PBPFD(10-30) ที่สัดส่วน 10 wt.% มีค่าใกล้เคียงกับดีเซล แต่เมื่อเพิ่ม ≥ 20 wt.% ค่าจุดขุ่นและจุดไหลเทจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ $+14^{\circ}\text{C}$ ถึง $+18^{\circ}\text{C}$ และ $+18^{\circ}\text{C}$ ถึง $+22^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ $+10^{\circ}\text{C}$ ถึง $+15^{\circ}\text{C}$ และ $+15^{\circ}\text{C}$ ถึง $+21^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFD ดังรูปที่ 5.21 PEPFAD(10-40)AhE10 และ PBPFD(10-40)AhE10 พบว่า ในช่วงการผสม ≤ 40 wt.% มีค่าจุดขุ่นและจุดไหลเทมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย $+0^{\circ}\text{C}$ ถึง $+5^{\circ}\text{C}$ และ -2°C ถึง $+3^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ $+1^{\circ}\text{C}$ ถึง $+3^{\circ}\text{C}$ และ -3°C ถึง 0°C ตามลำดับ สำหรับ PBPFD ดังรูปที่ 5.22 PEPFAD(10-50)AhnB10 และ PBPFD(10-50)AhnB10 พบว่า ในช่วงการผสม ≤ 30 wt.% มีค่าที่ใกล้เคียงดีเซล $+1^{\circ}\text{C}$ ถึง $+2^{\circ}\text{C}$ และ -2°C ถึง 0°C ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ $+3^{\circ}\text{C}$ และ 0°C ถึง $+1^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFD แต่เมื่อการผสมที่สัดส่วน 50 wt.% มีค่าจุดขุ่น/จุดไหลเทที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ $+20^{\circ}\text{C}$ และ $+20^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ $+8^{\circ}\text{C}$ และ $+15^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFD ดังรูปที่ 5.23 PEPFAD(10-50)AhnB20 และ PBPFD(10-50)AhnB20 พบว่า ในช่วงการผสม ≤ 50 wt.% ค่าจุดขุ่นจุดไหลเทมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย $+0^{\circ}\text{C}$ ถึง $+8^{\circ}\text{C}$ และ -3°C ถึง $+9^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ $+2^{\circ}\text{C}$ ถึง $+5^{\circ}\text{C}$ และ 0°C ถึง $+2^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFD ดังรูปที่ 5.24 จากผลการทดสอบข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า จุดขุ่น/จุดไหลเท มีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน PEPFAD/PBPFD เช่นเดียวกับการผสม PFAD เนื่องจาก PEPFAD/PBPFD ยังคงมีลักษณะเป็นไขที่อุณหภูมิห้อง แต่มีปริมาณเอสเทอร์ที่มีสถานะเป็นของเหลวไม่น้อยกว่า 40 wt.% จึงสามารถปรับปรุงคุณสมบัติ จุดขุ่น/จุดไหลเท ได้ดีกว่า PFAD และมีตัวอย่างผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร ดังนี้ เชื้อเพลิงผสม PEPFAD ประกอบด้วย PEPFAD10,

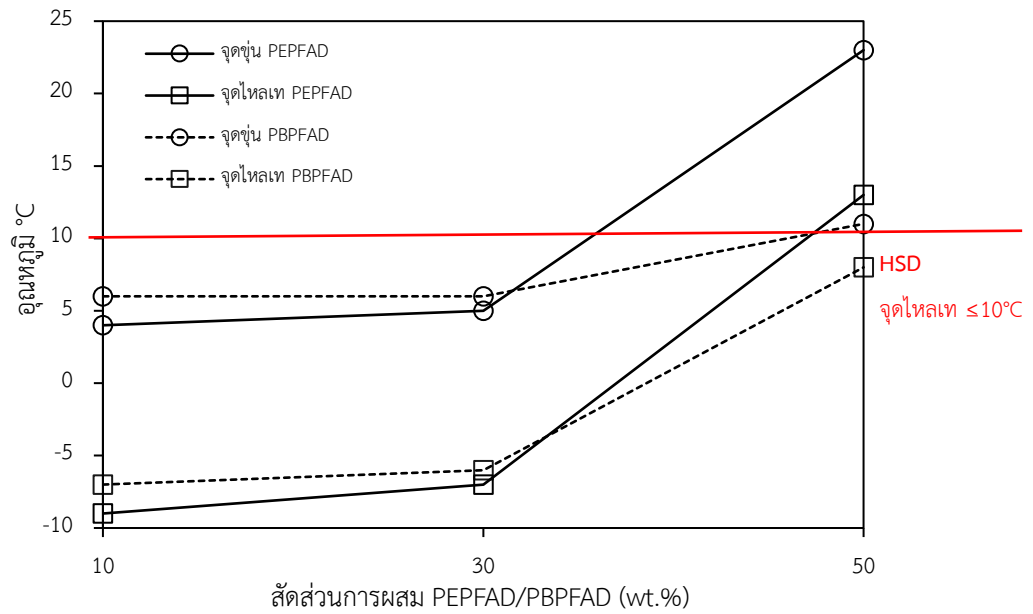
PEPFAD(10-40)AhE10, PEPFAD(10-30)AhnB10 และ PEPFAD(10-50)AhnB20 เชื้อเพลิงผสม PBPFAD ประกอบด้วย PBPFAD(10-20), PBPFAD(10-40)AhE10, PBPFAD(10-50)AhnB10 และ PBPFAD(10-50)AhnB20



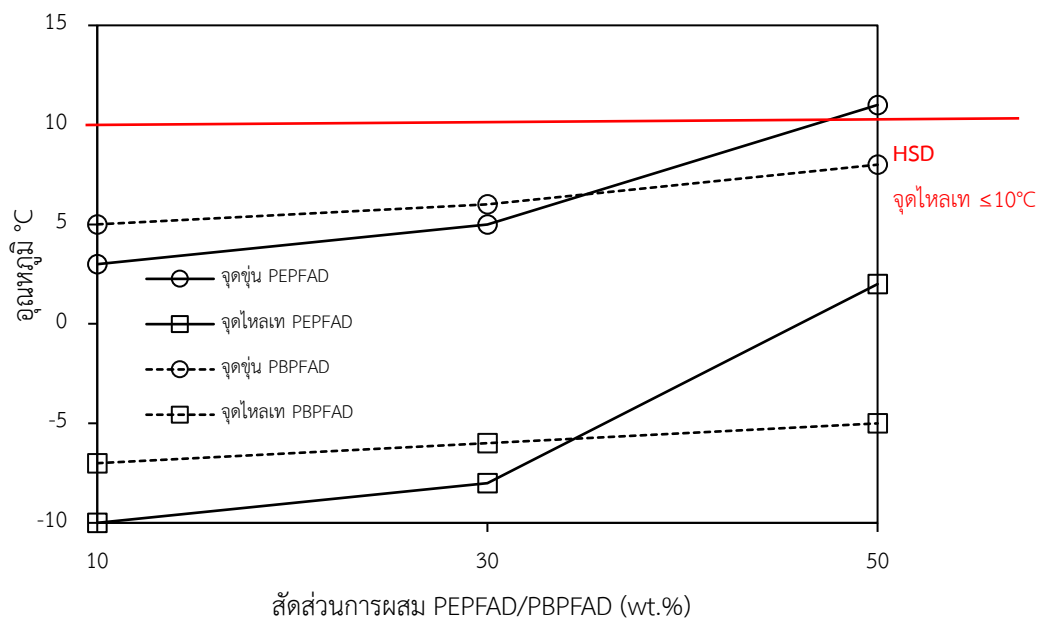
รูปที่ 5.21 จุดหลอมและจุดหลอมเท PEPFAD(10-30) และ PBPFAD(10-30) ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6



รูปที่ 5.22 จุดหลอมและจุดหลอมเท PEPFAD(10-40)AhE10 และ PBPFAD(10-40)AhE10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6

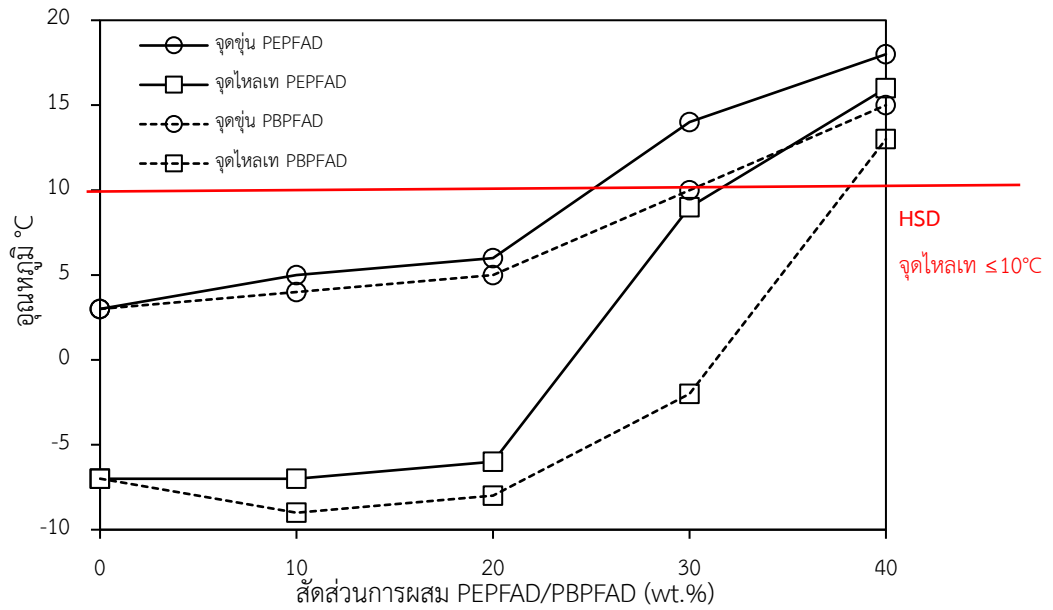


รูปที่ 5.23 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-50)AhnB10 และ PBPFFAD(10-50)AhnB10 ที่สั้ดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6



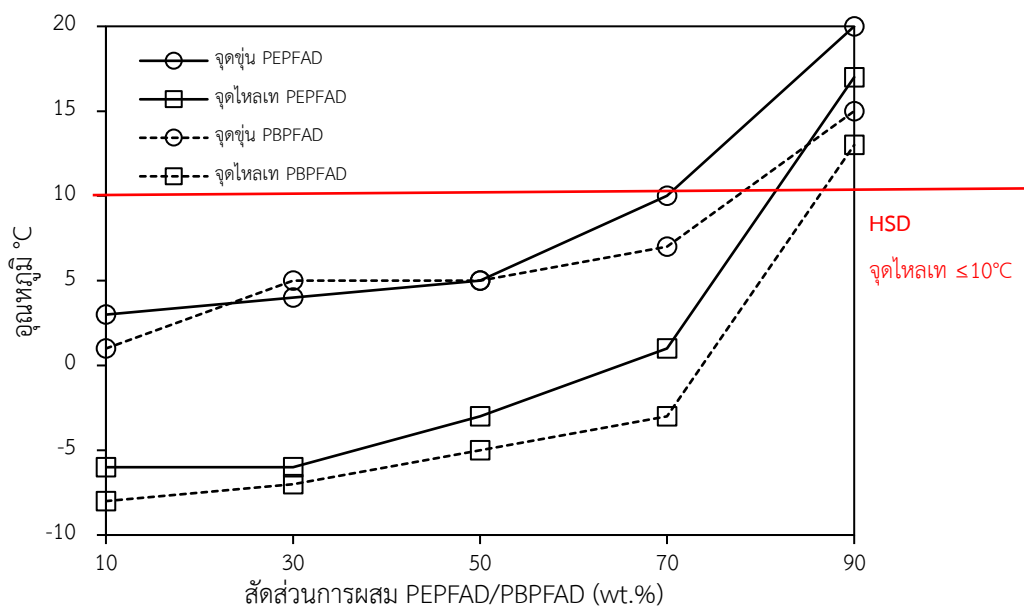
รูปที่ 5.24 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-50)AhnB20 และ PBPFFAD(10-50)AhnB20 สั้ดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6

สำหรับ PEPFAD และ PBPFAD ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1 พบว่า PEPFAD(10-40) และ PBPFAD(10-40) ที่สัดส่วน ≤ 20 wt.% มีค่าใกล้เคียงกับดีเซล $+2^{\circ}\text{C}$ ถึง $+3^{\circ}\text{C}$ และ 0°C ถึง $+1^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ $+1^{\circ}\text{C}$ ถึง $+2^{\circ}\text{C}$ และ -2°C ถึง -1°C ตามลำดับ สำหรับ PBPFAD แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วน ≥ 30 wt.% ค่าจุดขุ่นและจุดไหลเทจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ $+11^{\circ}\text{C}$ ถึง $+15^{\circ}\text{C}$ และ $+16^{\circ}\text{C}$ ถึง $+23^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ $+7^{\circ}\text{C}$ ถึง $+12^{\circ}\text{C}$ และ $+5^{\circ}\text{C}$ ถึง $+20^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFAD ดังรูปที่ 5.25 PEPFAD(10-90)AhE10 และ PBPFAD(10-90)AhE10 พบว่า ในช่วงการผสม ≤ 50 wt.% มีค่าจุดขุ่นและจุดไหลเทมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย 0°C ถึง $+2^{\circ}\text{C}$ และ $+1^{\circ}\text{C}$ ถึง $+4^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ -2°C ถึง $+2^{\circ}\text{C}$ และ -1°C ถึง $+2^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFAD แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วน ≥ 70 wt.% ค่าจุดขุ่นและจุดไหลเทจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ $+7^{\circ}\text{C}$ ถึง $+17^{\circ}\text{C}$ และ $+8^{\circ}\text{C}$ ถึง $+24^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ $+4^{\circ}\text{C}$ ถึง $+12^{\circ}\text{C}$ และ $+4^{\circ}\text{C}$ ถึง $+20^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFAD ดังรูปที่ 5.26 PEPFAD(10-70)AhnB10 และ PBPFAD(10-70)AhnB10 พบว่า ในช่วงการผสม ≤ 50 wt.% ค่าจุดขุ่นและจุดไหลเทมีค่าใกล้เคียงดีเซล 0°C ถึง $+2^{\circ}\text{C}$ และ -2°C ถึง $+4^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ -2°C ถึง $+1^{\circ}\text{C}$ และ 0°C ถึง $+1^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFAD แต่เมื่อสัดส่วน 70 wt.% มีค่าจุดขุ่นจุดไหลเทที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ $+16^{\circ}\text{C}$ และ $+10^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ $+7^{\circ}\text{C}$ และ $+8^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFAD ดังรูปที่ 5.27 PEPFAD(10-50)AhnB20 และ PBPFAD(10-50)AhnB20 พบว่า ในช่วงการผสม ≤ 70 wt.% ค่าจุดขุ่นจุดไหลเทมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย -1°C ถึง $+7^{\circ}\text{C}$ และ -2°C ถึง $+6^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ -4°C ถึง $+4^{\circ}\text{C}$ และ -3°C ถึง $+4^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFAD ดังรูปที่ 5.28 จากผลการทดสอบข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า จุดขุ่น/จุดไหลเท มีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน PEPFAD/PBPFAD เช่นเดียวกับการผสม PEPFAD/PBPFAD ที่สัดส่วน 1:0.6 เนื่องจาก PEPFAD/PBPFAD ยังคงมีลักษณะเป็นไขที่อุณหภูมิห้อง แต่มีปริมาณเอสเทอร์ที่มีสถานะเป็นของเหลวไม่น้อยกว่า 60 wt.% จึงสามารถปรับปรุงคุณสมบัติ จุดขุ่น/จุดไหลเท ได้ดีกว่า PEPFAD/PBPFAD ที่สัดส่วน 1:0.6 และมีตัวอย่างผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร ดังนี้ เชื้อเพลิงผสม PEPFAD ประกอบด้วย PEPFAD(10-30), PEPFAD(10-70)AhE10, PEPFAD(10-70)AhnB10 และ PEPFAD(10-70)AhnB20 เชื้อเพลิงผสม PBPFAD ประกอบด้วย PBPFAD(10-30), PBPFAD(10-70)AhE10, PBPFAD(10-70)AhnB10 และ PBPFAD(10-70)AhnB20 มีค่าจุดขุ่นและจุดไหลเทผ่านทั้งมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร



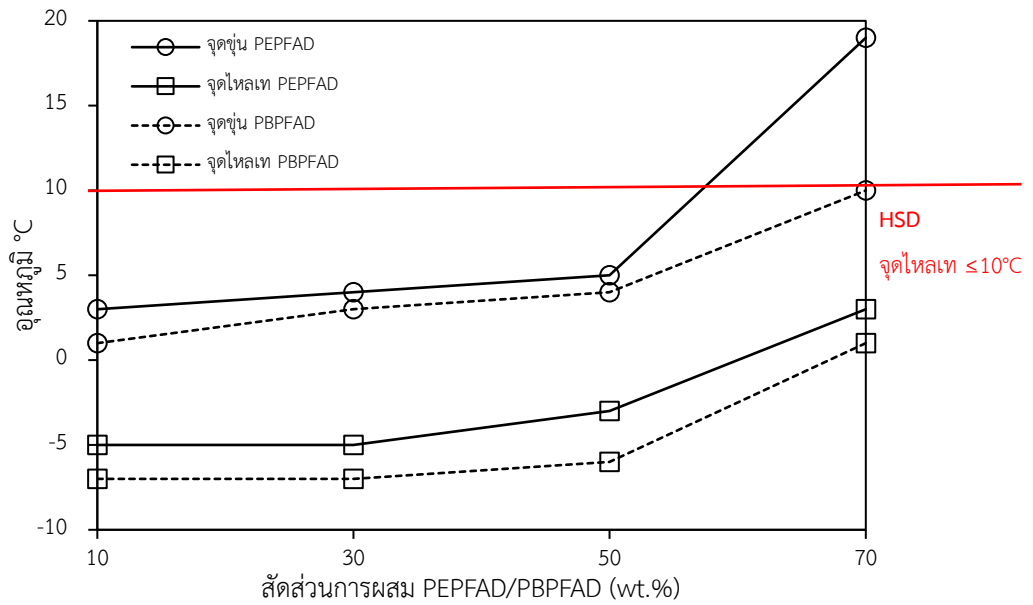
รูปที่ 5.25 จุดหลอมและจุดไหลเท PEPFAD(10-40) และ PBPFFAD(10-40)

ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1

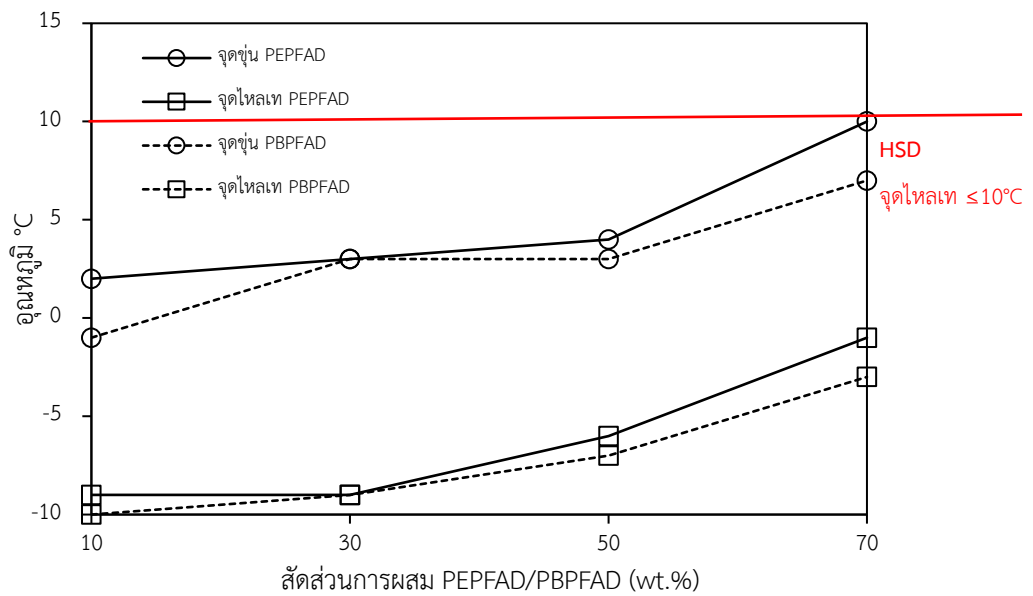


รูปที่ 5.26 จุดหลอมและจุดไหลเท PEPFAD(10-90)AhE10 และ PBPFFAD(10-90)AhE10

ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1

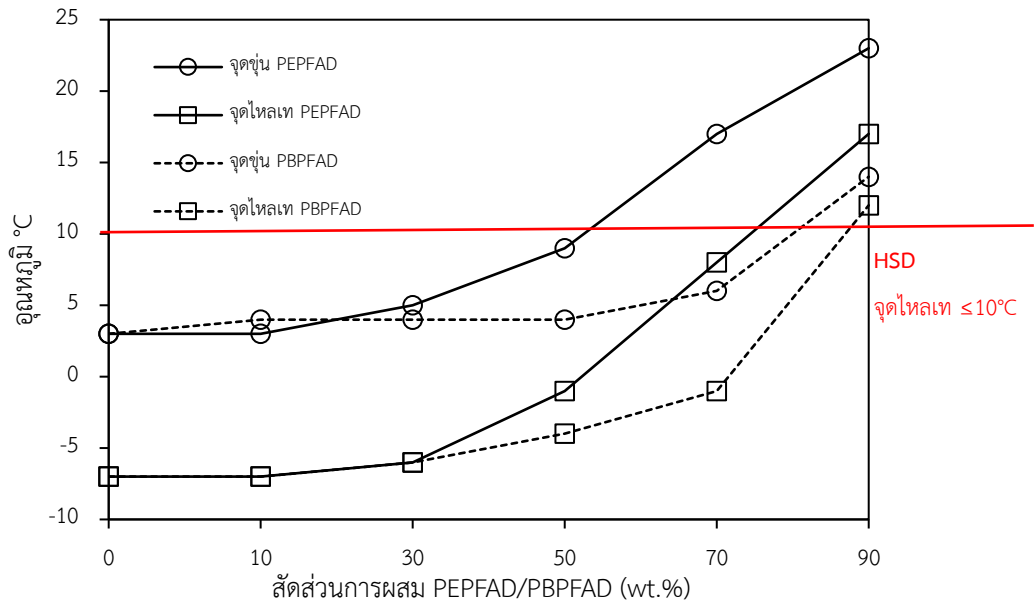


รูปที่ 5.27 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-70)AhnB10 และ PBPFAD(10-70)AhnB10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1

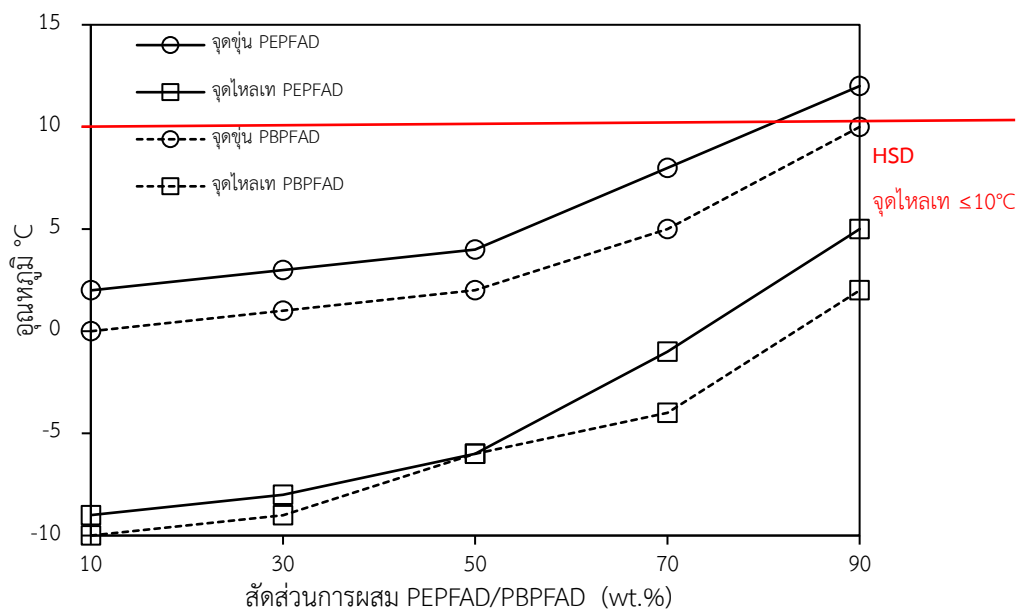


รูปที่ 5.28 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-70)AhnB20 และ PBPFAD(10-70)AhnB20 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1

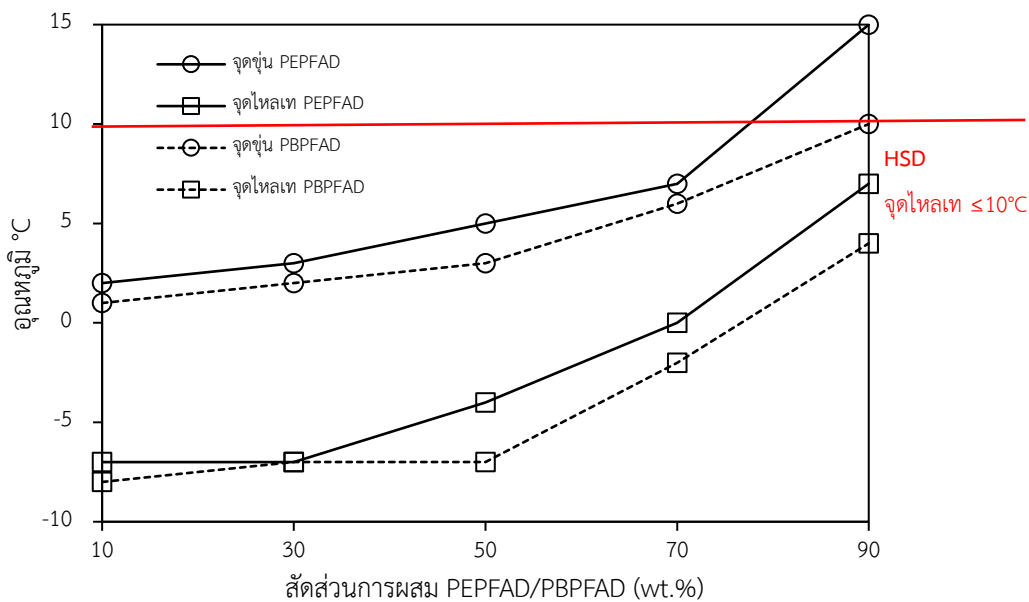
สำหรับ PEPFAD และ PBPFD ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2 พบว่า PEPFAD(10-90) และ PBPFD(10-90) ที่สัดส่วน ≤ 30 wt.% มีค่าใกล้เคียงกับดีเซล 0°C ถึง $+2^{\circ}\text{C}$ และ 0°C ถึง $+1^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และที่สัดส่วน ≤ 50 wt.% มีค่าใกล้เคียงกับดีเซล $+1^{\circ}\text{C}$ และ 0°C ถึง $+3^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFD แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วน ≥ 50 wt.% ค่าจุดชุนและจุดไหลเทจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ $+6^{\circ}\text{C}$ ถึง $+20^{\circ}\text{C}$ และ $+11^{\circ}\text{C}$ ถึง $+24^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และสัดส่วน ≥ 70 wt.% ค่าจุดชุนและจุดไหลเทจะเพิ่มขึ้น $+3^{\circ}\text{C}$ ถึง $+11^{\circ}\text{C}$ และ $+6^{\circ}\text{C}$ ถึง $+19^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFD ดังรูปที่ 5.29 PEPFAD(10-90)AhE10 และ PBPFD(10-90)AhE10 พบว่า ในช่วงการผสม ≤ 50 wt.% มีค่าจุดชุนและจุดไหลเทมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย -1°C ถึง $+1^{\circ}\text{C}$ และ -2°C ถึง $+1^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ -3°C ถึง -1°C และ -3°C ถึง $+1^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFD แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วน ≥ 70 wt.% ค่าจุดชุนและจุดไหลเทจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ $+5^{\circ}\text{C}$ ถึง $+9^{\circ}\text{C}$ และ $+6^{\circ}\text{C}$ ถึง $+12^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ $+2^{\circ}\text{C}$ ถึง $+7^{\circ}\text{C}$ และ $+3^{\circ}\text{C}$ ถึง $+9^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFD ดังรูปที่ 5.30 PEPFAD(10-90)AhnB10 และ PBPFD(10-90)AhnB10 พบว่า ค่าจุดชุนและจุดไหลเทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง -1°C ถึง $+12^{\circ}\text{C}$ และ 0°C ถึง $+14^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ -2°C ถึง $+7^{\circ}\text{C}$ และ -1°C ถึง $+11^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFD ดังรูปที่ 5.31 PEPFAD(10-70)AhnB20 และ PBPFD(10-70)AhnB20 พบว่า ค่าจุดชุนและจุดไหลเทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง -2°C ถึง $+5^{\circ}\text{C}$ และ -3°C ถึง $+5^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PEPFAD และ -4°C ถึง $+2^{\circ}\text{C}$ และ -3°C ถึง $+4^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ สำหรับ PBPFD ดังรูปที่ 5.32 จากผลการทดสอบข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า จุดชุน/จุดไหลเท มีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน PEPFAD/PBPFD เช่นเดียวกับการผสม PEPFAD/PBPFD ที่สัดส่วน 1:0.6 และ 1:1 อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก PEPFAD/PBPFD มีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง โดยมีปริมาณเอสเทอร์ที่มีสถานะเป็นของเหลวไม่น้อยกว่า 80 wt.% จึงสามารถปรับปรุงคุณสมบัติ จุดชุน/จุดไหลเท ได้ดีกว่าสัดส่วนอื่นๆ และเชื้อเพลิงผสม PEPFAD ประกอบด้วย PEPFAD(10-70), PEPFAD(10-90)AhE10, PEPFAD(10-90)AhnB10 และ PEPFAD(10-70)AhnB20 และ เชื้อเพลิงผสม PBPFD ประกอบด้วย PBPFD(10-70), PBPFD(10-90)AhE10, PBPFD(10-90)AhnB10 และ PBPFD(10-70)AhnB20 มีค่าจุดชุนและจุดไหลเทผ่านทั้งมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร



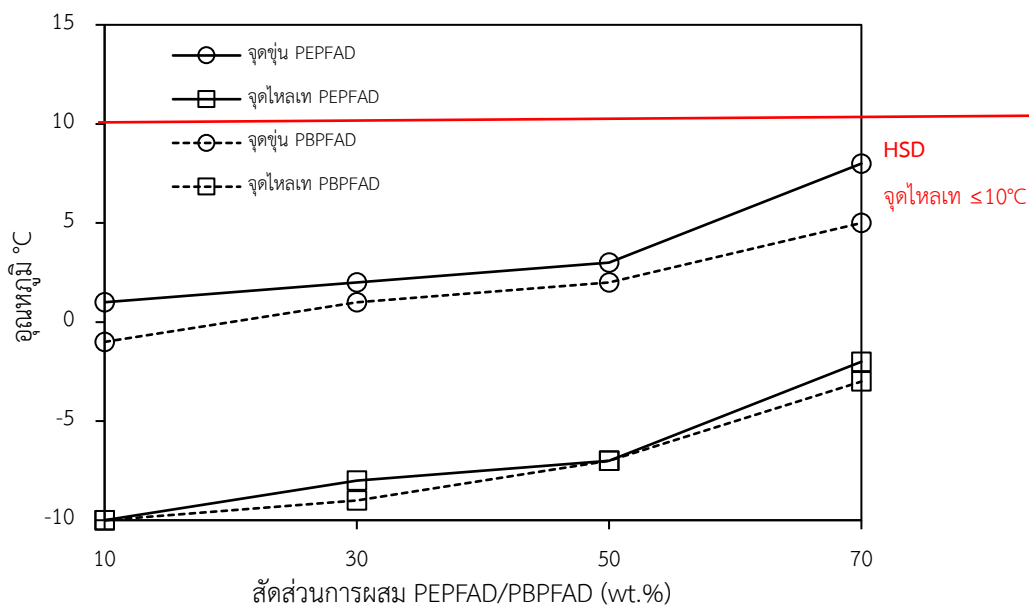
รูปที่ 5.29 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-90) และ PBPFAD(10-90) ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2



รูปที่ 5.30 จุดขุ่นและจุดไหลเท PEPFAD(10-90)AhE10 และ PBPFAD(10-90)AhE10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2



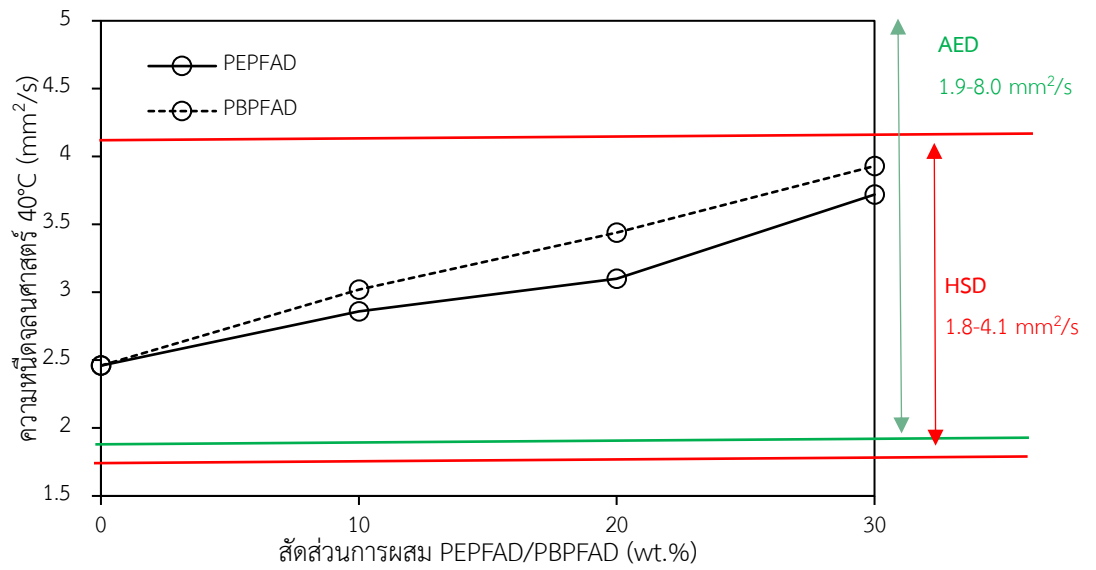
รูปที่ 5.31 จุดหลอมและจุดไหลเท PEPFAD(10-90)AhbB10 และ PBPFAF(10-90)AhbB10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2



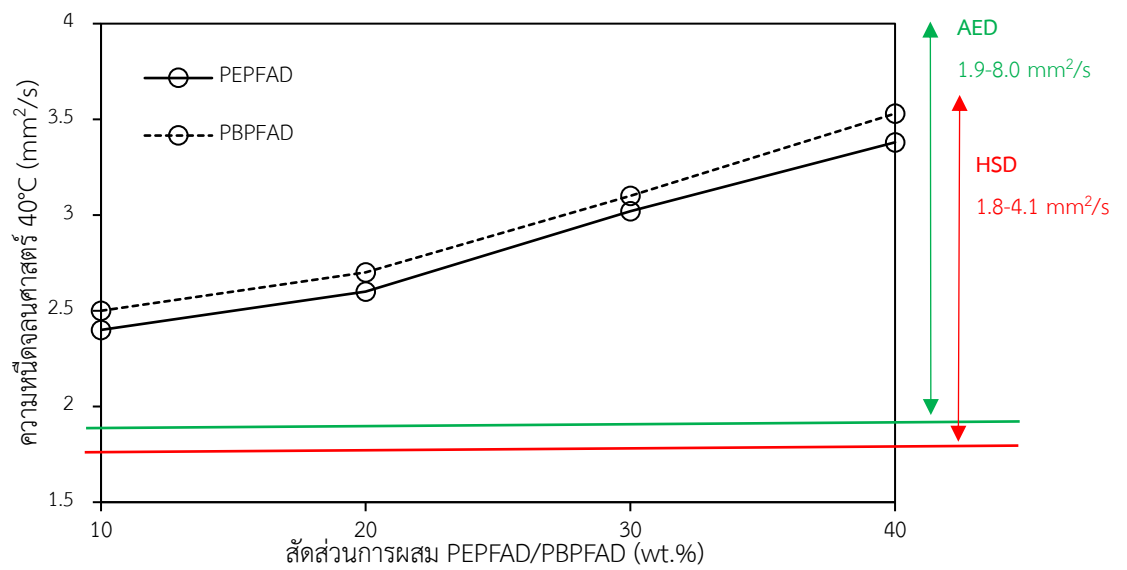
รูปที่ 5.32 จุดหลอมและจุดไหลเท PEPFAD(10-70)AhbB20 และ PBPFAF(10-70)AhbB20 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2

5.4.2 ความหนืดจลนศาสตร์ เป็นคุณสมบัติการไหลที่สำคัญประการหนึ่ง เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของระบบฉีดเชื้อเพลิงและการฉีดลักษณะเป็นฝอยละออง (atomization) และยังทำหน้าที่หล่อลื่นอุปกรณ์ภายในปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย โดยจะถูกทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D445 และเปรียบเทียบดีเซลตามมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทย

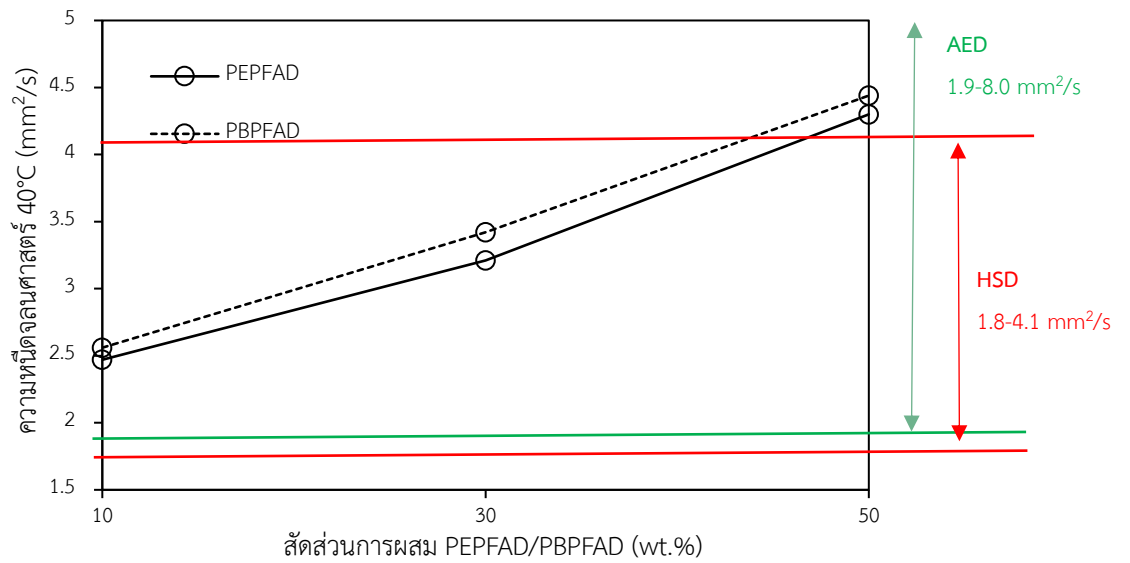
จากผลการทดสอบ สำหรับ PEPFAD และ PBPFAD ที่ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6 พบว่า PEPFAD(10-30) และ PBPFAD(10-30) มีค่าความหนืดจลนศาสตร์ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง +16.3% ถึง +51.2% สำหรับ PEPFAD และ +22.8% ถึง +59.8% สำหรับ PBPFAD ดังรูปที่ 5.33 PEPFAD(10-40)AhE10 และ PBPFAD(10-40)AhE10 พบว่า ที่สัดส่วน 10 wt.% มีค่าความหนืดจลนศาสตร์ใกล้เคียงกับดีเซล -2.4% สำหรับ PEPFAD และ +1.6% สำหรับ PBPFAD และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสัดส่วนการผสม +5.7% ถึง +37.4% สำหรับ PEPFAD และ +9.8% ถึง +43.5% สำหรับ PBPFAD ดังรูปที่ 5.34 PEPFAD(10-50)AhnB10 และ PBPFAD(10-50)AhnB10 พบว่า ที่สัดส่วน 10 wt.% มีค่าที่ใกล้เคียงดีเซล +0.4% สำหรับ PEPFAD และ +4.1% สำหรับ PBPFAD และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสัดส่วนการผสม +30.5% ถึง 74.80% สำหรับ PEPFAD และ +39.0% ถึง 80.5% สำหรับ PBPFAD ดังรูปที่ 5.35 PEPFAD(10-50)AhnB20 และ PBPFAD(10-50)AhnB20 พบว่า ที่สัดส่วน 10 wt.% มีค่าที่ใกล้เคียงดีเซล -1.6% สำหรับ PEPFAD และ +2.4% สำหรับ PBPFAD และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสัดส่วนการผสม +25.6% ถึง +65.0% สำหรับ PEPFAD และ +30.5% ถึง 66.3% สำหรับ PBPFAD ดังรูปที่ 5.36 จากผลการทดสอบข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ความหนืดจลนศาสตร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน PEPFAD/PBPFAD แต่มีอัตราที่น้อยกว่าการผสม PFAD โดยตรง เนื่องจาก PEPFAD/PBPFAD มีปริมาณเอสเทอร์ที่มีสถานะเป็นของเหลวไม่น้อยกว่า 40 wt.% จึงสามารถปรับปรุงคุณสมบัติความหนืดจลนศาสตร์ได้เป็นอย่างดี และมีตัวอย่างผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร ดังนี้ เชื้อเพลิงผสม PEPFAD ประกอบด้วย PEPFAD(10-30), PEPFAD(10-40)AhE10, PEPFAD(10-30)AhnB10 และ PEPFAD(10-50)AhnB20 และเชื้อเพลิงผสม PBPFAD ประกอบด้วย PBPFAD(10-30), PBPFAD(10-40)AhE10, PBPFAD(10-30)AhnB10 และ PBPFAD(10-50)AhnB20



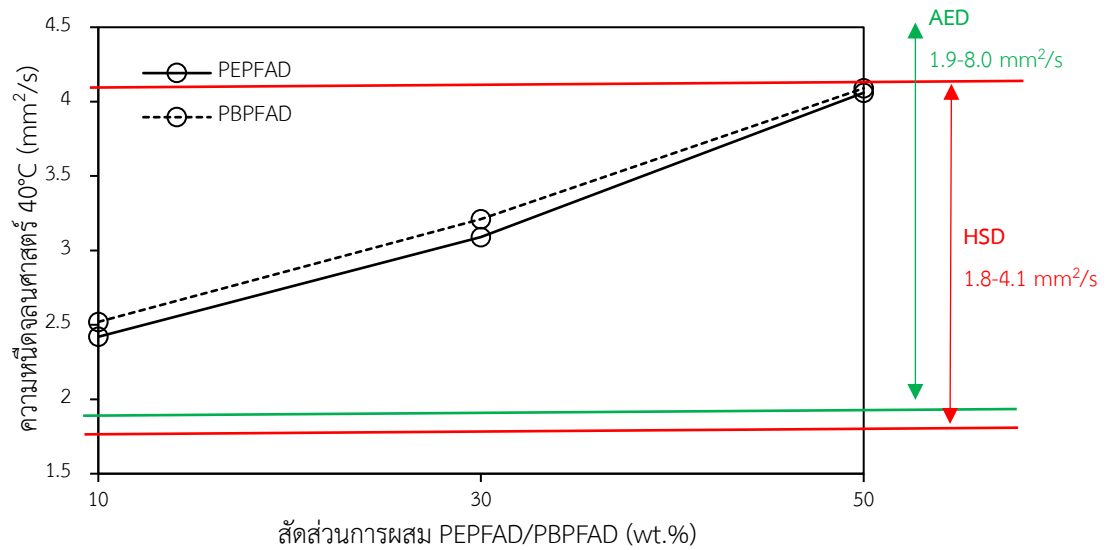
รูปที่ 5.33 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-30) และ PBPFAD(10-30) ที่สั้ดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6



รูปที่ 5.34 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-40)AhE10 และ PBPFAD(10-40)AhE10 ที่สั้ดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6



รูปที่ 5.35 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-50)Ahb10 และ PBPFAD(10-50)Ahb10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6

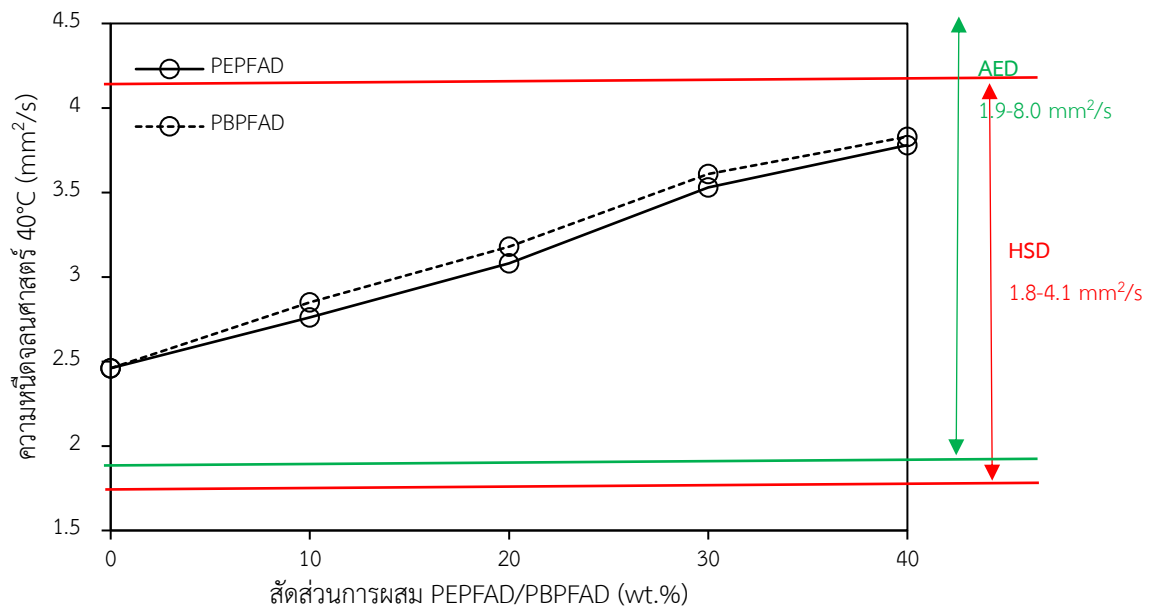


รูปที่ 5.36 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-50)Ahb20 และ PBPFAD(10-50)Ahb20 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6

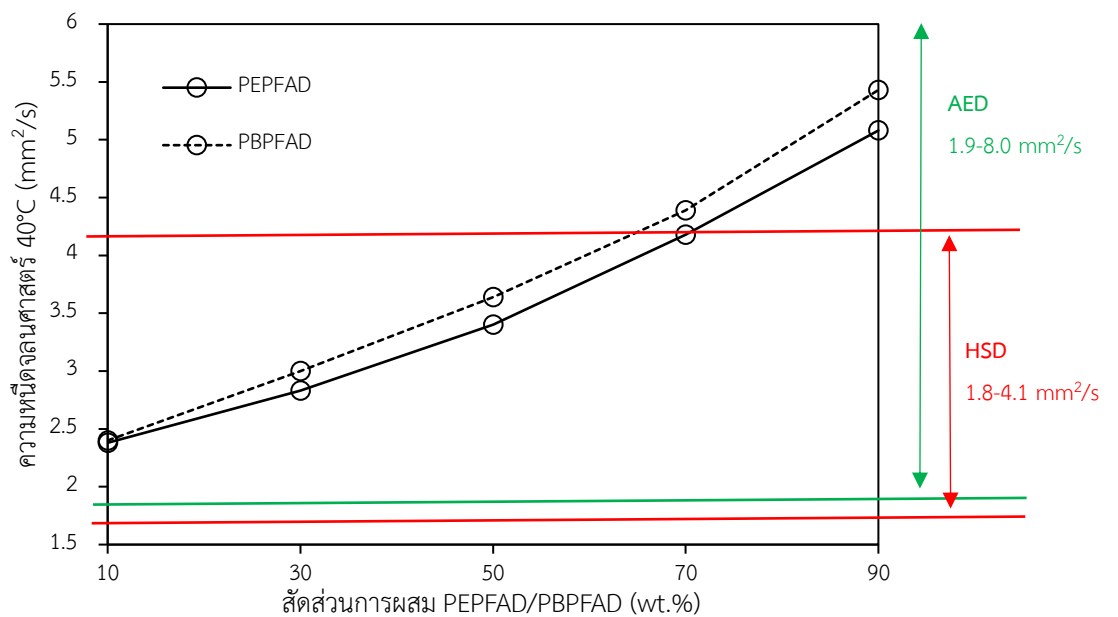
สำหรับ PEPFAD และ PBPfAD ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1 พบว่า PEPFAD(10-40) และ PBPfAD(10-40) มีค่าความหนืดจลนศาสตร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง +12.2% ถึง +53.7% สำหรับ PEPFAD และ +15.9% ถึง +55.7% สำหรับ PBPfAD ดังรูปที่ 5.37 PEPFAD(10-90)AhE10 และ PBPfAD(10-90)AhE10 พบว่า ที่สัดส่วน 10 wt.% มีค่าความหนืดจลนศาสตร์ใกล้เคียงกับดีเซล -3.3% สำหรับ PEPFAD และ -2.4% สำหรับ PBPfAD และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสัดส่วนการผสม +15.0% ถึง +106.5% สำหรับ PEPFAD และ +22.0% ถึง +120.7% สำหรับ PBPfAD ดังรูปที่ 5.38 PEPFAD(10-70)AhnB10 และ PBPfAD(10-70)AhnB10 พบว่า ที่สัดส่วน 10 wt.% มีค่าที่ใกล้เคียงดีเซล-2.4% สำหรับ PEPFAD และ+1.6% สำหรับ PBPfAD และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสัดส่วนการผสม +25.6% ถึง 74.80% สำหรับ PEPFAD และ +36.2% ถึง 101.6% สำหรับ PBPfAD ดังรูปที่ 5.39 PEPFAD(10-70)AhnB20 และ PBPfAD(10-70)AhnB20 พบว่า ที่สัดส่วน 10 wt.% มีค่าที่ใกล้เคียงดีเซล -4.1% สำหรับ PEPFAD และ +0.8% สำหรับ PBPfAD และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสัดส่วนการผสม +22.8% ถึง +70.3% สำหรับ PEPFAD และ +28.0% ถึง +86.6% สำหรับ PBPfAD ดังรูปที่ 5.40 จากผลการทดสอบข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า เชื้อเพลิงผสม PEPFAD ประกอบด้วย PEPFAD(10-40), PEPFAD(10-50)AhE10, PEPFAD(10-50)AhnB10, PEPFAD(10-50)AhnB20 และ เชื้อเพลิงผสม PBPfAD ประกอบด้วย PEPFAD(10-40), PEPFAD(10-50)AhE10, PEPFAD(10-30)AhnB10 และ PEPFAD(10-50)AhnB20 มีค่าความหนืดจลนศาสตร์ผ่านทั้งมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร

สำหรับ PEPFAD และ PBPfAD ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2 พบว่า PEPFAD(10-90) และ PBPfAD(10-90) มีค่าความหนืดจลนศาสตร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง +10.6% ถึง +128.5% สำหรับ PEPFAD และ +11.4% ถึง +137.4% สำหรับ PBPfAD ดังรูปที่ 5.41 PEPFAD(10-90)AhE10 และ PBPfAD(10-90)AhE10 พบว่า ที่สัดส่วน 10 wt.% มีค่าความหนืดจลนศาสตร์ใกล้เคียงกับดีเซล -4.9% สำหรับ PEPFAD และ -3.3% สำหรับ PBPfAD และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสัดส่วนการผสม +13.8% ถึง +85.8% สำหรับ PEPFAD และ +16.3% ถึง +93.1% สำหรับ PBPfAD ดังรูปที่ 5.42 PEPFAD(10-90)AhnB10 และ PBPfAD(10-90)AhnB10 พบว่า ที่สัดส่วน 10 wt.% มีค่าที่ใกล้เคียงดีเซล -4.1% สำหรับ PEPFAD และ-1.6% สำหรับ PBPfAD และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสัดส่วนการผสม +18.3% ถึง +98.0% สำหรับ PEPFAD และ +22.8% ถึง +105.3% สำหรับ PBPfAD ดังรูปที่ 5.43 PEPFAD(10-70)AhnB20 และ PBPfAD(10-70)AhnB20 พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการผสม -12.2% ถึง +57.3% สำหรับ PEPFAD และ -10.6% ถึง +59.8% สำหรับ PBPfAD ดังรูปที่ 5.44 จากผลการทดสอบข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า เชื้อเพลิงผสม PEPFAD ประกอบด้วย

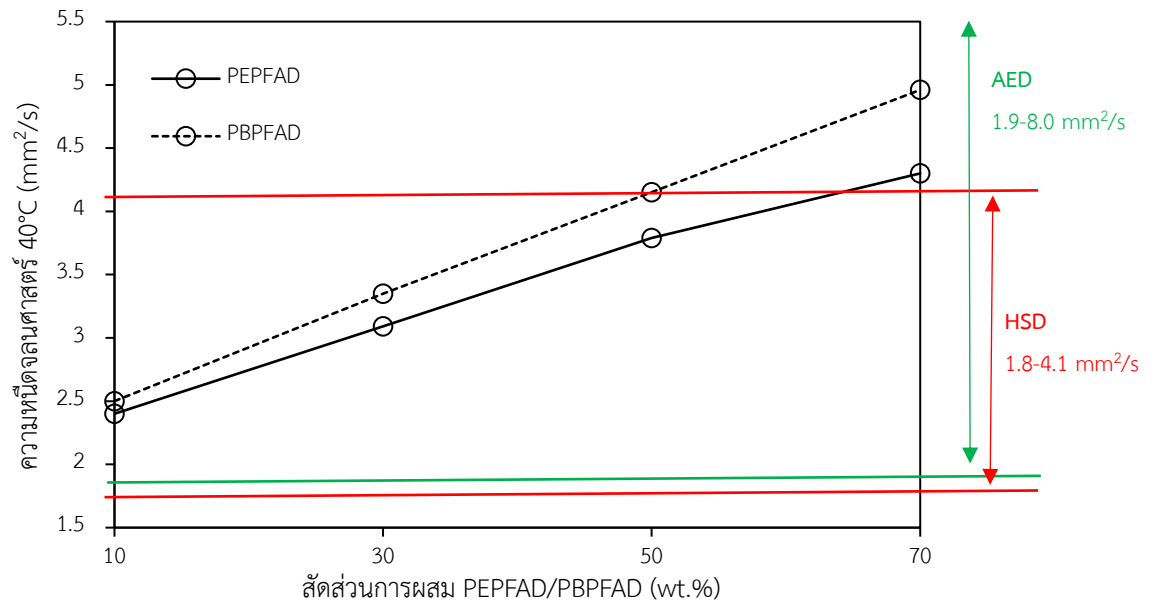
PEPFAD(10-50), PEPFAD(10-70)AhE10, PEPFAD(10-50)AhnB10 และเชื้อเพลิงผสม PEPFAD(10-70)AhnB20 และเชื้อเพลิงผสม PBPFAD ประกอบด้วย PBPFAD(10-50), PBPFAD(10-70)AhE10, PBPFAD(10-50)AhnB10 มีค่าความหนืดจลนศาสตร์ผ่านทั้งมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร



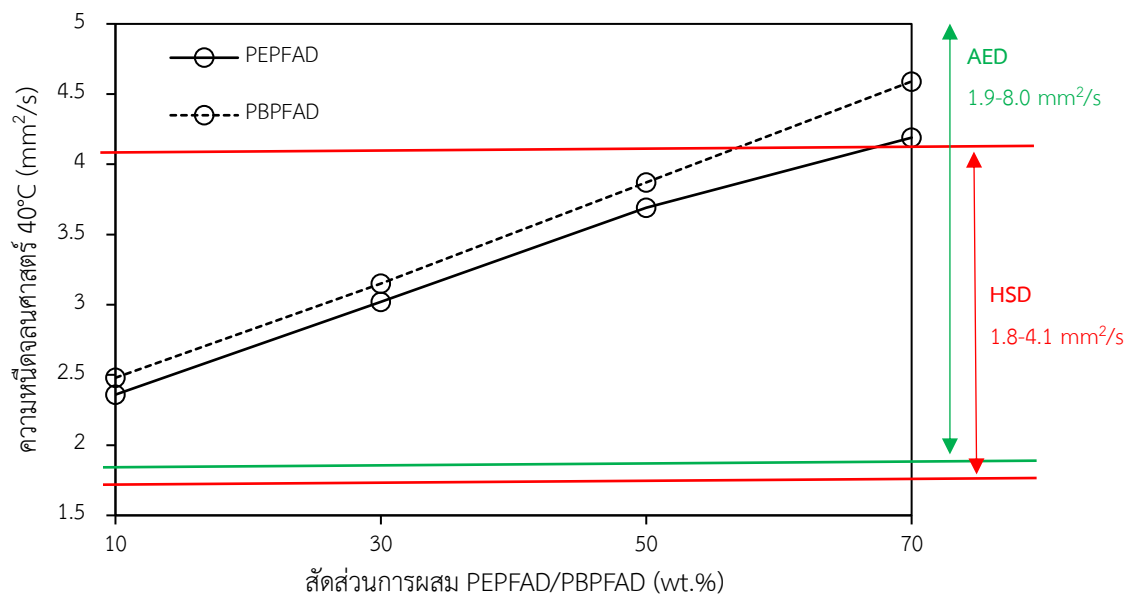
รูปที่ 5.37 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-40) และ PBPFAD(10-40) ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1



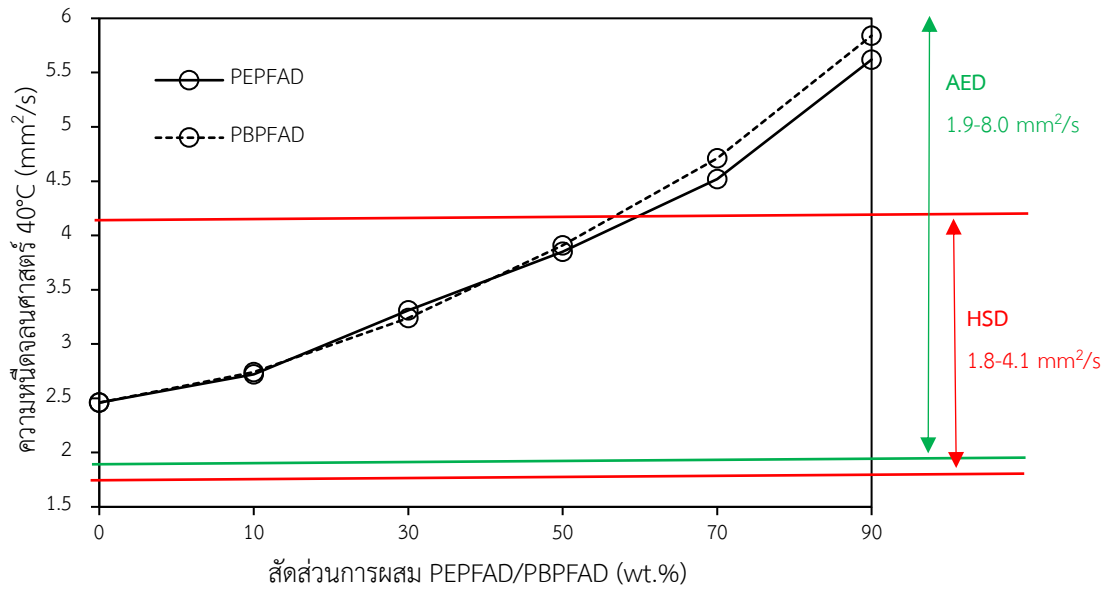
รูปที่ 5.38 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-90)AhE10 และ PBPFAD(10-90)AhE10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1



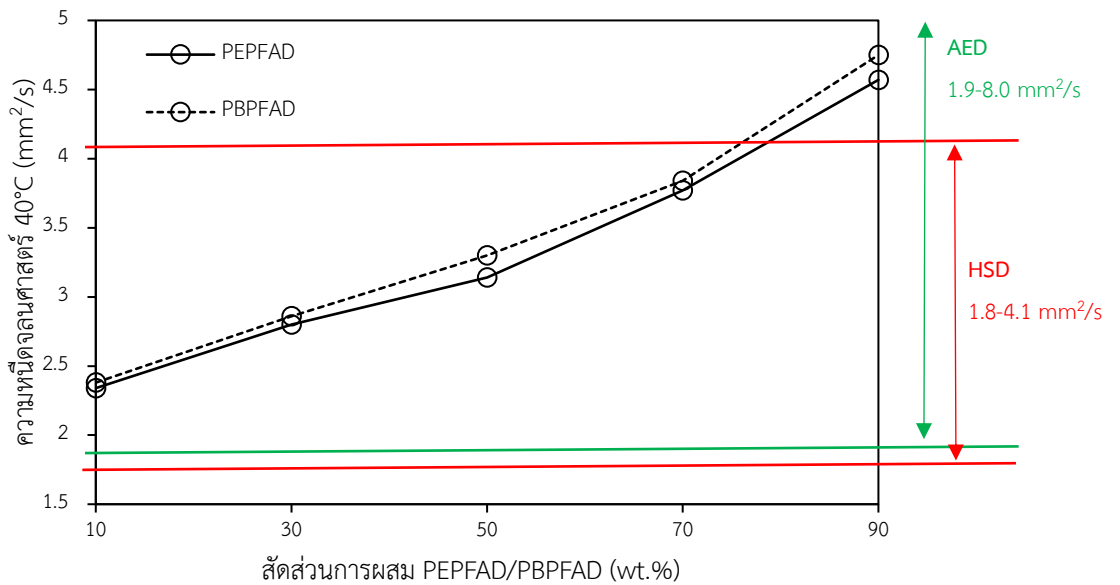
รูปที่ 5.39 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-70)AhnB10 และ PBPFAD(10-70)AhnB10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1



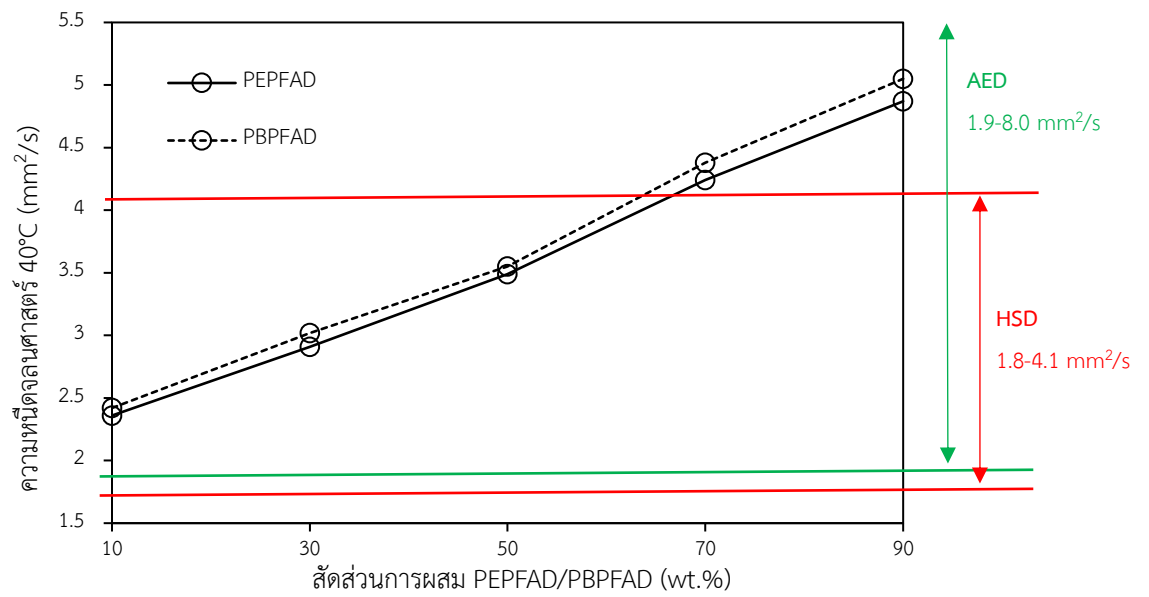
รูปที่ 5.40 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-70)AhnB20 และ PBPFAD(10-70)AhnB20 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1



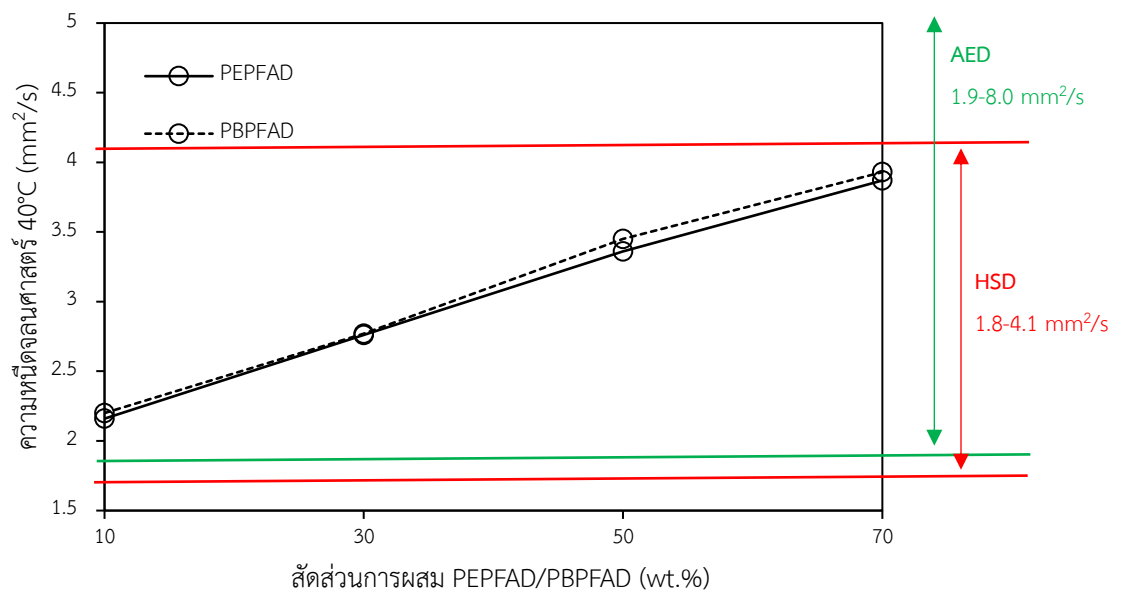
รูปที่ 5.41 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-90) และ PBPFAD(10-90) ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2



รูปที่ 5.42 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-90)AhE10 และ PBPFAD(10-90)AhE10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2



รูปที่ 5.43 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-90)Ahb10 และ PBPFAD(10-90)Ahb10 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2



รูปที่ 5.44 ค่าความหนืดจลนศาสตร์ PEPFAD(10-70)Ahb20 และ PBPFAD(10-70)Ahb20 ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2

จากผลการทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่สำคัญ ประกอบด้วย จุด
 ชุ่่น/จุดไหลเท และ ค่าความหนืดจลนศาสตร์ พบว่าเชื้อเพลิงผสม PEPFAD และ PBPFDAD ไม่มีความ
 แตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ และมีเชื้อเพลิงผสมผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์
 การเกษตรของประเทศไทยดังนี้

สำหรับ PEPFAD ที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ เอทานอล ที่ 1:0.6 ประกอบด้วย
 PEPFAD10, PEPFAD(10-40)AhE10, PEPFAD(10-30)AhnB10 และ PEPFAD(10-50)AhnB20

สำหรับ PBPFDAD ที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ บิวทานอล ที่ 1:0.6 ประกอบด้วย
 PBPFDAD10, PBPFDAD(10-40)AhE10, PBPFDAD(10-30)AhnB10 และ PBPFDAD(10-50)AhnB20

สำหรับ PEPFAD ที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ เอทานอล ที่ 1:1 ประกอบด้วย
 PEPFAD(10-30), PEPFAD(10-50)AhE10, PEPFAD(10-50)AhnB10 และ PEPFAD(10-50)AhnB20

สำหรับ PBPFDAD ที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ บิวทานอล ที่ 1:1 ประกอบด้วย
 PBPFDAD(10-30), PEPFAD(10-50)AhE10, PEPFAD(10-30)AhnB10 และ PEPFAD(10-50)AhnB20

สำหรับ PEPFAD ที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ เอทานอล ที่ 1:2 ประกอบด้วย
 PEPFAD(10-50), PEPFAD(10-70)AhE10, PEPFAD(10-50)AhnB10 และ PEPFAD(10-70)AhnB20

สำหรับ PBPFDAD ที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ บิวทานอล ที่ 1:2 ประกอบด้วย
 PBPFDAD(10-50), PBPFDAD(10-70)AhE10, PBPFDAD(10-50)AhnB10 และ PBPFDAD(10-70)AhnB20

เนื่องจากตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์
 การเกษตรของประเทศไทยข้างต้นมีจำนวนมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกตัวอย่างเชื้อเพลิงที่มี PEPFAD และ
 PBPFDAD ที่สัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ ที่ 1:1 เป็นส่วนผสม เนื่องจากตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ผ่าน
 การทดสอบมีความหลากหลายเช่นเดียวกับการทำปฏิกิริยาที่สัดส่วน 1:2 ในสัดส่วนการใช้แอลกอฮอล์ที่
 ต่ำกว่า ซึ่งจะส่งผลต่อราคาเชื้อเพลิงผสมโดยตรง ประกอบด้วย PEPFAD30, PBPFDAD30,
 PEPFAD50AhE10, PBPFDAD50AhE10, PEPFAD50AhnB20 และ PBPFDAD50AhnB20 เป็นตัวอย่าง
 ทดสอบการใช้งานเบื้องต้นเปรียบเทียบกับดีเซลเบนแทนทดสอบ ดังนั้นจึงมีการทดสอบคุณสมบัติ
 เชื้อเพลิงเพิ่มเติม ประกอบด้วย ค่าความหนาแน่น ค่าความร้อน และค่าซีเทน เพื่อเป็นข้อมูลในการ
 คำนวณหาสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ต่อไป

ตารางที่ 5.6 คุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญของเชื้อเพลิงทดสอบ

คุณสมบัติ เชื้อเพลิง	มาตรฐานประเทศไทย			เชื้อเพลิงทดสอบ					
	HSD	AED	Diesel	PEPFAD30	PEPFAD50 AhE10	PEPFAD50 AhnB20	PBPFAD30	PBPFAD50 AhE10	PBPFAD50 AhnB20
ความหนาแน่น (g/l)	810-870	860-900	831.5	837.8	849.7	850.4	836.0	846.9	847.6
ค่าซีเทน	≥50	≥47	65.3	-	54.00	52.04	-	55.70	53.00
ค่าความร้อน (MJ/kg)	n.a.	n.a.	44.9	43.3	39.9	40.1	43.2	40.0	40.1

n.a.: non applied; HSD :high speed diesel; AED :agricultural engine diesel, Diesel : ดีเซลผสมไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ 6-7 vol.% (ศุภกิจ เอียดตรง, 2559)

5.4.3 ค่าความหนาแน่น เป็นค่าที่ไม่มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง แต่จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับมวลและพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ (ศุภกิจ เอียดตรง, 2559) โดยมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทย ได้กำหนดค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15.6°C ไว้ในช่วง 810-870 และ 890-900 g/l ตามลำดับ โดยเอทานอลและบิวทานอลมีความหนาแน่นน้อยกว่าดีเซล -5.1% และ -1.3% ตามลำดับ ดังนั้นความหนาแน่นของเชื้อเพลิงผสมจะลดลงตามสัดส่วนการผสมของเอทานอลหรือบิวทานอลที่เพิ่มขึ้น

เชื้อเพลิงผสมที่ส่งทดสอบประกอบด้วย PEPFAD30, PBPFAD30, PEPFAD50AhE10, PBPFAD50AhE10, PEPFAD50AhnB20 และ PBPFAD50AhnB20 ผลการทดสอบ ดังตารางที่ 5.6 พบว่า PEPFAD30 และ PBPFAD30 มีค่าสูงกว่าดีเซล +2.0% และ +1.8% ตามลำดับ PEPFAD50AhE10 และ PBPFAD50AhE10 มีค่าสูงกว่าดีเซล +2.9% และ +2.5% ตามลำดับ และ PEPFAD50AhnB20 และ PBPFAD50AhnB20 มีค่าสูงกว่าดีเซล +3.1% และ +2.8% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การผสม PEPFAD และ PBPFAD สามารถปรับปรุงหรือชดเชยค่าความหนาแน่นที่ลดลงจากการผสม เอทานอล/บิวทานอล ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้พบว่า PEPFAD และ PBPFAD ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ

5.4.4 ค่าความร้อน คือ ค่าความร้อนทั้งหมดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยปกติในเชื้อเพลิงจะมีน้ำปนอยู่ เมื่อเกิดการเผาไหม้น้ำส่วนนี้จะรวมกับน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ของ Hydrogen ซึ่งจะมีความร้อนส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้ในรูปความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (ศุภกิจ เอียดตรง, 2559) สำหรับค่าความร้อนของเอทานอลมีค่าเท่ากับ 22.78 MJ/kg น้อยกว่าดีเซล -49.27% และบิวทานอลมีค่าเท่ากับ 34.74 MJ/kg น้อยกว่าดีเซล -22.63% จึงทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงดีไซฮอลล์จะมีค่าต่ำกว่าดีเซลเป็นปกติ

เชื้อเพลิงผสมที่ส่งทดสอบประกอบด้วย PEPFAD30, PBPFAD30, PEPFAD50AhE10, PBPFAD50AhE10, PEPFAD50AhnB20 และ PBPFAD50AhnB20 ผลการทดสอบ ดังตารางที่ 5.6 พบว่า PEPFAD30 และ PBPFAD30 มีค่าต่ำกว่าดีเซล -3.6% และ -3.7% ตามลำดับ PEPFAD50AhE10 และ PBPFAD50AhE10 มีค่าต่ำกว่าดีเซล -11.0% และ -11.1% ตามลำดับ และ PEPFAD50AhnB20 และ PBPFAD50AhnB20 มีค่าต่ำกว่าดีเซล -10.6% และ -10.7% ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การผสม PEPFAD และ PBPfAD สามารถปรับปรุงหรือลดค่าความร้อนที่ลดลงจากการผสม เอทานอล/บิวทานอล ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และพบว่า PEPFAD และ PBPfAD ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ

5.4.5 ค่าซีเทน คือ ค่าที่บ่งบอกคุณภาพในการจุดระเบิดของน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นการที่เชื้อเพลิงมีค่าซีเทนสูงแสดงว่าเชื้อเพลิงนั้นมีคุณภาพดี เหมาะต่อการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากเมื่อเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบจะสามารถติดไฟได้ง่ายในทันทีและมีความล่าช้าในการจุดระเบิดน้อยมากส่งผลให้เครื่องยนต์เดินเรียบและมีสมรรถนะที่สูง (ศุภกิจ เอียดตรง, 2559)

เชื้อเพลิงผสมที่ส่งทดสอบประกอบด้วย PEPFAD50AhE10, PBPfAD50AhE10, PEPFAD50AhnB20 และ PBPfAD50AhnB20 ผลการทดสอบ ดังตารางที่ 5.6 สำหรับ PEPFAD50AhE10 และ PEPFAD50AhnB20 มีค่าซีเทน เท่ากับ 54.0 และ 52.0 ซึ่งน้อยกว่าดีเซล -17.3% และ -20.3% ตามลำดับ และ PBPfAD50AhE10 และ PBPfAD50AhnB20 มีค่าซีเทน เท่ากับ 55.7 และ 53.0 ซึ่งน้อยกว่าดีเซล -14.7% และ -18.8% ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงดีโซฮอลล์จะมีค่าซีเทนที่ลดลงเป็นปกติ เนื่องจากค่าซีเทนของเอทานอล เท่ากับ 5-8 น้อยกว่าดีเซล -87.7% และบิวทานอล เท่ากับ 25 น้อยกว่าดีเซล -61.7% ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารปรับปรุงค่าซีเทนในเชื้อเพลิงดีโซฮอลล์เพื่อให้สามารถใช้งานในเครื่องยนต์ได้อย่างปกติ ซึ่งผลการทดสอบตัวอย่างเชื้อเพลิงดีโซฮอลล์ PEPFAD50AhE10, PBPfAD50AhE10, PEPFAD50AhnB20 และ PBPfAD50AhnB20 สามารถผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรได้ จึงสามารถเป็นข้อมูลยืนยันได้ว่า การผสม PEPFAD และ PBPfAD ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1 สามารถปรับปรุงค่าซีเทนในเชื้อเพลิงดีโซฮอลล์ได้เป็นอย่างดี

5.5 วัสดุและวิธีการทดสอบใช้งานในเครื่องยนต์เบื้องต้นเปรียบเทียบกับดีเซล

สำหรับเชื้อเพลิงที่ศึกษาในงานวิจัยนี้จะถูกเตรียมตามสัดส่วนที่ต้องการด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลยี่ห้อ METTLER รุ่น AL204 ความละเอียด 0.1 g และมีน้ำหนักรวม 2,000 g ขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิง แสดงในรูปที่ 5.45 สำหรับการเตรียมเชื้อเพลิงผสม PEPFAD30 และ PBPfAD30 องค์ประกอบแต่ละอย่างจะถูกชั่งตามสัดส่วนในบีกเกอร์ที่มีฝาปิดขนาด 3 ลิตร จากนั้นปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปวางบนเตาให้ความร้อน อุณหภูมิ 50±5°C และกวนผสมด้วยใบกวนชนิด 6-blade disk turbine ที่ความเร็วรอบ 250-300 rpm เป็นเวลา 10 นาที สำหรับการเตรียมเชื้อเพลิงดีโซฮอลล์ PEPFAD50AhE10, PBPfAD50AhE10, PEPFAD50AhnB20 และ PBPfAD50AhnB20 ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 ผสมส่วนกลั่นกรดโซลิดเอสเตอร์ไฟน์บางส่วนกับแอลกอฮอล์

ตามสัดส่วน โดยองค์ประกอบแต่ละอย่างจะถูกชั่งในบีกเกอร์แก้วที่มีฝาปิดสนิทขนาด 3 ลิตร อุณหภูมิ 50±5°C และกวนผสมด้วยแมกเนติกบาร์ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 9 mm ยาว 50 mm) ที่ความเร็วรอบ 250–300 rpm เป็นเวลา 5 นาที และขั้นตอนที่ 2 เติมน้ำลงไปตามสัดส่วน และกวนผสมด้วยใบกวนชนิด 6-blade disk turbine (เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 mm) ที่ความเร็วรอบ 250–300 rpm อุณหภูมิ 50±5°C เป็นเวลา 10 นาที

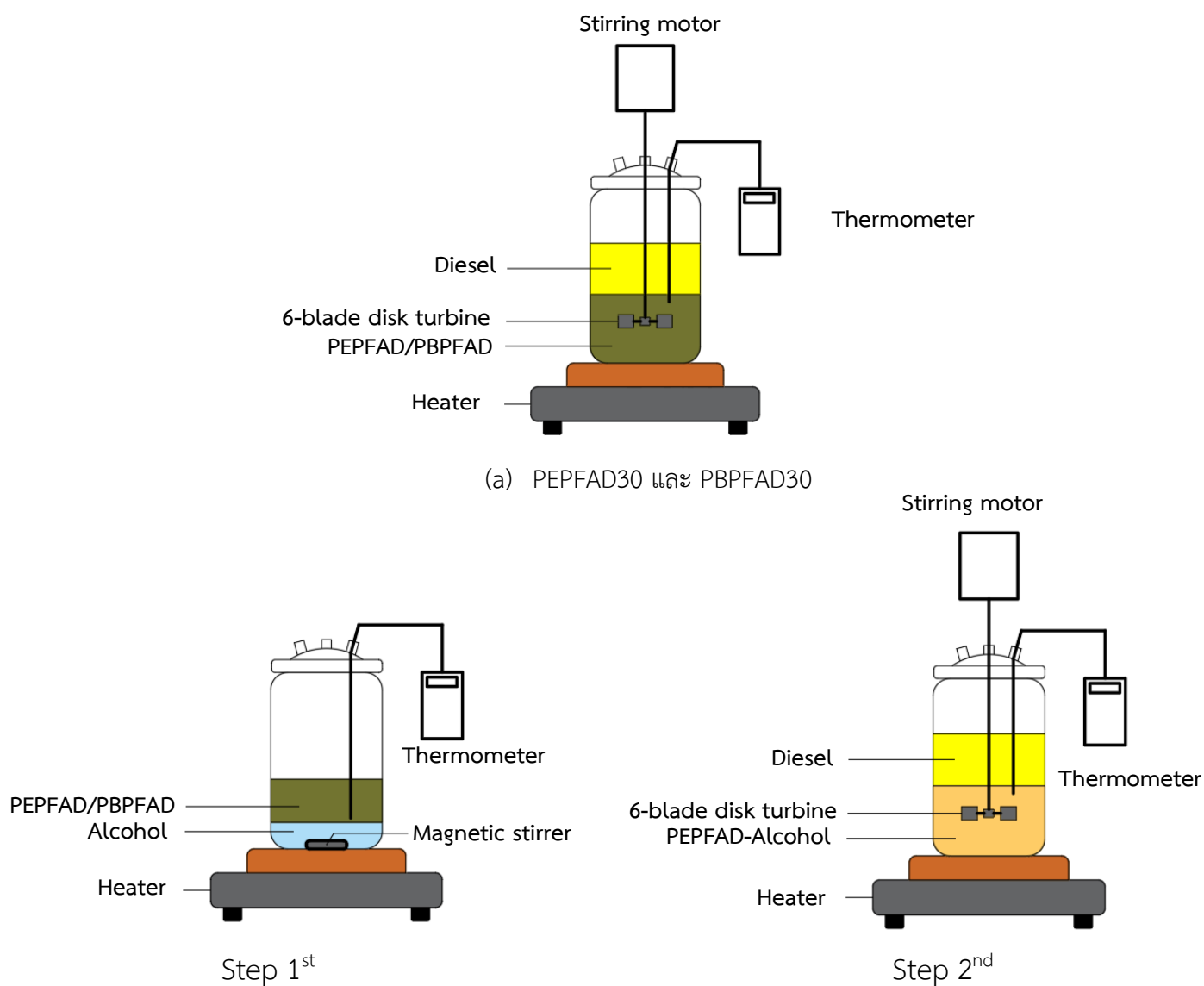
สำหรับการศึกษาจะทดสอบการใช้งานบนแท่นทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ชนิดฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น RT100DI PLUS ขนาด 10 แรงม้า ดังแสดงรายละเอียดเครื่องยนต์ในตารางที่ 5.7 ถูกใช้เป็นเครื่องทดสอบบนแท่นทดสอบโดยใช้ไดนาโมมิเตอร์ ยี่ห้อ PLINT & PARTNER ขนาด 12 แรงม้า ในช่วงภาระ 1.28–6.40 kW ที่ความเร็วรอบสูง 2,200 rpm โดยใช้อุปกรณ์ชุดทดลอง ดังแสดงไดอะแกรมในรูปที่ 5.46 แท่นทดสอบมีการติดตั้งเอ็นโค้ดเดอร์ รุ่น PR-01N-S เพื่อวัดและเก็บค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (ความละเอียด 0.1 rpm) และติดตั้งชุด PC-based data logger รุ่น AI210 ควบคู่กับเทอร์โมคัปเปิล type k (ความละเอียด 0.01°C) เพื่อใช้วัดและเก็บค่าอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและอุณหภูมิไอ โดยอุณหภูมิของเชื้อเพลิงจะถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง ในส่วนของแรงที่กระทำ สำหรับคำนวณเบรกทอร์กและกำลังเบรกวัดด้วยเครื่องชั่งสปริง ยี่ห้อ SALTER (3.90–19.50 ±0.05 lbf) และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงวัดด้วยกระบอกตวง (50.0 ±0.5 มิลลิลิตร) และนาฬิกาจับเวลาแบบดิจิทัล ยี่ห้อ ALBA (ความละเอียด 0.01 วินาที)

สำหรับราคาต้นทุนของเชื้อเพลิงทดสอบคำนวณบนพื้นฐานของราคาเฉลี่ยย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2555–2564) เปรียบเทียบกับราคา ดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้า ราคา 26.85 บาท/ลิตร (ที่มา: <http://www.eppo.go.th/index.php/th/petroleum/price/oil-price.html>. เข้าถึงวันที่ 15/05/2565) ดังแสดงในตารางที่ 5.8 พบว่าเชื้อเพลิงผสม PEPFAD30 และ PEPFAD50AhE10 มีราคาต่ำกว่าดีเซล -4.43% และ -8.64% ตามลำดับ ในขณะที่เชื้อเพลิงผสม PEPFAD50AhnB20, PEPFAD30, PEPFAD50AhE10 และ PEPFAD50AhnB20 มีราคาสูงกว่าดีเซล +3.05, +13.45, +21.45 และ +33.15 ตามลำดับ เนื่องจากมีส่วนผสมของบิวทานอลที่มีราคาสูง (40.49 บาท/ลิตร) จึงส่งผลให้เชื้อเพลิงผสมมีราคาโดยรวมสูงกว่าดีเซล

ตารางที่ 5.7 ราคาต้นทุนเชื้อเพลิงทดสอบเปรียบเทียบกับดีเซล

เชื้อเพลิงทดสอบ	เปรียบเทียบกับดีเซล	
	บาท/ลิตร	ร้อยละ
PEPFAD30	-1.19	-4.43
PEPFAD50AhE10	-2.32	-8.64
PEPFAD50AhnB20	+0.82	+3.05
PBPFAD30	+3.61	+13.45
PBPFAD50AhE10	+5.76	+21.45
PBPFAD50AhnB20	+8.9	+33.15

หมายเหตุ : เครื่องหมาย - หมายถึงต่ำกว่าดีเซล, เครื่องหมาย + หมายถึงสูงกว่าดีเซล

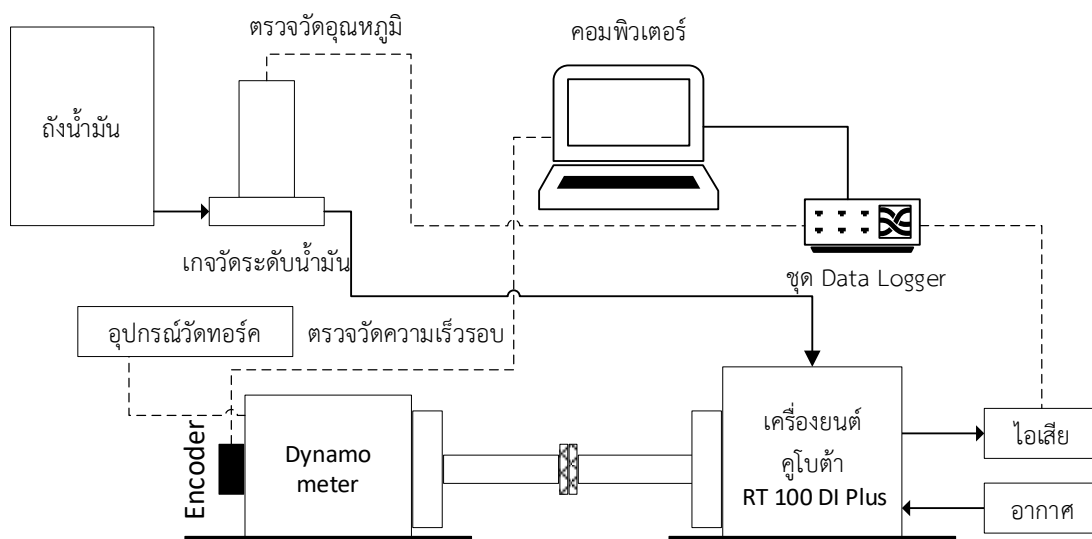


(b) PEPFAD50AhE10, PBPFAD50AhE10, PEPFAD50AhnB20 และ PBPFAD50AhnB20

รูปที่ 5.45 การเตรียมเชื้อเพลิงทดสอบ

ตารางที่ 5.8 รายละเอียดเครื่องยนต์ทดสอบเชื้อเพลิง

ยี่ห้อ คูโบต้า รุ่น RT100DI PLUS	
ชนิดเครื่องยนต์	4 จังหวะ จุดระเบิดด้วยการอัด
อัตราส่วนแรงอัด	18:1
จำนวนกระบอกสูบ-การจัดวางกระบอกสูบ	1-แนวนอน
ความกว้าง/ช่วงชัก/ปริมาตร ของกระบอกสูบ	88 mm/90 mm/547 cm ³
กำลังสูงสุด (เครื่องยนต์ใหม่)	7.4 kW ที่ 2400 รอบต่อนาที
แรงบิดสูงสุด (เครื่องยนต์ใหม่)	3.4 kg-m ที่ 1600 รอบต่อนาที
แบบการฉีดเชื้อเพลิง	DI-mechanically controlled
การระบายความร้อน	ระบายความร้อนด้วยน้ำ



รูปที่ 5.46 ไดอะแกรมแทนทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นของเชื้อเพลิงทดสอบ

ข้อมูลทั้งหมดจากการทดสอบข้างต้นนำมาคำนวณหากำลังเบรคในหน่วยแรงม้า กำลังเบรคในหน่วยกิโลวัตต์ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวล อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค ดังสมการที่ 5.1-5.5 ตามลำดับ

$$BHP = \frac{TN}{500} \quad (5.1)$$

$$BP = 0.746(BHP) \quad (5.2)$$

$$\dot{m} = \rho \dot{v} \quad (5.3)$$

$$BSFC = \frac{\dot{m}}{BP} \quad (5.4)$$

$$BTE = \frac{3600 \times 100\%}{(BSFC) \times (HV)} \quad (5.5)$$

กำหนดให้	BHP	คือ กำลังเบรค (hp)
	T	คือ เบรคทอร์ก (lb. Ft)
	N	คือ ความเร็วรอบ (rpm)
	BP	คือ กำลังเบรค (kW)
	ρ	คือ ความหนาแน่นเชื้อเพลิง (kg/m ³)
	\dot{v}	คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยปริมาตร (m ³ /hr)
	\dot{m}	คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวล (kg/hr)
	BSFC	คือ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (kg/kW-hr)
	BTE	คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (%)
	HV	คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

5.6 ผลการทดสอบและวิจารณ์การทดสอบใช้งานในเครื่องยนต์เบื้องต้นเปรียบเทียบกับดีเซล

สำหรับที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ การสร้างกำลังเบรคที่มากขึ้นจะต้องฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ในปริมาณสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณอากาศที่เข้าสู่กระบอกสูบไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ที่ภาระสูงกว่าสัดส่วนของเชื้อเพลิง-อากาศ จึงหนากว่าที่ภาระต่ำ ผลของอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงที่จ่ายสู่ห้องเผาไหม้ในรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ดังแสดงในรูปที่ 5.47 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเชื้อเพลิงทดสอบทั้งหมดพบว่า เชื้อเพลิงผสม PEPFAD30 และ PBPFD30 ที่ช่วงภาระต่ำสุด 1.28 kW มีค่าสูงกว่าดีเซล +3.5% และ +0.9% ตามลำดับ เมื่อภาระสูงขึ้นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะใกล้เคียงดีเซลมากขึ้น เมื่อเฉลี่ยทุกช่วงภาระการทดสอบ (1.28-6.41 kW) มีค่าสูงกว่าดีเซล +1.2% และ +0.3% ตามลำดับ เชื้อเพลิงดีโซฮอล์ PEPFAD50AhE10 และ PBPFD50AhE10 ที่ช่วงภาระต่ำสุด 1.28 kW มีค่าสูงกว่าดีเซล

+16.3% และ +13.7% ตามลำดับ เมื่อภาระสูงขึ้นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะใกล้เคียงดีเซลมากขึ้น เมื่อเฉลี่ยทุกช่วงภาระการทดสอบ (1.28-6.41 kW) มีค่าสูงกว่าดีเซล +9.4% เช่นเดียวกัน และสำหรับเชื้อเพลิงดีโซฮอลล์ PEPFAD50AhnB20 และ PBPFD50AhnB20 พบว่าทุกภาระที่ทดสอบ มีค่าสูงกว่าดีเซลไม่ต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ เมื่อเฉลี่ยทุกช่วงภาระการทดสอบ (1.28-6.41 kW) มีค่าสูงกว่าดีเซล +9.1% และ +6.9% ตามลำดับ

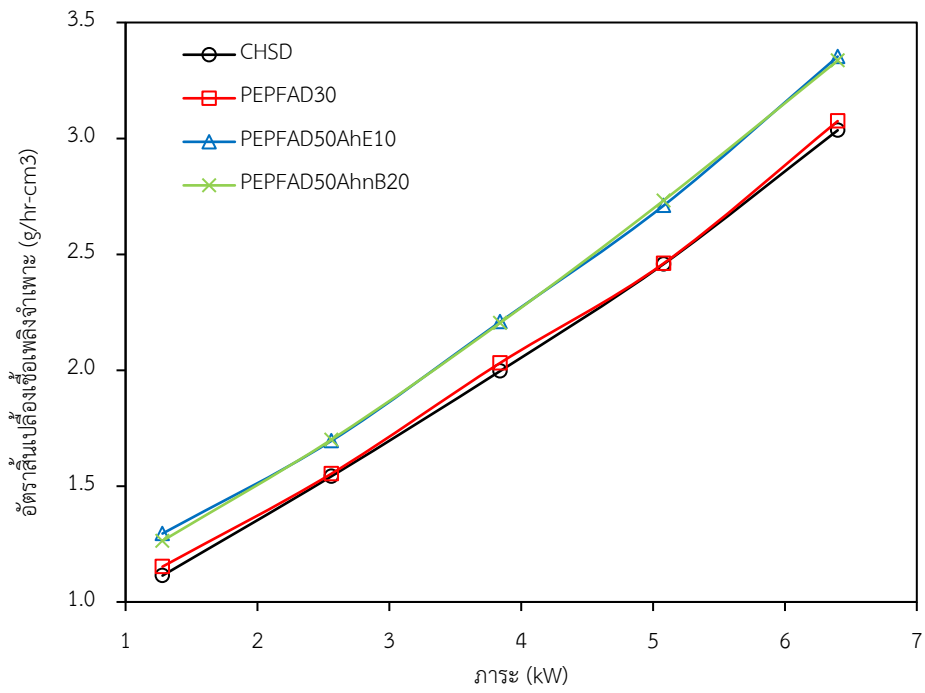
5.6.1 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก แสดงถึงความต้องการเชื้อเพลิงสำหรับเดินเครื่องยนต์ให้ได้กำลังเบรกตามต้องการในเวลาที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 5.48. พบว่า เชื้อเพลิงผสม PEPFAD30 และ PBPFD30 ที่ช่วงภาระต่ำสุด 1.28 kW มีค่าสูงกว่าดีเซล +3.5% และ +0.8% ตามลำดับ เมื่อภาระสูงขึ้นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกจะใกล้เคียงดีเซลมากขึ้น เมื่อเฉลี่ยทุกช่วงภาระการทดสอบ (1.28-6.41 kW) มีค่าสูงกว่าดีเซล +1.4% และ +0.4% ตามลำดับ เชื้อเพลิงดีโซฮอลล์ PEPFAD50AhE10 และ PBPFD50AhE10 ที่ช่วงภาระต่ำสุด 1.28 kW มีค่าสูงกว่าดีเซล +15.9% และ +13.6% ตามลำดับ เมื่อเฉลี่ยในทุกช่วงภาระการทดสอบ (1.28-6.41 kW) มีค่าสูงกว่าดีเซล +11.2% และ +11.5% ตามลำดับ และสำหรับเชื้อเพลิงดีโซฮอลล์ PEPFAD50AhnB20 และ PBPFD50AhnB20 พบว่าทุกภาระที่ทดสอบ มีค่าสูงกว่าดีเซลไม่ต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ เมื่อเฉลี่ยทุกช่วงภาระการทดสอบ (1.28-6.41 kW) มีค่าสูงกว่าดีเซล +11.0% และ +8.8% ตามลำดับ

จากผลข้างต้นที่แสดงผลการทดสอบการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก สามารถอธิบายได้จากการที่ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงผสม PEPFAD30 และ PBPFD30 ใกล้เคียงกับดีเซลจึงแสดงค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะใกล้เคียงกัน และสำหรับเชื้อเพลิงดีโซฮอลล์ PEPFAD50AhE10, PBPFD50AhE10, PEPFAD50AhnB20 และ PBPFD50AhnB20 มีค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่สูงกว่าดีเซล เนื่องจากมีส่วนผสมของเอทานอลและบิวทานอลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม สามารถสังเกตได้ว่า เชื้อเพลิงที่ผสม PBPFD จะมีค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงใกล้เคียงดีเซลมากกว่าผสม PEPFAD

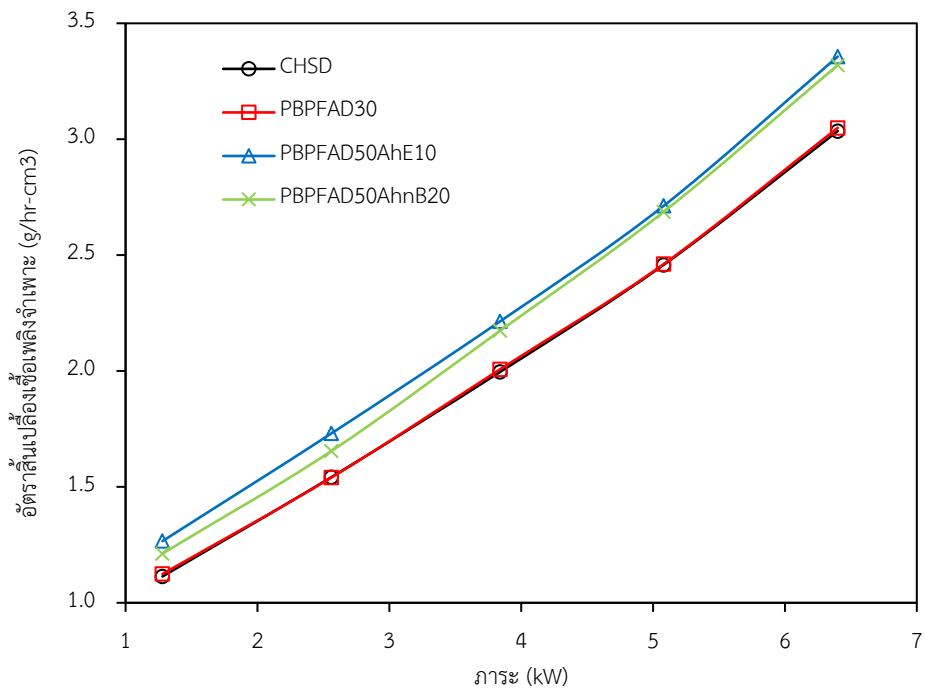
5.6.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก เป็นตัวแปรพื้นฐานที่ไม่มีหน่วยนิยมใช้เป็นค่าอ้างอิงเปรียบเทียบเชิงทฤษฎี ดังแสดงในรูปที่ 5.49 พบว่า เชื้อเพลิงผสม PEPFAD30 และ PBPFD30 ที่ช่วงภาระต่ำสุด 1.28 kW มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงกว่าดีเซล +0.2% และ +3.1% ตามลำดับ เมื่อเฉลี่ยทุกช่วงภาระการทดสอบ (1.28-6.41 kW) มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงกว่าดีเซล +2.3% และ +3.5% ตามลำดับ เชื้อเพลิงดีโซฮอลล์ PEPFAD50AhE10 และ PBPFD50AhE10 ที่ช่วงภาระต่ำสุด 1.28 kW มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกต่ำกว่าดีเซล -3.1% และ -1.0% ตามลำดับ เมื่อเฉลี่ยทุกช่วงภาระการทดสอบ (1.28-6.41 kW) มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงกว่าดีเซล +0.8% และ +1.0% ตามลำดับ สำหรับเชื้อเพลิงดีโซฮอลล์ PEPFAD50AhnB20 และ PBPFD50AhnB20 ที่ช่วงภาระต่ำสุด (1.28 kW) มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกต่ำกว่าดีเซล -1.5% และสูงกว่าดีเซล

+2.8% ตามลำดับ เมื่อเฉลี่ยทุกช่วงภาระการทดสอบ (1.28-6.41 kW) มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงกว่าดีเซล +0.9% และ +2.9% ตามลำดับ จะเห็นว่า เชื้อเพลิงผสมสามารถใช้งานในเครื่องยนต์ โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกเทียบเท่ากับดีเซล ในขณะที่เครื่องยนต์มีภาระต่ำ 1.28 kW ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกจะมีค่าต่ำกว่าดีเซลเล็กน้อย แต่เมื่อภาระเพิ่มขึ้นพบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงกว่าดีเซลในทุกชนิดเชื้อเพลิงที่ทดสอบ ดังนั้น เชื้อเพลิงผสม PEPFAD30, PBPFD30, PEPFAD50AhE10, PBPFD50AhE10, PEPFAD50AhnB20 และ PBPFD50AhnB20 ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะเครื่องยนต์ และเมื่อทำงานที่ภาระกลางถึงสูงพบว่าสามารถปรับปรุงสมรรถนะเครื่องยนต์ได้ดีขึ้น

5.6.3 อุณหภูมิไอเสีย ปกติอุณหภูมิไอเสียของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามภาระ (ส่วนผสมหนาขึ้น) เนื่องจากความปั่นป่วนของอากาศที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.50 พบว่า เชื้อเพลิงผสม PEPFAD30 และ PBPFD30 มีอุณหภูมิไอเสียต่ำกว่าดีเซลเล็กน้อย -0.5% ถึง -1.9% และ -0.5% ถึง -2.6% ตามลำดับ เชื้อเพลิงดีโซฮอล์ PEPFAD50AhE10 และ PBPFD50AhE10 มีอุณหภูมิไอเสียสูงกว่าดีเซล +5.9% ถึง +4.2% และ +6.1% ถึง +1.9% ตามลำดับ สำหรับ เชื้อเพลิงดีโซฮอล์ PEPFAD50AhnB20 และ PBPFD50AhnB20 มีอุณหภูมิไอเสียต่ำกว่าดีเซลเล็กน้อย -2.9% ถึง -1.0% และ -1.0% ถึง -1.9% ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้น เชื้อเพลิงผสม PEPFAD30, PBPFD30 และ เชื้อเพลิงดีโซฮอล์ PEPFAD50AhnB20, PBPFD50AhnB20 มีค่าอุณหภูมิไอเสียต่ำกว่าดีเซลในทุกภาระการทดสอบ (1.28-6.41 kW) ซึ่งเป็นปกติของเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำกว่าจะมีอุณหภูมิไอเสียต่ำกว่า ประกอบกับค่าความร้อนแฝงของการระเหยของบิวทานอล (582 KJ/kg ที่ 25°C) สูงกว่าดีเซล (270 KJ/kg ที่ 25°C) (Jin et al, 2011) จึงส่งผลต่ออุณหภูมิการเผาไหม้ในกระบอกสูบต่ำลง อย่างไรก็ตาม จากผลการทดสอบของเชื้อเพลิงดีโซฮอล์ PEPFAD50AhE10 และ PBPFD50AhE10 ที่แสดงผลอุณหภูมิไอเสียสูงกว่าดีเซลทั้งที่ค่าความร้อนแฝงของการระเหยของเอทานอล (904 kj/kg ที่ 25°C) สูงกว่าดีเซล (270 kj/kg ที่ 25°C) (Kumar et al., 2013) เช่นเดียวกับบิวทานอล ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ภายในกระบอกสูบจะเกิดการสันดาปล่าช้าเกินไป ทำให้เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในไอเสีย ส่งผลให้อุณหภูมิไอเสียสูงขึ้น (Rakopoulos et al., 2014)

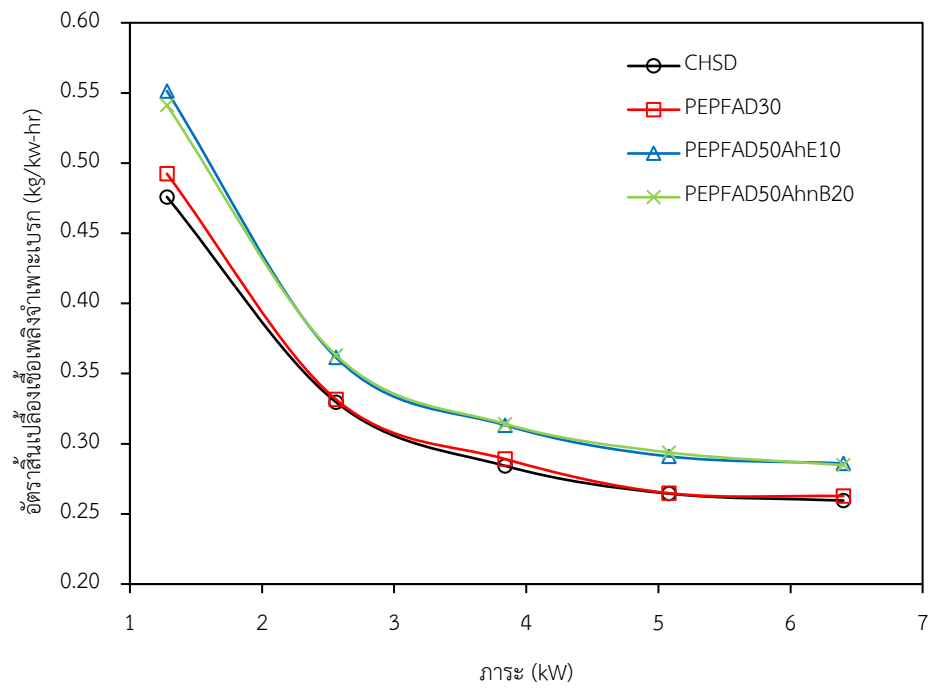


(a) เชื้อเพลิงทดสอบที่ผสม PEPFAD

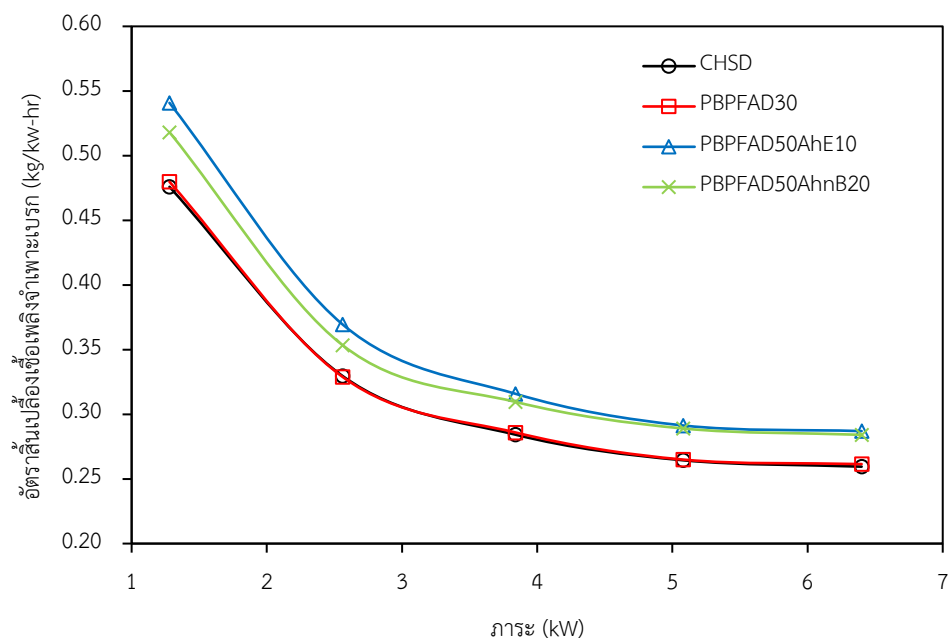


(b) เชื้อเพลิงทดสอบที่ผสม PBPFAD

รูปที่ 5.47 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเปรียบเทียบกับดีเซล

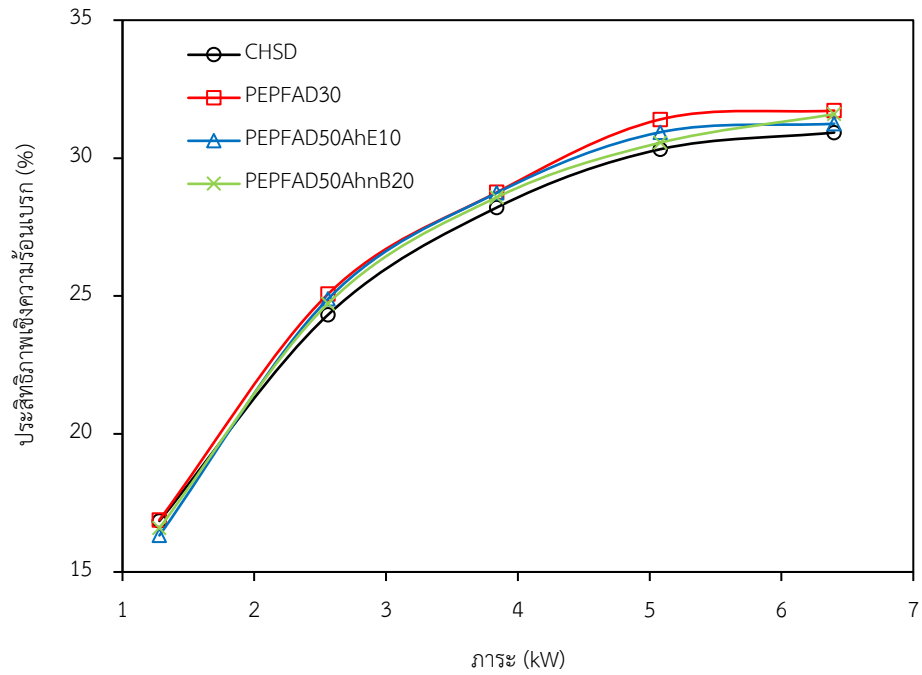


(a) เชื้อเพลิงทดสอบที่ผสม PEPFAD

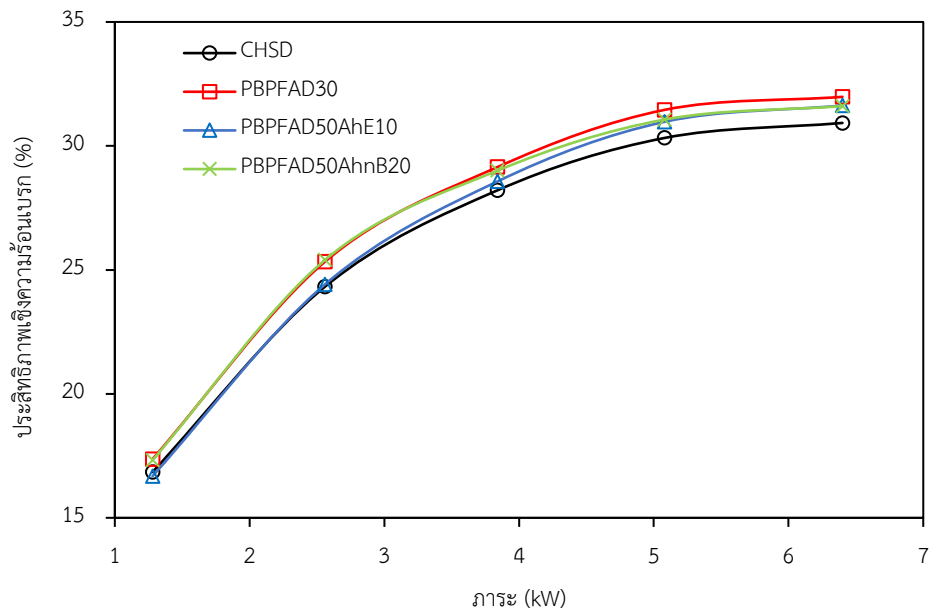


(b) เชื้อเพลิงทดสอบที่ผสม PBPFD

รูปที่ 5.48 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเปรียบเทียบกับดีเซล

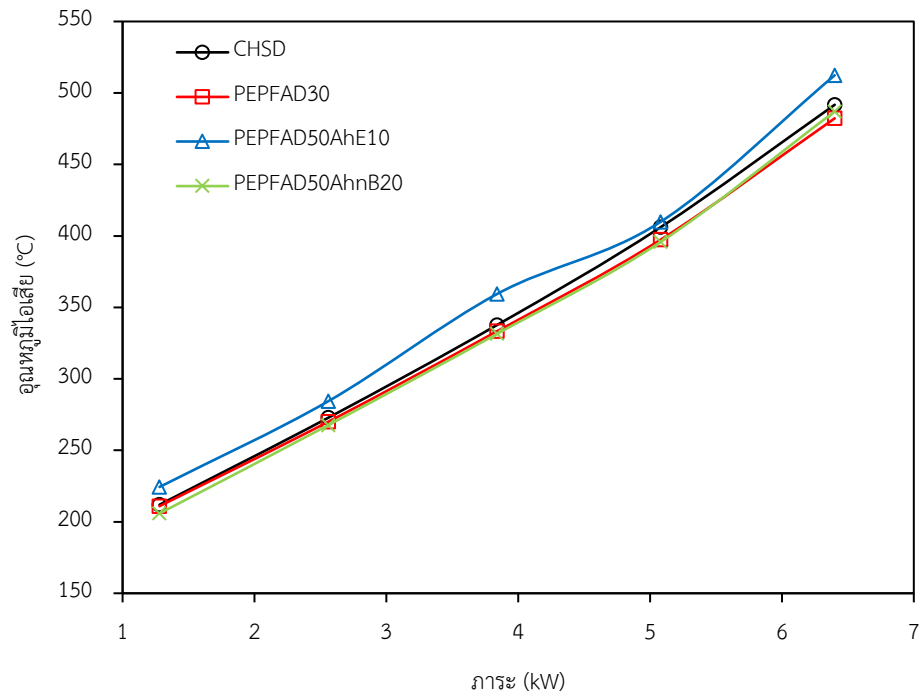


(a) เชื้อเพลิงทดสอบที่ผสม PEPFAD

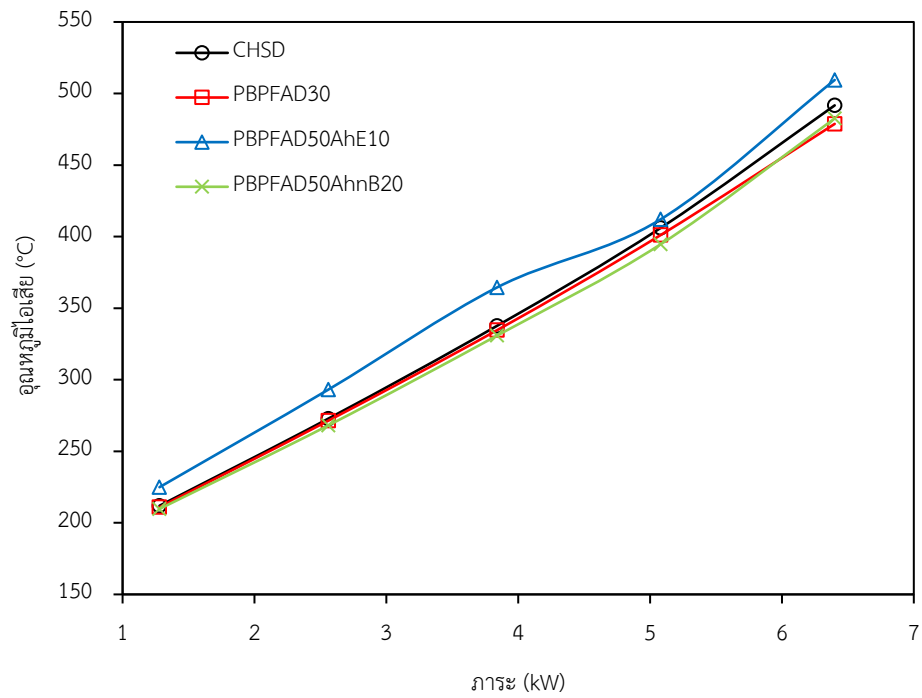


(b) เชื้อเพลิงทดสอบที่ผสม PBPFD

รูปที่ 5.49 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเปรียบเทียบกับดีเซล



(a) เชื้อเพลิงทดสอบที่ผสม PEPFAD



(b) เชื้อเพลิงทดสอบที่ผสม PBPFAD

รูปที่ 5.50 อุณหภูมิไอเสียเปรียบเทียบกับดีเซล

5.7 สรุปผล

ส่วนกลิ่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ ที่ 1:0.6 สามารถผสมเป็นเชื้อเพลิงเหลวเฟสเดียวได้ดังนี้ เชื้อเพลิงผสม ดีเซล-ส่วนกลิ่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ PFAD สามารถผสม PEPFAD และ PBPFAD ได้ไม่เกิน 30 wt.% และ 40 wt.% ตามลำดับ เชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลิ่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ PFAD สามารถผสม PEPFAD และ PBPFAD ได้ไม่เกิน 60 wt.% และ 80 wt.% ตามลำดับ และสำหรับเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลิ่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ PFAD สามารถผสม PEPFAD และ PBPFAD ได้ไม่เกิน 50 wt.% และ 70 wt.% ตามลำดับ จากนั้นทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่สำคัญ พบว่ามีเชื้อเพลิงผสมผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทย ประกอบด้วย PEPFAD10, PEPFAD(10-40)AhE10, PEPFAD(10-30)AhB10 และ PEPFAD(10-50)AhB20 เช่นเดียวกันกับ PBPFAD

ส่วนกลิ่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ ที่ 1:1 สามารถผสมเป็นเชื้อเพลิงเหลวเฟสเดียวได้ดังนี้ เชื้อเพลิงผสม ดีเซล-ส่วนกลิ่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ PFAD สามารถผสม PEPFAD และ PBPFAD ได้ไม่เกิน 40 wt.% และ 50 wt.% ตามลำดับ สำหรับเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลิ่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ PFAD สามารถผสม PEPFAD และ PBPFAD ได้สูงสุด 80 wt.% เช่นเดียวกันกับเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลิ่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ PFAD สามารถผสม PEPFAD และ PBPFAD ได้สูงสุด 80 wt.% เช่นเดียวกันกับเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลิ่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ PFAD จากนั้นทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่สำคัญ พบว่ามีเชื้อเพลิงผสมผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทย ประกอบด้วย PEPFAD(10-30), PEPFAD(10-50)AhE10, PEPFAD(10-50)AhB10 และ PEPFAD(10-50)AhB20 เช่นเดียวกันกับ PBPFAD ยกเว้น PBPFAD(10-30)AhB10

ส่วนกลิ่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ ที่ 1:2 สามารถผสมเป็นเชื้อเพลิงเหลวเฟสเดียวได้ดังนี้ เชื้อเพลิงผสม ดีเซล-ส่วนกลิ่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ PFAD สามารถผสม PEPFAD และ PBPFAD ได้สูงสุด 90 wt.% สำหรับเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลิ่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ PFAD สามารถผสม PEPFAD และ PBPFAD ได้สูงสุด 80 wt.% เช่นเดียวกันกับเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลิ่นกรดไขมันไฮดรอกซีไขมันบางส่วนของ PFAD จากนั้นทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่สำคัญ พบว่ามีเชื้อเพลิงผสมผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร

ของประเทศไทย ประกอบด้วย PEPFAD(10-50), PEPFAD(10-70)AhE10, PEPFAD(10-50)AhnB10 และ PEPFAD(10-70)AhnB20 เช่นเดียวกันกับ PBPfAD

จากการศึกษาพฤติกรรมเฟสและการทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าผลิตภัณฑ์ PEPFAD และ PBPfAD ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:1 มีความน่าสนใจในการเป็นตัวอย่างสำหรับการทดสอบใช้งานในเครื่องยนต์เบื้องต้น เนื่องจากมีความหลากหลายของเชื้อเพลิงทดสอบและต้นทุนในการผลิตต่ำ (เปรียบเทียบกับ PEPFAD/PBPfAD ที่สัดส่วน PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2) ประกอบด้วย เชื้อเพลิงผสม PEPFAD30, PBPfAD30, PEPFAD50AhE10, PBPfAD50AhE10, PEPFAD50AhnB20 และ PBPfAD50AhnB20 โดย การทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น RT100DI PLUS ขนาด 10 แรงม้า ภายใต้อัตรารอบที่ทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm โดยเปลี่ยนแปลงภาระในช่วง 1.28-6.40 kW แล้วนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณเพื่อหาค่า การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก พบว่า

- เชื้อเพลิงผสม PEPFAD30 และ PBPfAD30 พบว่ามีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกใกล้เคียงกับดีเซล โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบ คือ +1.4% และ +0.4% ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบสูงกว่าดีเซล +2.3% และ +3.5% ตามลำดับและค่าอุณหภูมิไอเสีย โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบต่ำกว่าดีเซล-1.9% และ -2.6% ตามลำดับ
- เชื้อเพลิงดีโซฮอลล์ PEPFAD50AhE10 และ PBPfAD50AhE10 พบว่ามีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกสูงกว่ากับดีเซล โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบ คือ +11.2% และ +11.5% ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบสูงกว่าดีเซลเล็กน้อย +0.8% และ +1.0% ตามลำดับ และค่าอุณหภูมิไอเสีย โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบสูงกว่าดีเซล +4.2% และ +3.6% ตามลำดับ
- เชื้อเพลิงดีโซฮอลล์ PEPFAD50AhnB20 และ PBPfAD50AhnB20 พบว่ามีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกสูงกว่ากับดีเซล โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบ คือ +11.0% และ +8.8% ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบสูงกว่าดีเซลเล็กน้อย +0.9% และ +2.9% ตามลำดับ และค่าอุณหภูมิไอเสีย โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบต่ำกว่าดีเซล -1.0% และ -1.9% ตามลำดับ

นอกจากนี้จากการสังเกตการใช้งานในช่วงการทดสอบทั้งหมด เชื้อเพลิงผสม PEPFAD30, PBPfAD30, PEPFAD50AhE10, PBPfAD50AhE10, PEPFAD50AhnB20 และ PBPfAD50AhnB20 สามารถใช้งานในเครื่องยนต์ได้ดีเทียบเท่ากับดีเซล

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 การสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะและการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟน์บางส่วน และส่วนที่ 2 การศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวร่วมกับคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงผสมและการทดสอบใช้ในเครื่องยนต์เบื้องต้น

ส่วนที่ 1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟน์บางส่วน ทำจากวัสดุสแตนเลส 316 ขนาด 2 ลิตร ให้พลังงานความร้อนด้วยฮีตเตอร์หล่อทรงกระบอกขนาด 3,000 วัตต์ ด้วยอัตรา $2.65^{\circ}\text{C}/\text{min}$ โดยเครื่องปฏิกรณ์สามารถรักษาอุณหภูมิได้ตามกำหนดที่ $286.4 \pm 5.2^{\circ}\text{C}$ และหล่อเย็นผลิตภัณฑ์ด้วยอัตรา $4.33^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ซึ่งตลอดช่วงทำปฏิกิริยาจะมีชุดคอมพิวเตอร์จัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความดัน โดยบันทึกในรูปแบบ Excel file ทำให้มีความสะดวกและแม่นยำ หลังจากสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบกะเสร็จได้ศึกษาการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟน์บางส่วน ด้วยปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิ 275°C และความดัน 70 bar เป็นเวลา 60 นาที พบว่า

- ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟน์บางส่วน (Partially Ethanolized Palm Fatty Acid Distillate : PEPFAD) ที่สกัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ เอทานอล ที่ 1:0.6, 1:1 และ 1:2 มีปริมาณเอทิลเอสเตอร์ (ไบโอดีเซล) เท่ากับ 53.2 wt%, 71.8 wt%, และ 88.8 wt%. ตามลำดับ มีกรดไขมันอิสระเหลือ เท่ากับ 44.5 wt%, 26.9 wt% และ 10.0 wt% ตามลำดับ

- ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟน์บางส่วน (Partially Butanolized Palm Fatty Acid Distillate : PBPFFAD) ที่สกัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ บิวทานอล ที่ 1:0.6, 1:1 และ 1:2 มีปริมาณบิวทิลเอสเตอร์ (ไบโอดีเซล) เท่ากับ 62.7 wt%, 78.4 wt%, และ 93.2 wt%. ตามลำดับ มีกรดไขมันอิสระเหลือ เท่ากับ 35.5 wt%, 20.4 wt% และ 6.0 wt% ตามลำดับ

โดยผลิตภัณฑ์ PEPFAD (1:0.6), PEPFAD (1:1), PBPFFAD (1:0.6) และ PBPFFAD (1:1) มีลักษณะทางกายภาพเป็นไขที่อุณหภูมิต่ำ และผลิตภัณฑ์ PEPFAD (1:2) มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืดและเป็นไขชั้นล่าง (ประมาณ 10-20%) ที่อุณหภูมิต่ำ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ PBPFFAD (1:2) มีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวทั้งหมดที่อุณหภูมิต่ำ จึงสามารถสรุปได้ว่า การนำ PFAD

ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับแอลกอฮอล์ (เอทานอล/บิวทานอล) เพื่อเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในจะส่งผลโดยตรงต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

ส่วนที่ 2 ผลศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวร่วมกับคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงผสมและการทดสอบใช้ในเครื่องยนต์เบื้องต้น สามารถสรุปได้ดังนี้

- ส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน ที่สกัดด้วยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ ที่ 1:0.6 โดยที่ PEPFAD และ PBPFAD ผสมโดยตรงกับดีเซลได้ไม่เกิน 30 wt.% และ 40 wt.% ตามลำดับ ผสมกับเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-เอทานอล ได้ไม่เกิน 60 wt.% และ 80 wt.% ตามลำดับ และผสมกับเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-บิวทานอล ได้ไม่เกิน 50 wt.% และ 70 wt.% ตามลำดับ โดยมีเชื้อเพลิงผสมผ่านคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำ ตามมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทย ประกอบด้วย PEPFAD10, PEPFAD(10-40)AhE10, PEPFAD(10-30)AhnB10 และ PEPFAD(10-50)AhnB20 เช่นเดียวกันกับ PBPFAD

- ส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน ที่สกัดด้วยโมล PFAD ต่อ เอทานอล/บิวทานอล ที่ 1:1 โดยที่ PEPFAD และ PBPFAD ผสมโดยตรงกับดีเซลได้ไม่เกิน 40 wt.% และ 50 wt.% ตามลำดับ ผสมกับเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-เอทานอล ได้สูงสุด 80 wt.% เช่นเดียวกันกับเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-บิวทานอล โดยมีเชื้อเพลิงผสมผ่านคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำ ตามมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทย ประกอบด้วย PEPFAD(10-30), PEPFAD(10-50)AhE10, PEPFAD(10-50)AhnB10 และ PEPFAD(10-50)AhnB20 เช่นเดียวกันกับ PBPFAD ยกเว้น PBPFAD(10-30)AhnB10

- ส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน ที่สกัดด้วยโมล PFAD ต่อ เอทานอล/บิวทานอล ที่ 1:2 โดยที่ PEPFAD และ PBPFAD ผสมโดยตรงกับดีเซลได้สูงสุด 90 wt.% ผสมกับเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-เอทานอล ได้สูงสุด 80 wt.% เช่นเดียวกันกับเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขพาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-บิวทานอล โดยมีเชื้อเพลิงผสมผ่านคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำ ตามมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทยประกอบด้วย PEPFAD(10-50), PEPFAD(10-70)AhE10, PEPFAD(10-50)AhnB10 และ PEPFAD(10-70)AhnB20 เช่นเดียวกันกับ PBPFAD

จากผลการศึกษาพฤติกรรมเฟสและการทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าผลิตภัณฑ์ PEPFAD และ PBPFAD ที่สัดส่วน 1:1 มีความน่าสนใจในการเป็นตัวอย่างสำหรับการทดสอบใช้งานในเครื่องยนต์เบื้องต้น ประกอบด้วย เชื้อเพลิงผสม PEPFAD30, PBPFAD30, PEPFAD50AhE10, PBPFAD50AhE10, PEPFAD50AhnB20 และ PBPFAD50AhnB20 โดยการทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น RT100DI PLUS ขนาด 10 แรงม้า ภายใต้เงื่อนไขทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 2,200 rpm โดยเปลี่ยนแปลงภาระในช่วง 1.28-6.40 kW พบว่า

- เชื้อเพลิงผสม PEPFAD30 และ PBPFAD30 พบว่ามีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกิโลกรัมต่อน้ำมันดีเซล โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบ คือ +1.4% และ +0.4% ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบสูงกว่าดีเซล +2.3% และ +3.5% ตามลำดับและค่าอุณหภูมิไอเสีย โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบต่ำกว่าดีเซล-1.9% และ -2.6% ตามลำดับ
- เชื้อเพลิงดีโซฮอล์ PEPFAD50AhE10 และ PBPFAD50AhE10 พบว่ามีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคสูงกว่าดีเซล โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบ คือ +11.2% และ +11.5% ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบสูงกว่าดีเซลเล็กน้อย +0.8% และ +1.0% ตามลำดับ และค่าอุณหภูมิไอเสีย โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบสูงกว่าดีเซล +4.2% และ +3.6% ตามลำดับ
- เชื้อเพลิงดีโซฮอล์ PEPFAD50AhnB20 และ PBPFAD50AhnB20 พบว่ามีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคสูงกว่าดีเซล โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบ คือ +11.0% และ +8.8% ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบสูงกว่าดีเซลเล็กน้อย +0.9% และ +2.9% ตามลำดับ และค่าอุณหภูมิไอเสีย โดยเฉลี่ยทุกภาระทดสอบต่ำกว่าดีเซล -1.0% และ -1.9% ตามลำดับ

นอกจากนี้จากการสังเกตการใช้งานในช่วงการทดสอบ เชื้อเพลิงผสม PEPFAD30, PBPFAD30, PEPFAD50AhE10, PBPFAD50AhE10, PEPFAD50AhnB20 และ PBPFAD50AhnB20 สามารถใช้งานในเครื่องยนต์ได้ดีเทียบเท่ากับดีเซล

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟน์บางส่วนในงานวิจัยนี้ที่ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟน์บางส่วนเท่านั้น โดยไม่ได้หาเงื่อนไข สัดส่วนส่วนกลั่นกรดไขมันต่อแอลกอฮอล์ อุณหภูมิทำปฏิกิริยา ความดันทำปฏิกิริยา และเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุด แต่ได้ข้อมูลเบื้องต้นที่สัดส่วนส่วนกลั่นกรดไขมันต่อแอลกอฮอล์ 1:0.6, 1:1 และ

1:2 อุณหภูมิเริ่มทำปฏิกิริยา 275°C ความดันทำปฏิกิริยา 70 bar และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที ดังนั้นสิ่งที่น่าสนใจศึกษาต่อไปคือ การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพนบางส่วน ที่สภาวะอุณหภูมิสูง ความดันสูง โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ การศึกษาการใช้งานเชิงเปรียบเทียบบนแท่นทดสอบในเครื่องยนต์จริงอย่างละเอียด และการใช้งานจริงในเครื่องยนต์ระยะยาวจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจศึกษาต่อไปเช่นกัน เพื่อสร้างองค์ความรู้ ความเข้าใจ และความมั่นใจในการใช้เชื้อเพลิงทดแทนต่อไป

บรรณานุกรม

- กระทรวงพลังงาน. 2554. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 7 เชื้อเพลิงเอทานอล
- กระทรวงพลังงาน. 2558. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 Alternative Energy Development Plan: AEDP2015.
- กระทรวงพลังงาน. 2563. ภาพรวมพลังงานประจำปี 2563.
- กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <https://www.arda.or.th> (9 เมษายน 2565)
- กิตติศักดิ์ ทวีสินโสภากา. 2549. การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมน โดยใช้กระบวนการผลิตแบบ Esterification และ Transesterification. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- นฤมล อินทร์ตัน. 2559. การผลิตเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบชนิดกรดไขมันอิสระสูงแบบสองขั้นตอนด้วยท่อผสมสเถิตแบบหมุนวน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ปริญญา หม่อมพิบูลย์. 2555. คุณลักษณะการเป็นของเหลวของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนผสมดีเซล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ปาล์มน้ำมัน (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <https://www.trangpalmoil.com/index.php/2018-03-06-06-41-35> (12 พฤษภาคม 2565)
- ราคาเอทานอล (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <https://www.thai-ethanol.com/th/statistical-data/price.html>. (in Thai). (15 พฤษภาคม 2565)
- ราคาน้ำมันปาล์มดิบ (ออนไลน์). สืบค้นจาก : https://www.bot.or.th/App/BTWS_STAT/statistics/ReportPage.aspx?reportID=590&language=th. (15 พฤษภาคม 2565)
- ราคาน้ำมันดีเซล (ออนไลน์). สืบค้นจาก : <http://www.eppo.go.th/index.php/th/petroleum/price/oil-price.html>. (15 พฤษภาคม 2565)

- วิชัย ปานสมุทร, วิทยา พงศ์พฤทธิ และชวน อินตะรังสี. 2003. พลังงานชีวมวลทางด้านเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมจากพืชปาล์มน้ำมัน. ส่วนพัฒนาพลังงาน 2 สำนักพัฒนาพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กันยายน 2546. หน้า 7-117
- ศุภกิจ เอียดตรง. 2559. การผลิตส่วนผสมดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิสแบบต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ศุภกิจ เอียดตรง. 2564. การตรวจสอบข้อเท็จจริงเพื่อใช้ประโยชน์ดีเซล/ดีโซฮอลล์ที่เติมกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลอย่างง่ายชนิดใหม่. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2564. สารสนเทศ เศรษฐกิจการเกษตร รายสินค้า ปี 2564.
- Burapakusolsri, J., Pairintra, R., Arsasudjarid, C. and Sudaprasert, K. 2012. Biodiesel Production from Jatropha Oil by Supercritical Alcohol. *Journal of Community Development Research*. 5(1). pp. 25-39.
- Chongkong, S., Tongurai, C. and Chetpattananondh, P. 2009. Continuous esterification for biodiesel production from palm fatty acid distillate using economical process. *Renewable Energy*. 34. pp. 1059-1063.
- Chotwichien, A., Luengnaruemitchai, A. and Jai-In, S. 2009. Utilization of palm oil alkyl esters as an additive in ethanol-diesel and butanol-diesel blends. *Fuel*. 88. pp. 1618-1624.
- Dogan, O. 2011. The influence of n-butanol/diesel fuel blends utilization on a small diesel engine performance and emissions. *Fuel*. 90. pp. 2467-2472.
- Farobie, O., Sasanami, K., Matsumura, Y. 2015. A novel spiral reactor for biodiesel production in supercritical ethanol. *Applied Energy*. 147. pp. 20-29.
- He, B.Q., Shuai, S.J., Wang, J.X. and He, H. 2003. The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from diesel engine. *Atmospheric Environment*. 37. pp. 4965-3971.

- Hongthong, S. and Kajorncheppun-ngam, S. 2010. Production of Biodiesel from Rice bran oil by Supercritical Methanol. *Naresuan University Journal*. 18(3). pp. 20-26.
- Isik, M.Z., Bayindir, H., Iscan, B. and Aydin, H. 2016. The effect of n-butanol additive on low load combustion, performance and emissions of biodiesel-diesel blend in a heavy duty diesel power generator. *Journal of the Energy Institute*. pp. 1-11.
- Ithnin, A.M., Noge, H., Kadir, H.A. and Jazair, W. 2014. An overview of utilizing water-in-diesel emulsion fuel in diesel engine and its potential research study. *Journal of the Energy Institute*. 87. pp.273-288.
- Jamrozik, A. 2017. The effect of the alcohol content in the fuel mixture on the performance and emissions of a direct injection diesel engine fueled with diesel-methanol and diesel-ethanol blends. *Energy Conversion and Management*. 148. pp. 461-476.
- Jin, C., Yao, M., Liu, H., Lee, C.F. and Ji, J. 2011. Progress in the production and application of n-butanol as a biofuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15. pp. 4080-4106.
- Knothe G. 2001. Historical perspectives on vegetable oil-based diesel fuels. *Inform*. 11. pp. 1103-1107.
- Kumar, S., Cho, J.H., Park, J. and Moon, I., 2013. Advances in diesel-alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 546. 22. pp. 46-72.
- Kwancharoen, P., Luengnaruemitchai, A. and Jai-In, S. 2007. Solubility of a diesel-biodiesel-ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine. *Fuel*. 86. pp. 1053-1061.
- Leevijit, T. and Prateepchaikul, G. 2011. Comparative performance and emissions of IDIturbo automotive diesel engine operated using degummed, deacidified mixed crude palm oil-diesel blends. *Fuel*. 90. pp. 1487-1491.

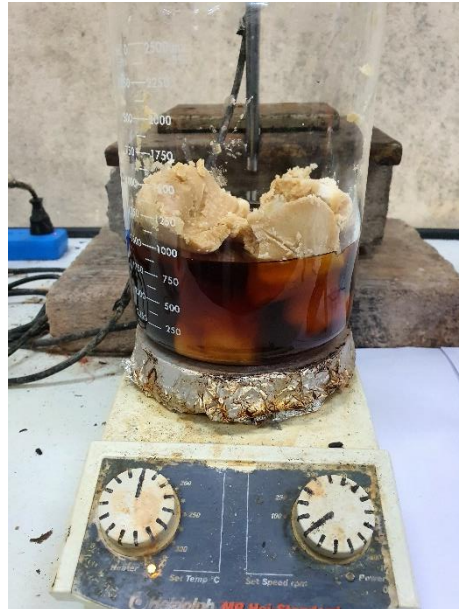
- Leevijit, T., Prateepchaikul, G., Maliwan, K., Mompiboon, P., Okaew, S. and Eiadtrong, S. 2016. Production, properties, and utilization of degummed/esterified mixed crude palm oil-diesel blends in an automotive engine without preheating. *Fuel*. 182. pp. 509-516.
- Leevijit, T., Prateepchaikul, G., Maliwan, K., Mompiboon, P. and Eiadtrong, S. 2017. Comparative properties and utilization of un-preheated degummed/esterified mixed crude palm oil-diesel blends in an agricultural engine. *Renewable Energy*. 101. pp. 82-89.
- Muppaneni, T., Reddy, H.K., Patil, P.D., Dailey, P., Aday, C., Deng, S. 2012. Ethanolysis of camelina oil under supercritical condition with hexane as a co-solvent. *Applied Energy*. 94. pp. 84-88.
- Ouephanit, C., Virunanon, C. and Chulalaksananukul, W. 2012. Biobutanol: The Coming Liquid Fuel for Ethanol Substitution. *The Journal of KMUTNB*. 22. Pp. 703-709.
- Prakash, T., Edwin Geo, V., Jesu Martin, L. and Nagalingam, B. 2018. Effect of ternary blends of bio-ethanol, diesel and castor oil on performance, emission and combustion in a CI engine. *Renewable Energy*. 122. pp. 301-309.
- Prateepchaikul, G., Allen, M.L., Leevijit, T. and Thaveesinsopha, K. 2007. Methyl ester production from high free fatty acid mixed crude palm oil. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 29. pp. 1551-1561.
- Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C. D., Giakoumis, E. G., Papagiannakis R. G. and Kyritsis, D. C. 2014. Influence of properties of various common bio- fuels on the combustion and emission characteristics of high-speed DI (direct injection) diesel engine: vegetable oil, bio-diesel, ethanol, n-butanol, diethyl ether. *Energy*. 73. pp. 354-366.
- Roy, M.M., Wang, W. and Bujold, J. 2013. Biodiesel production and comparison of emissions of a DI diesel engine fueled by biodiesel-diesel and canola oil-diesel blends at high idling operations. *Applied Energy*. 106. pp. 198-208.

- Santos, P.R.S., Voll, F.A.P., Ramos, L.P. and Corazza, M.L. 2017. Esterification of fatty acids with supercritical ethanol in a continuous tubular reactor. *The Journal of Supercritical Fluids*. 126. pp. 25-36.
- Sathiyamoorthi, R. and Sankaranarayanan, G. 2017. The effects of using ethanol as additive on the combustion and emissions of a direct injection diesel engine fuelled with neat lemongrass oil-diesel fuel blend. *Renewable Energy*. 101. pp. 747-756.
- Silitonga, A.S., Atabani, A.E., Mahlia, T.M.I., Masjuki, H.H., Badruddin, I.A. and Mekhilef, S. 2011. A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia. *Renewable Sustainable Energy Review*. 15. pp. 3733–3756.
- Somnuk, K., Smithmaitrie, P. and Preteepchaikul, G. 2013. Two-stage continuous process of methyl ester from high free fatty acid mixed crude palm oil using static mixer coupled with high-intensity of ultrasound. *Energy Conversion and Management*. 75. pp. 302-310.
- Vallinayagam, R., Vedharaj, S., Yang, W.M., Lee, P.S., Chua, K.J.E. and Chou S.K. 2014. Pine oil biodiesel blend: A double strategy to completely eliminate the use of diesel in a diesel engine. *Applied Energy*. 130. pp. 466-473.
- Velez, A., Soto, G., Hegel, P., Mabe, G. and Pereda, S. 2012. Continuous production of fatty acid ethyl esters from sunflower oil using supercritical ethanol. *Fuel*. 97. Pp. 703-709.
- Yilmaz, N. and Vigil, F. 2014. Potential use of a blend of diesel, biodiesel, alcohols and vegetable oil in compression ignition engines. *Fuel*. 124. pp. 168–172.
- Zhang, Z.H. and Balasubramanian, R. 2014. Influence of butanol addition to dieselbiodiesel blend on engine performance and particulate emissions of a stationary diesel engine. *Applied Energy*. 119. pp. 530-536.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
(กระบวนการล้าง)

1. ชั่งผลิตภัณฑ์ 1 kg ในปิกเกอร์ขนาด 2,000 ml แล้วนำไปอุ่นบนเตาให้ความร้อน (hot plate) ให้มีอุณหภูมิ 65-75°C



รูปที่ ก.1 อุ่น PFAD ที่อุณหภูมิ 65-75°C

2. เติมน้ำ 0.5 kg ลงไป แล้วกวนส่วนผสมด้วยใบกวนชนิด 6-blade disk turbine ที่ความเร็วรอบ 250-300 rpm โดยควบคุมอุณหภูมิ $\approx 100^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15 min



รูปที่ ก.2 เติมน้ำแล้วกวนที่อุณหภูมิ 100°C

3. วางทิ้งไว้เป็นเวลา 15 min เพื่อให้น้ำแยกออกจากผลิตภัณฑ์ แล้วถ่ายน้ำทิ้ง และล้างซ้ำอีก 1 รอบ



รูปที่ ก.3 แยกน้ำออกจากผลิตภัณฑ์

4. ทำการอุ่นไล่ที่อุณหภูมิ $\approx 120^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 min จะได้ส่วนกลั่นกรดไฮพาล์มเอสเทอร์ไพน์บางส่วน



รูปที่ ก.4 อุ่นที่ 120°C เป็นเวลา 30 min

ภาคผนวก ข

(กระบวนการอุ่นไต้แอลกอฮอล์และน้ำ)

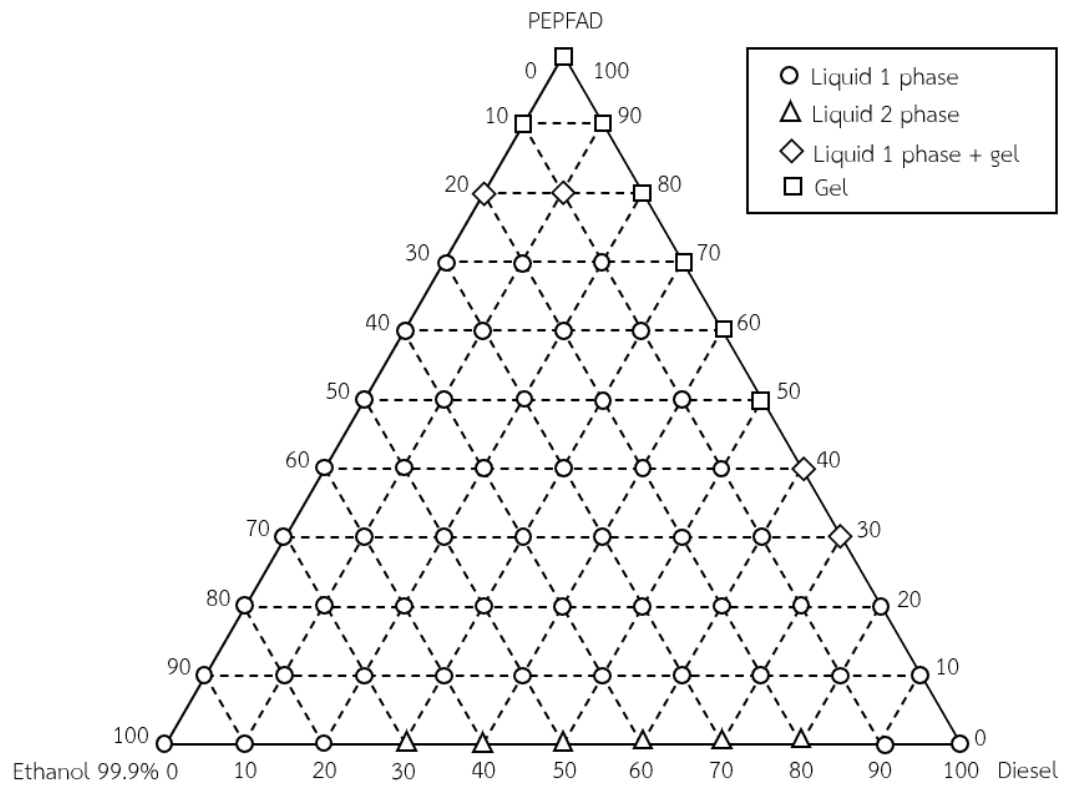
นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2,000 ml แล้วนำไปอุ่นบนเตาให้ความร้อน (hot plate) ให้มีอุณหภูมิ $\approx 120^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที



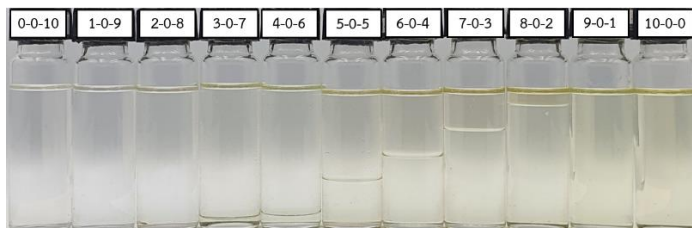
รูปที่ ข.1 อุ่นที่ 120°C เป็นเวลา 30 min

ภาคผนวก ค

(เฟสไดอะแกรมและพฤติกรรมเฟสของเชื้อเพลิงผสมส่วนกลับันกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน
ที่สกัดส่วนโดยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:0.6)



รูปที่ ค.1 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล



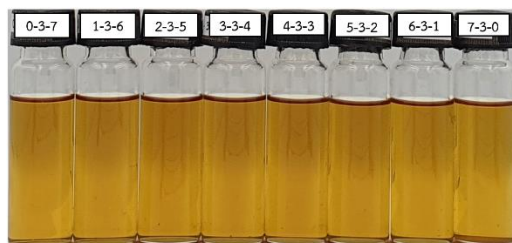
(a) 0 wt.%



(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%

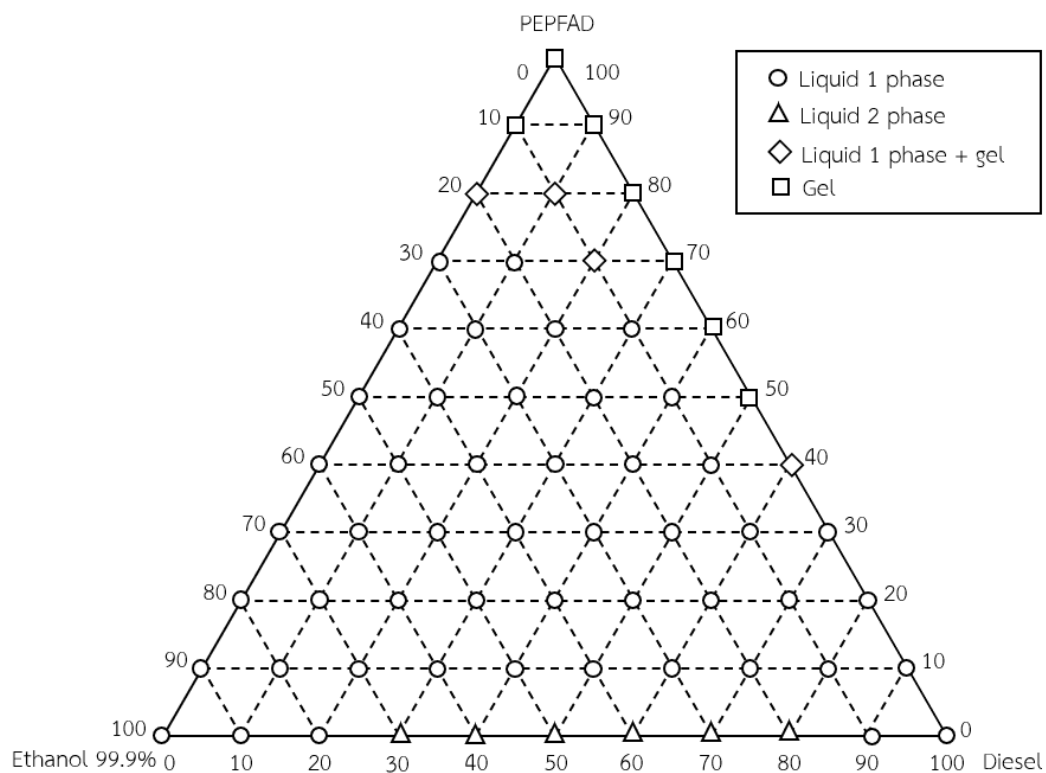


(g) 60 wt.%



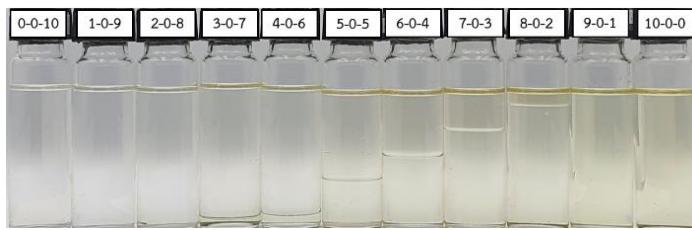
(f) 50 wt.%

รูปที่ ค.2 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล

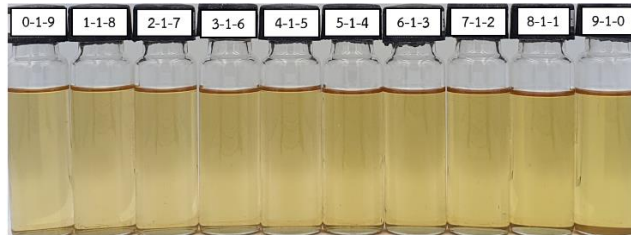


รูปที่ ค.3 เฟสไดอะแกรมของ

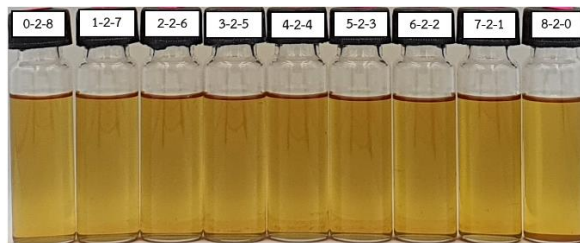
ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล



(a) 0 wt.%



(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%



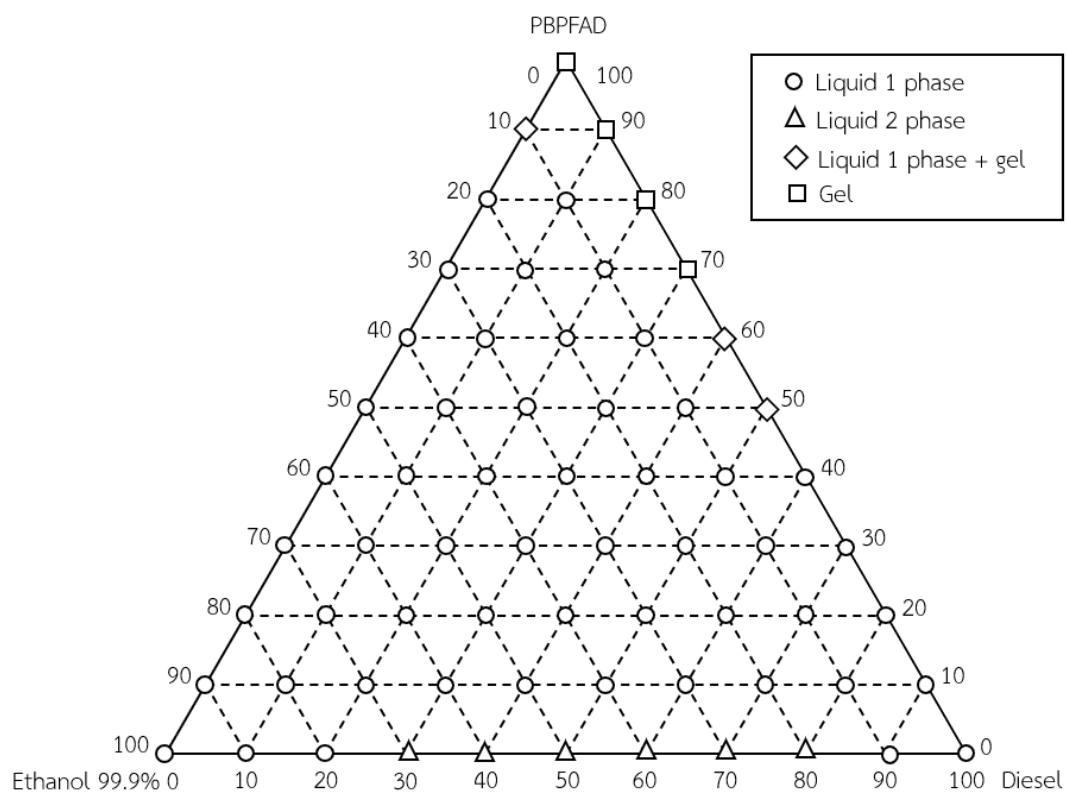
(g) 60 wt.%



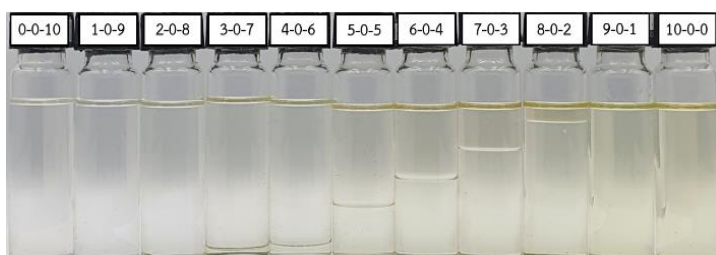
(f) 50 wt.%

รูปที่ ค.4 พฤติกรรมเฟสของ

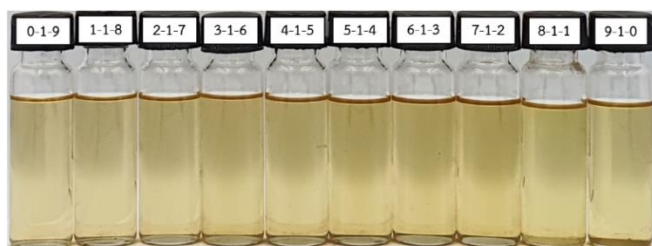
ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล



รูปที่ ค.5 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล



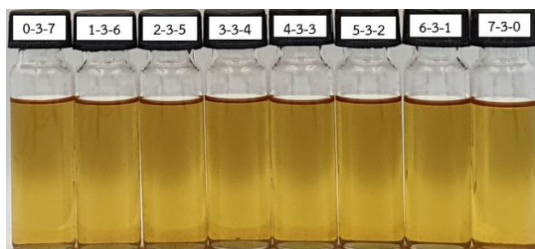
(a) 0 wt.%



(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%

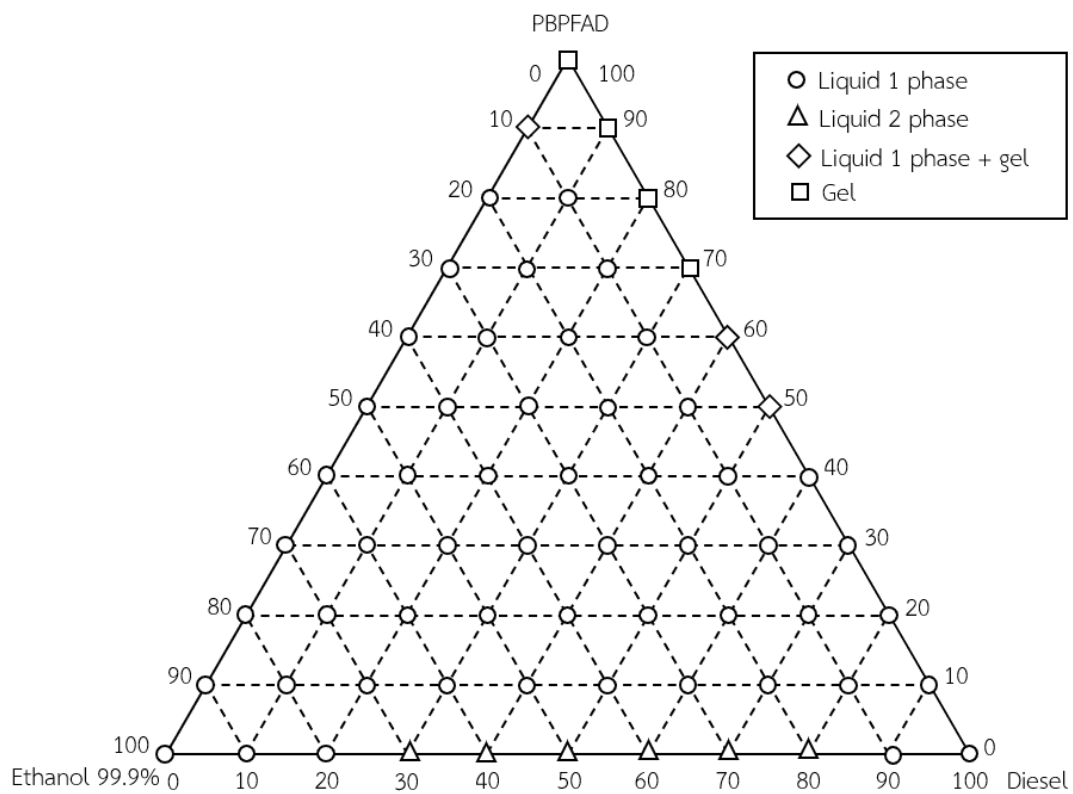


(g) 60 wt.%



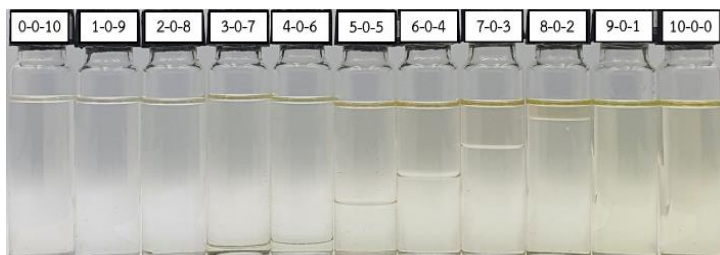
(f) 50 wt.%

รูปที่ ค.6 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล



รูปที่ ค.7 เฟสไดอะแกรมของ

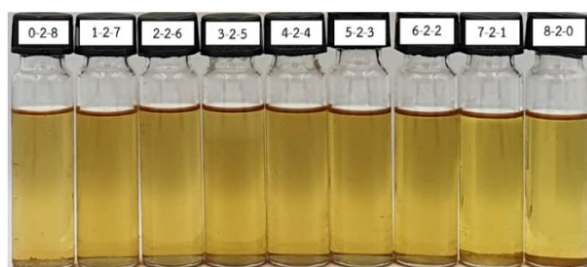
ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล



(a) 0 wt.%



(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



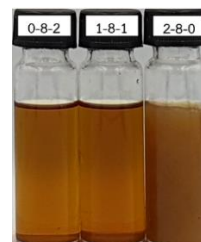
(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%



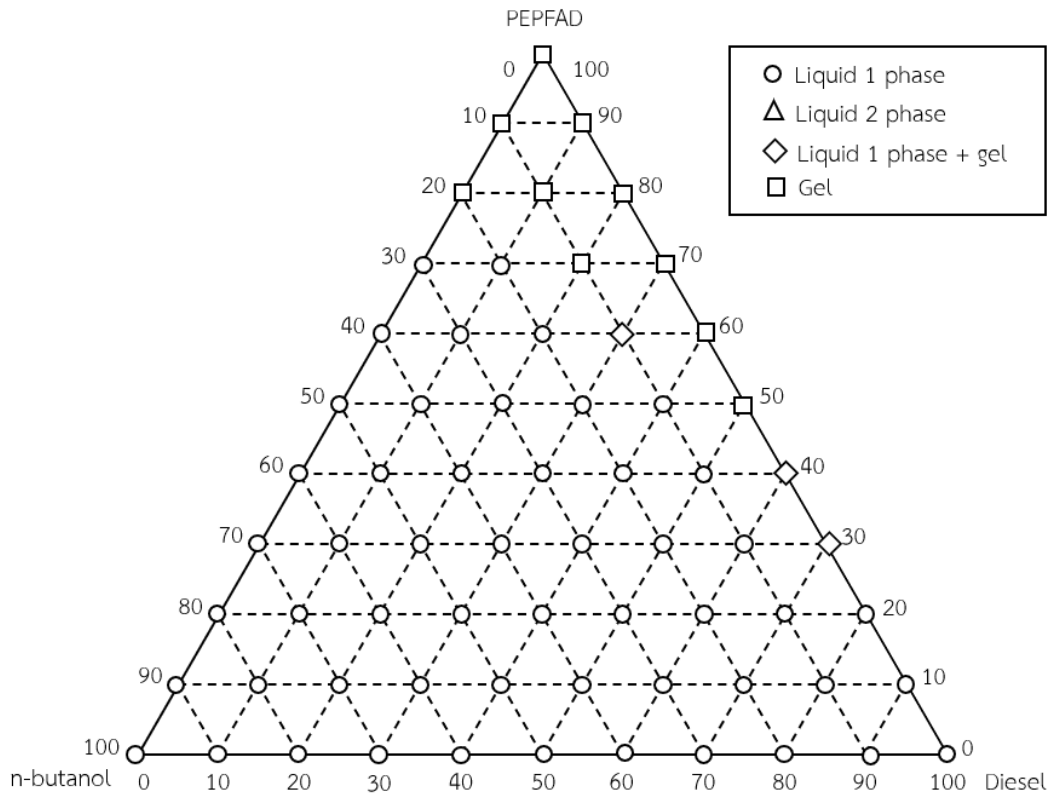
(g) 60 wt.%



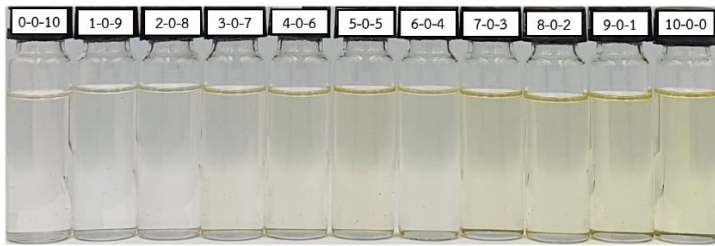
(f) 50 wt.%

รูปที่ ค.8 พฤติกรรมเฟสของ

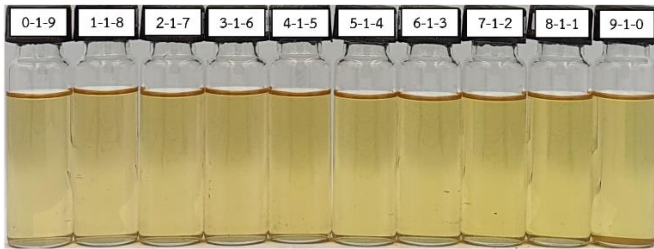
ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไต้แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล



รูปที่ ค.9 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล



(a) 0 wt.%



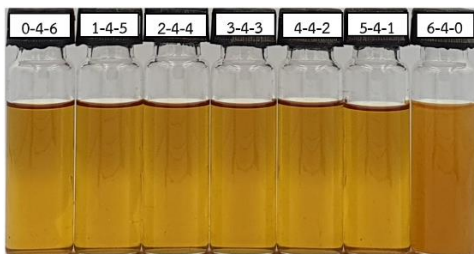
(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%

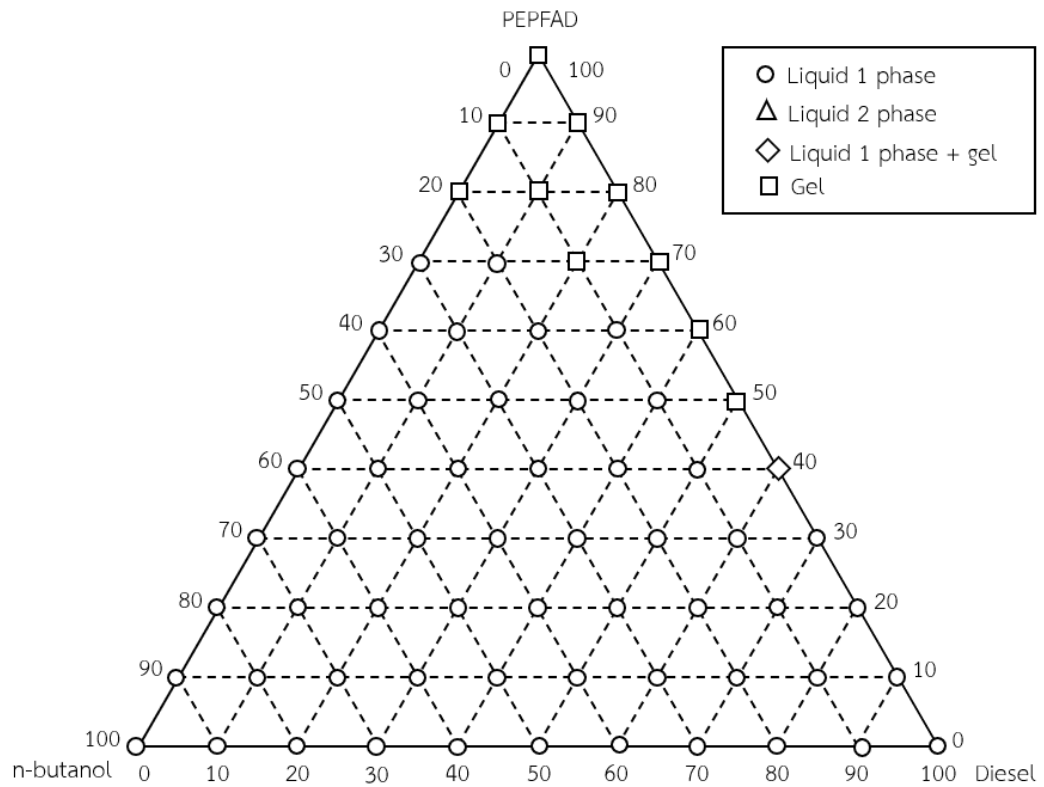


(g) 60 wt.%



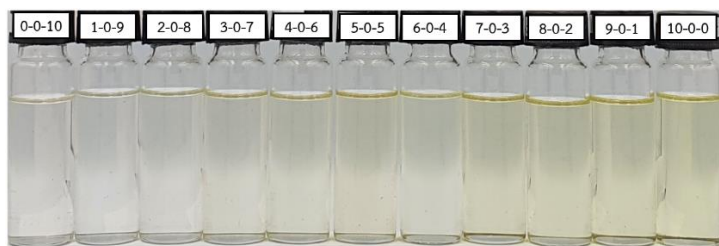
(f) 50 wt.%

รูปที่ ค.10 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล



รูปที่ ค.11 เฟสไดอะแกรมของ

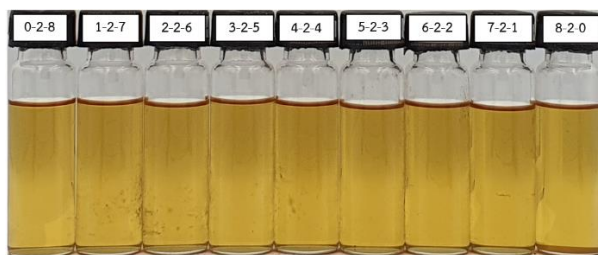
ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล



(a) 0 wt.%



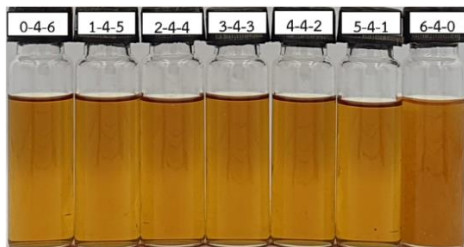
(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%



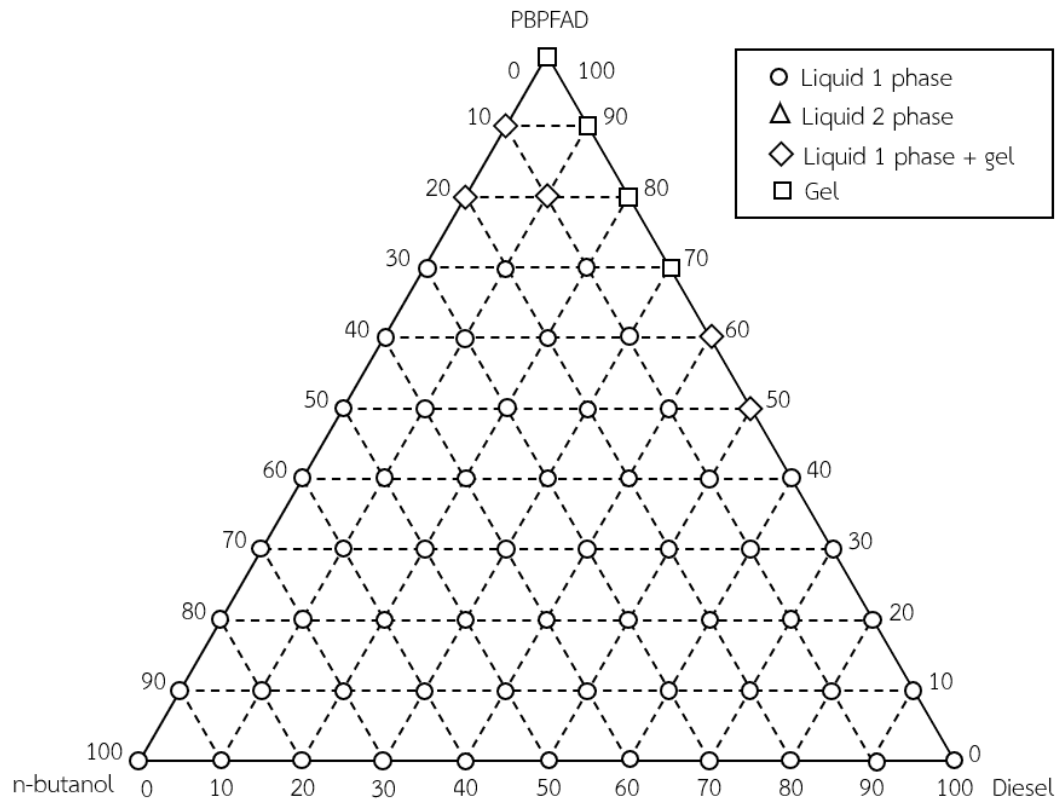
(g) 60 wt.%



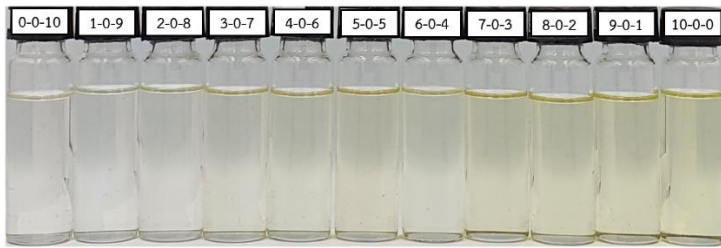
(f) 50 wt.%

รูปที่ ค.12 พฤติกรรมเฟสของ

ดีเซล-PEPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล



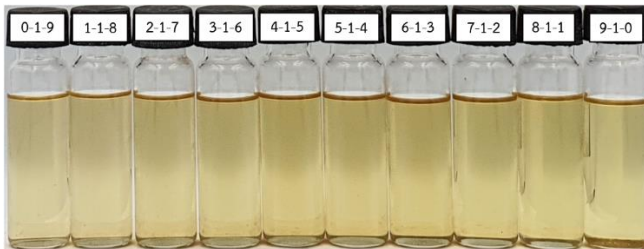
รูปที่ ค.13 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล



(a) 0 wt.%



(j) 90 wt.%



(b) 10 wt.%



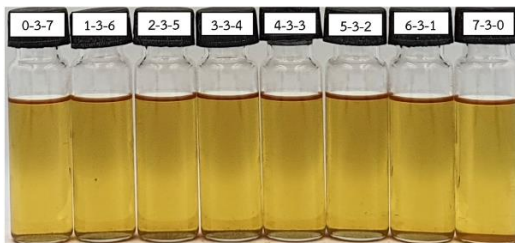
(i) 80 wt.%



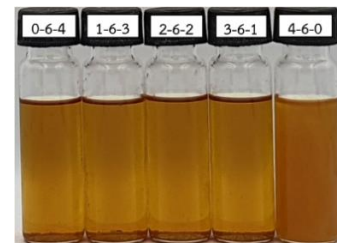
(c) 20 wt.%



(h) 70 wt.%



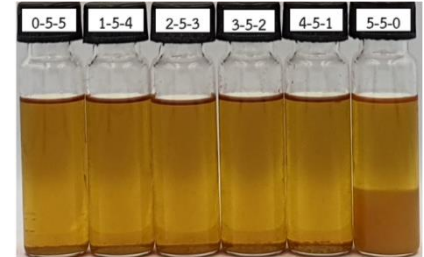
(d) 30 wt.%



(g) 60 wt.%

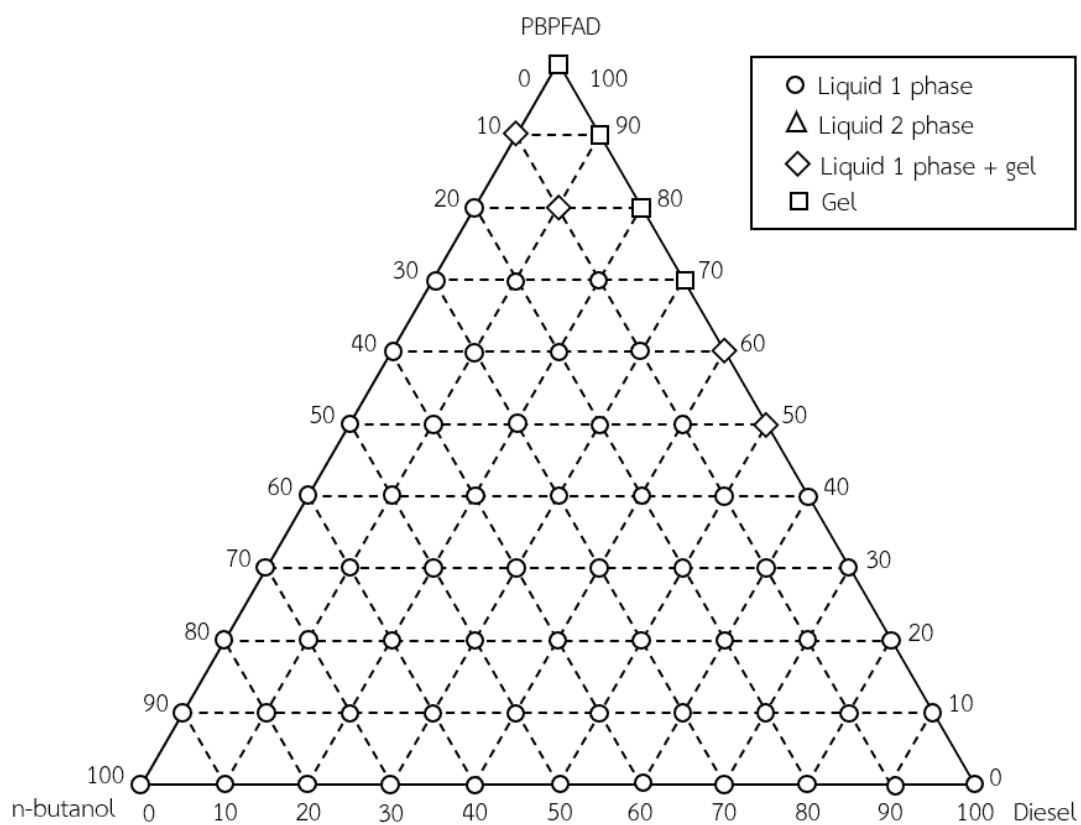


(e) 40 wt.%



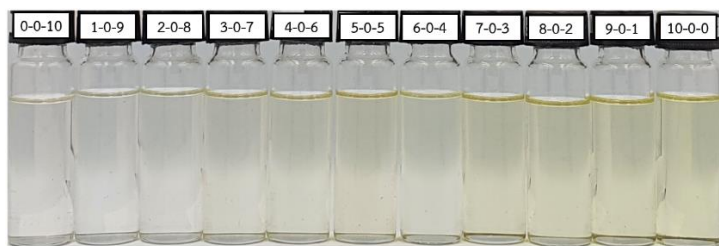
(f) 50 wt.%

รูปที่ ค.14 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล



รูปที่ ค.15 เฟสไดอะแกรมของ

ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล



(a) 0 wt.%



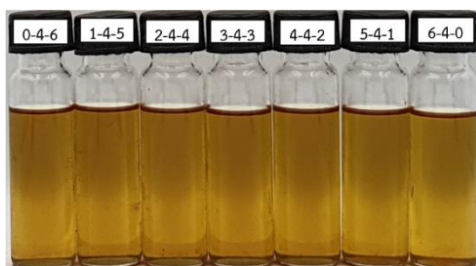
(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%



(g) 60 wt.%



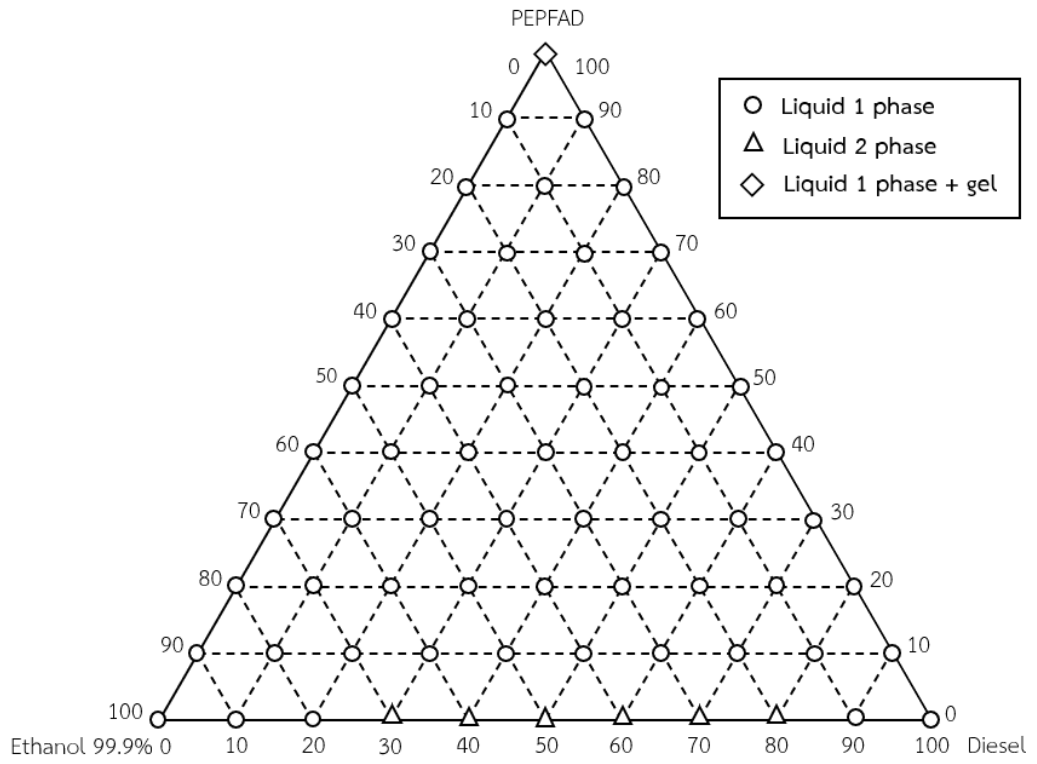
(f) 50 wt.%

รูปที่ ค.16 พฤติกรรมเฟสของ

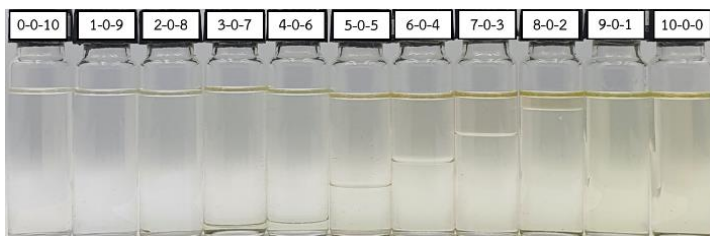
ดีเซล-PBPFAD (1:0.6) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล

ภาคผนวก ง

(เฟสไดอะแกรมและพฤติกรรมเฟสของเชื้อเพลิงผสมส่วนกลับันกรดไขปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน
ที่สกัดด้วยโมล PFAD ต่อ แอลกอฮอล์ เท่ากับ 1:2)



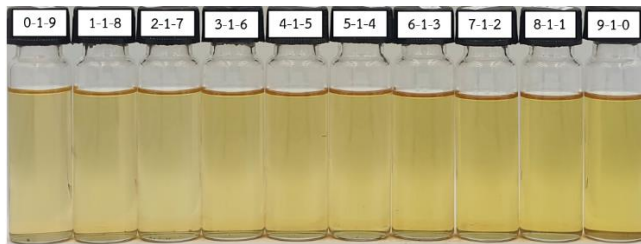
รูปที่ ง.1 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล



(a) 0 wt.%



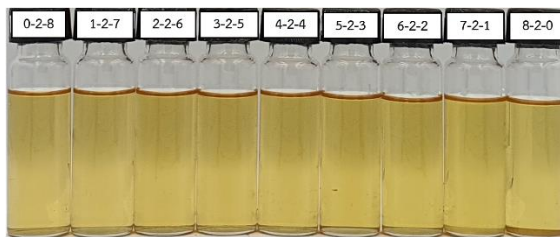
(j) 90 wt.%



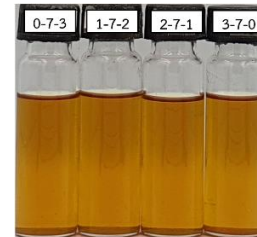
(b) 10 wt.%



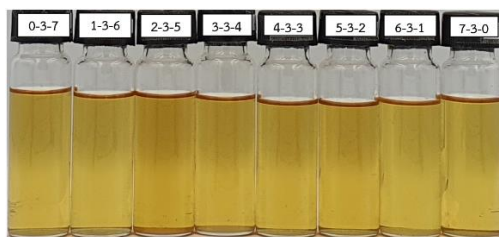
(i) 80 wt.%



(c) 20 wt.%



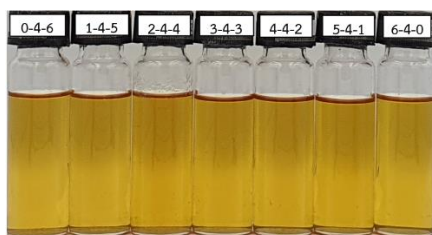
(h) 70 wt.%



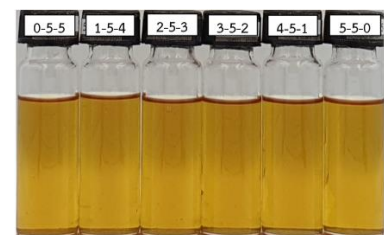
(d) 30 wt.%



(g) 60 wt.%

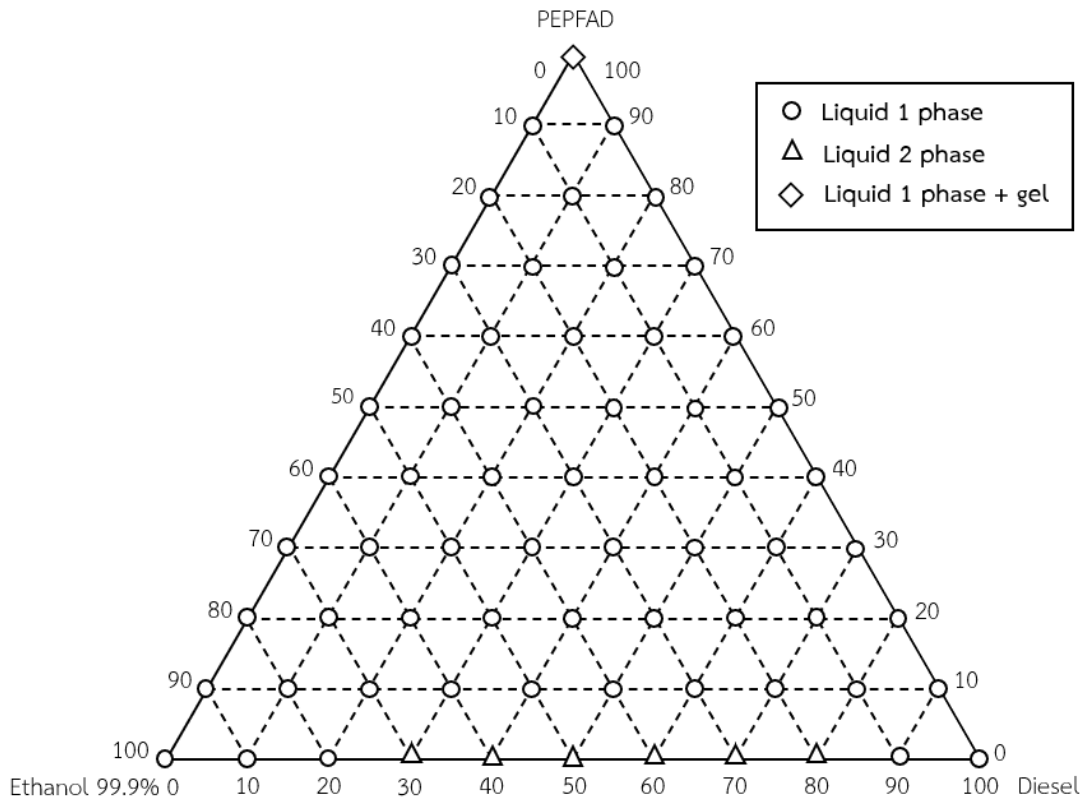


(e) 40 wt.%



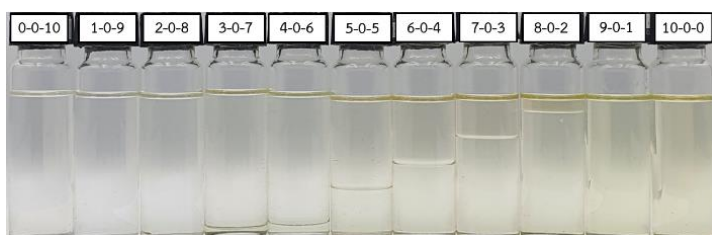
(f) 50 wt.%

รูปที่ ง.2 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล

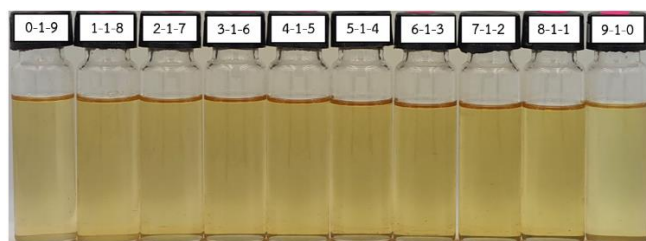


รูปที่ ๓.๓ เฟสไดอะแกรมของ

ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล



(a) 0 wt.%



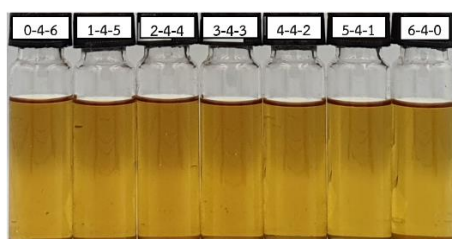
(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



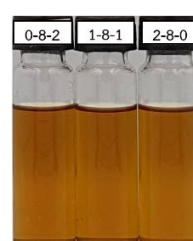
(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%



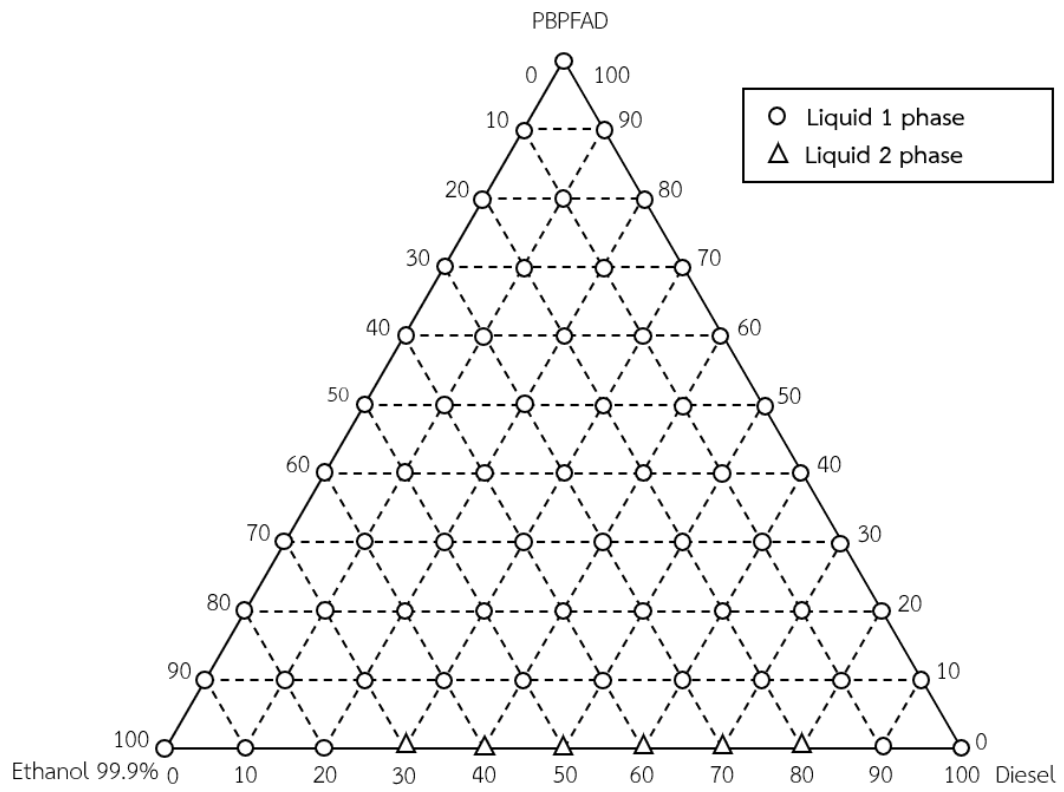
(g) 60 wt.%



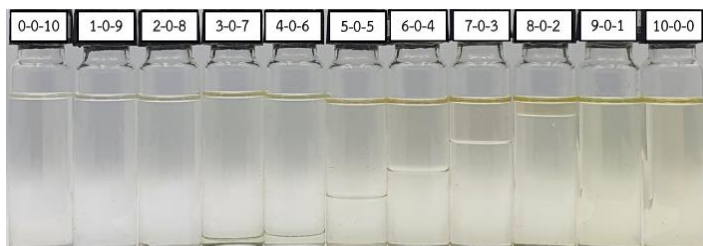
(f) 50 wt.%

รูปที่ ง.4 พฤติกรรมเฟสของ

ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไอล่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล



รูปที่ ง.5 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล



(a) 0 wt.%



(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



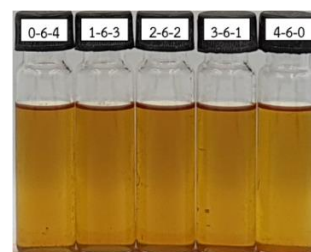
(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%

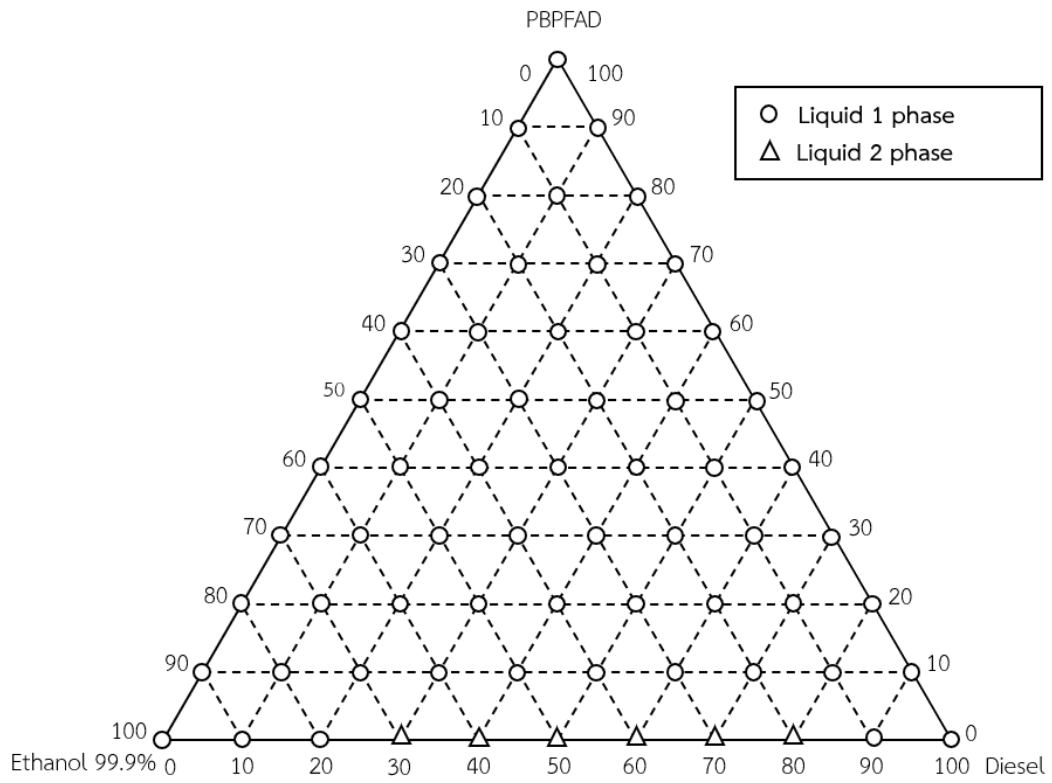


(g) 60 wt.%



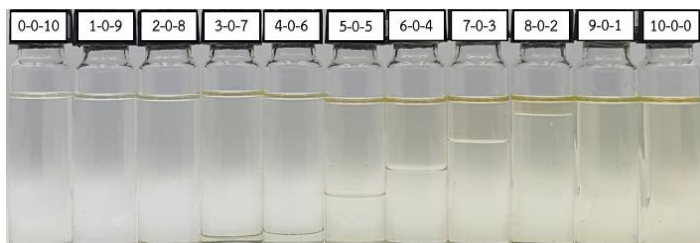
(f) 50 wt.%

รูปที่ ๖.6 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-เอทานอล



รูปที่ ๓.๗ เฟสไดอะแกรมของ

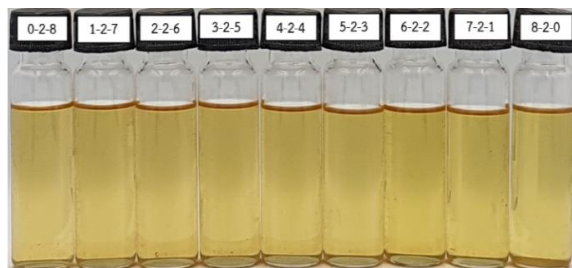
ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล



(a) 0 wt.%



(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



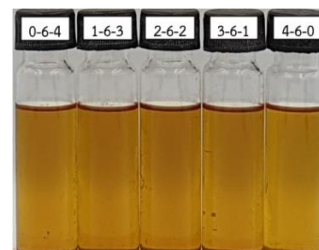
(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%

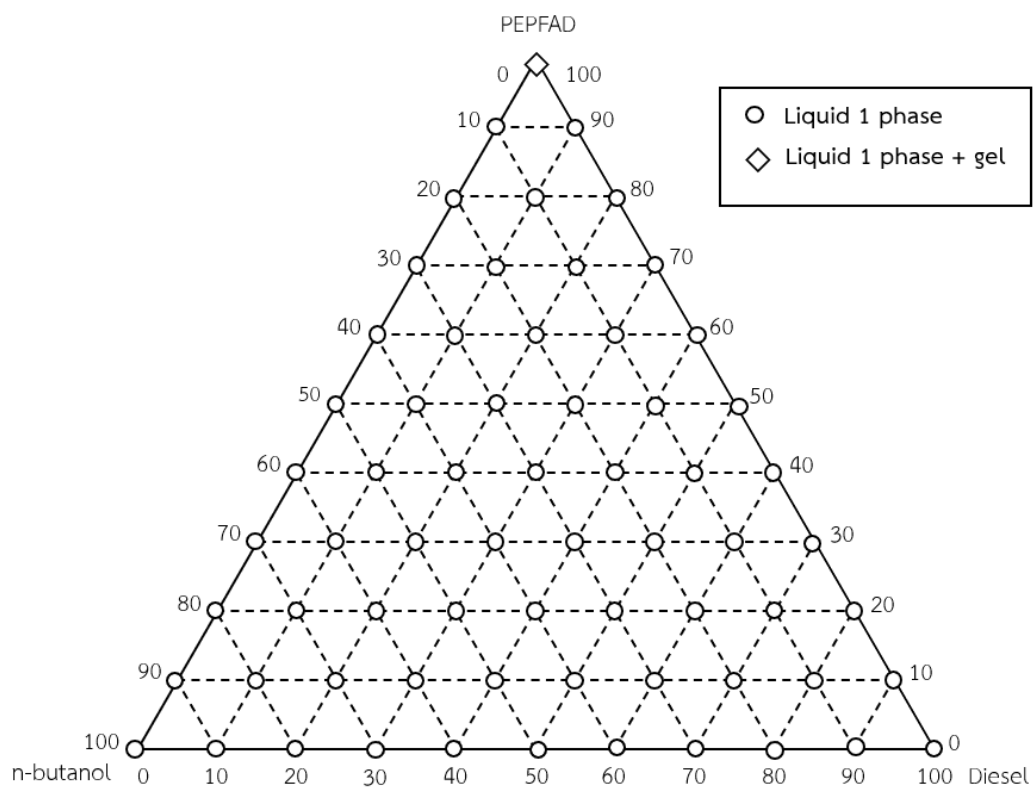


(g) 60 wt.%

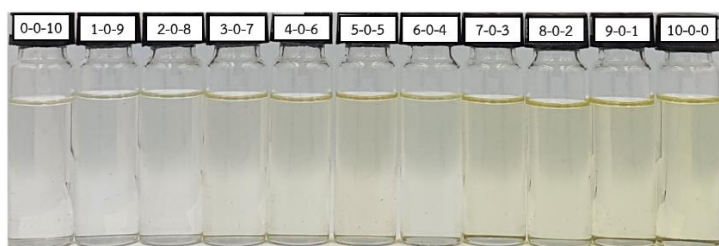


(f) 50 wt.%

รูปที่ ๘.๘ พฤติกรรมเฟสของ
ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-เอทานอล



รูปที่ ง.9 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล



(f) 0 wt.%



(j) 90 wt.%



(g) 10 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 20 wt.%



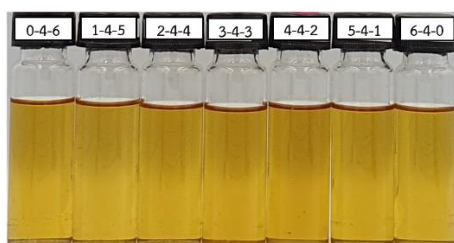
(h) 70 wt.%



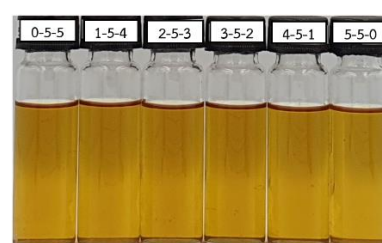
(i) 30 wt.%



(g) 60 wt.%

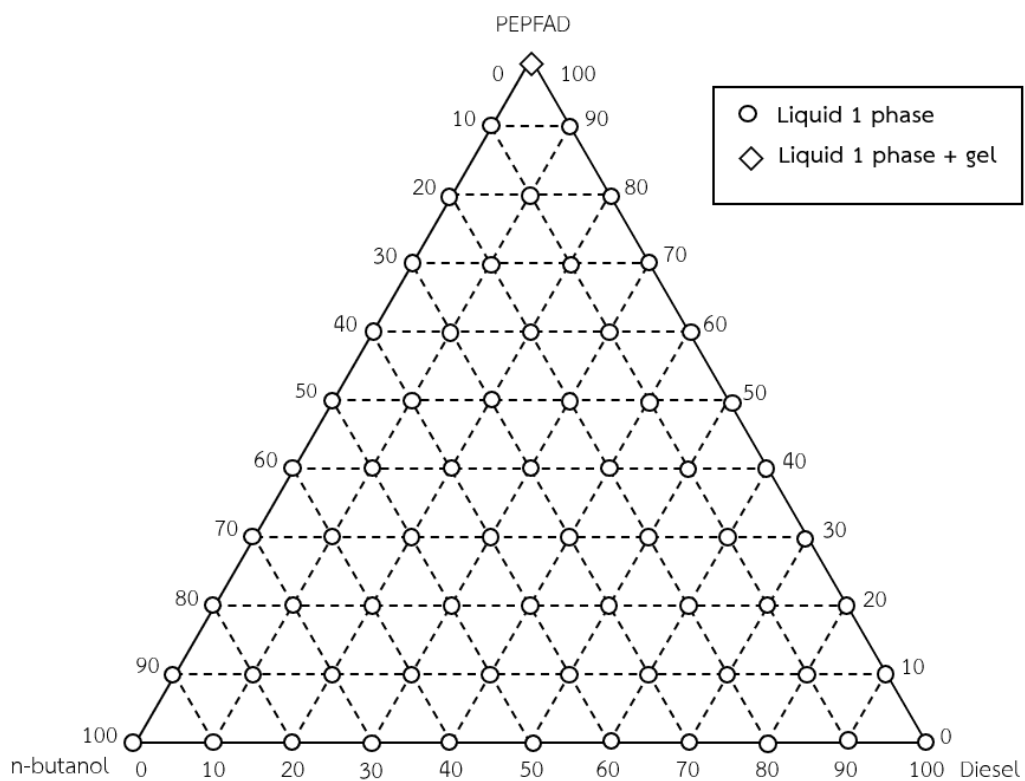


(j) 40 wt.%



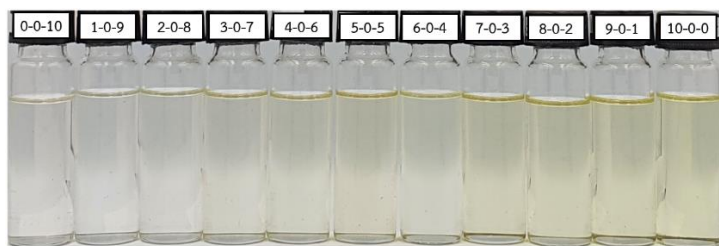
(f) 50 wt.%

รูปที่ ๑.๑๐ พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล



รูปที่ ง.11 เฟสไดอะแกรมของ

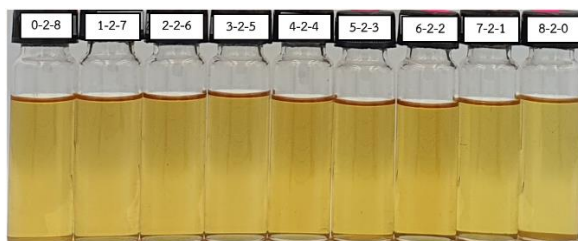
ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไอล์แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล



(a) 0 wt.%



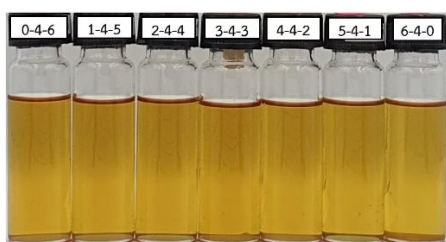
(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



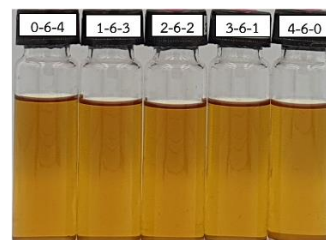
(j) 90 wt.%



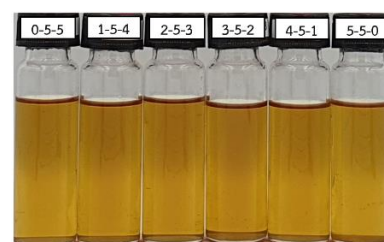
(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%



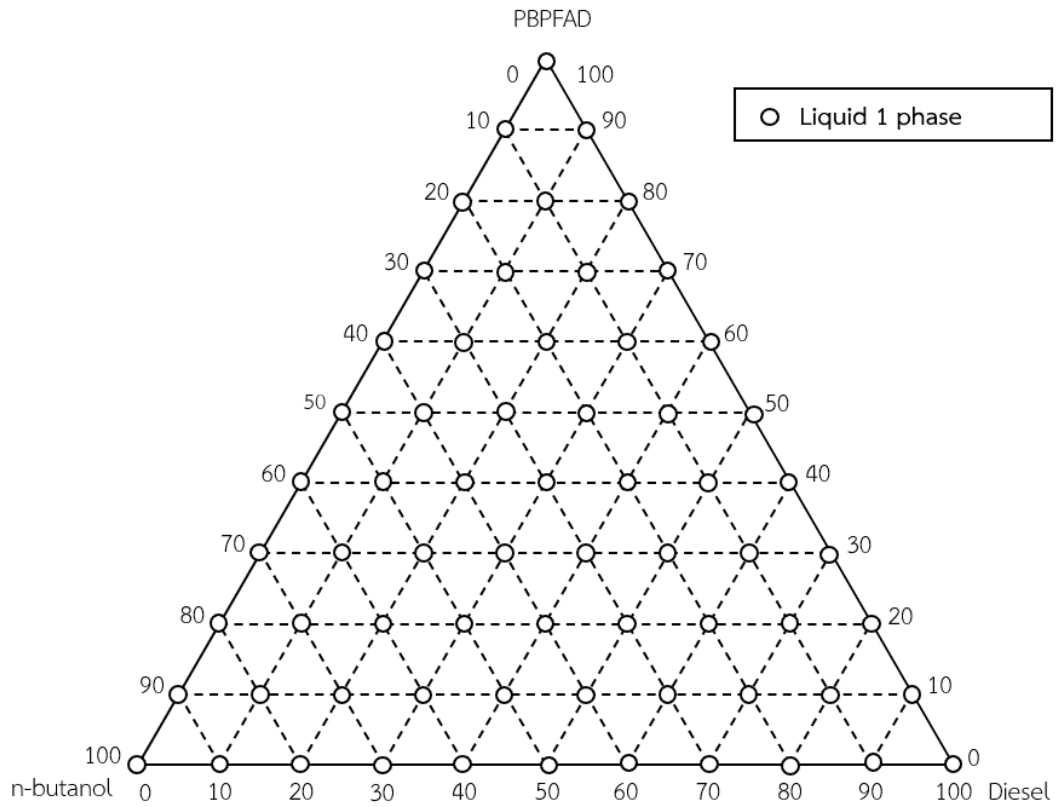
(g) 60 wt.%



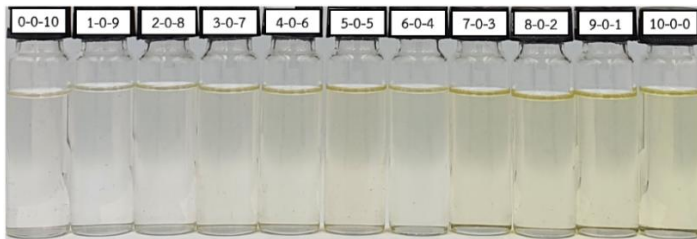
(f) 50 wt.%

รูปที่ ง.12 พฤติกรรมเฟสของ

ดีเซล-PEPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล



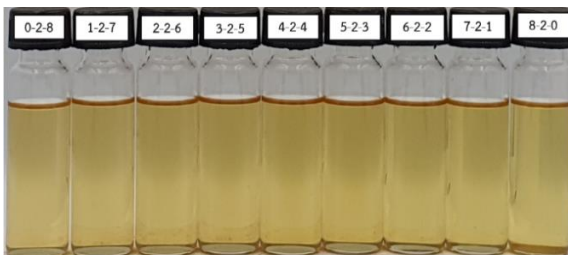
รูปที่ ง.13 เฟสไดอะแกรมของ ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล



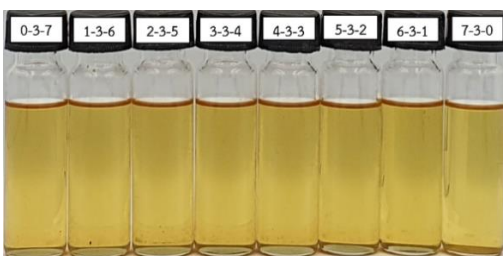
(a) 0 wt.%



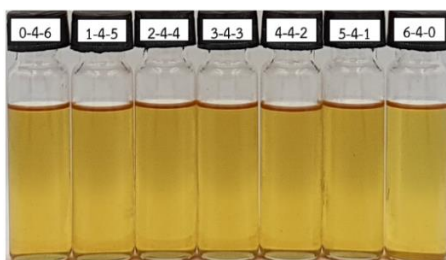
(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



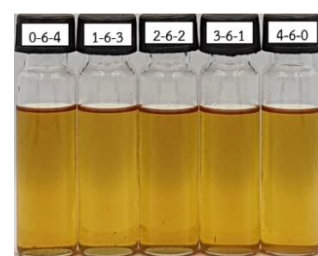
(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%

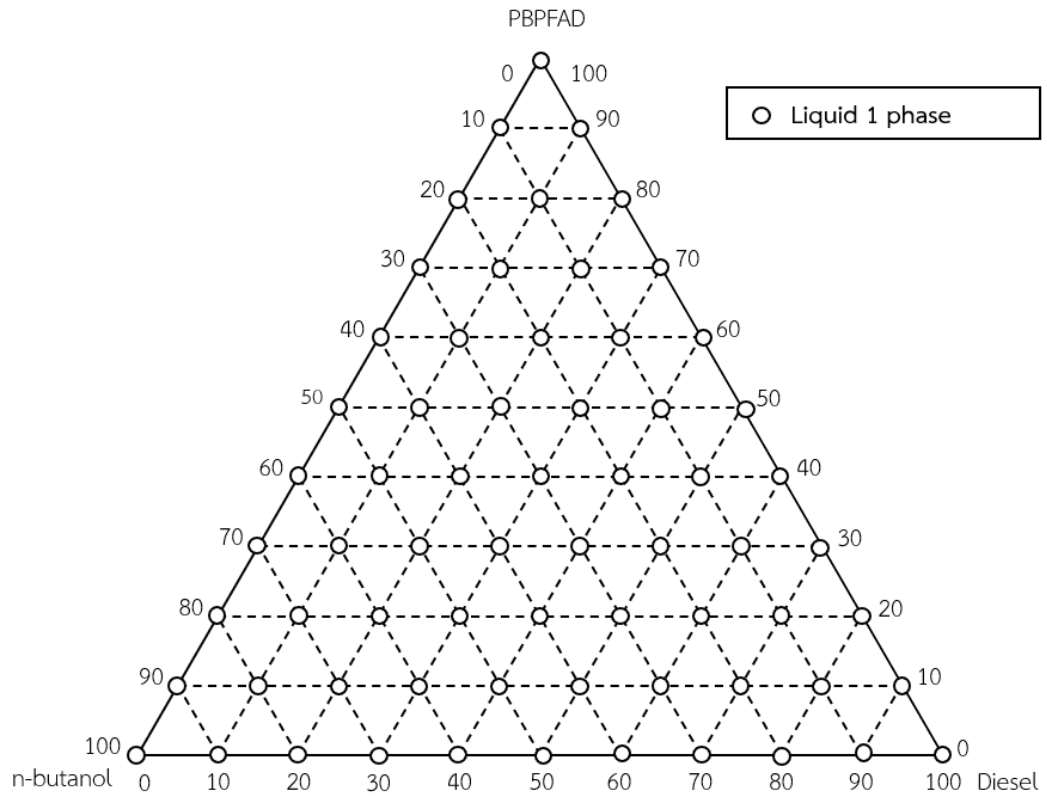


(g) 60 wt.%



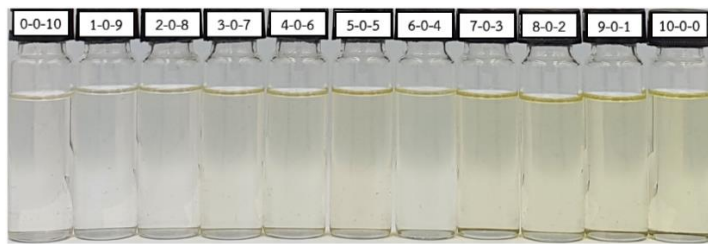
(f) 50 wt.%

รูปที่ ง.14 พฤติกรรมเฟสของ ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการล้าง-บิวทานอล

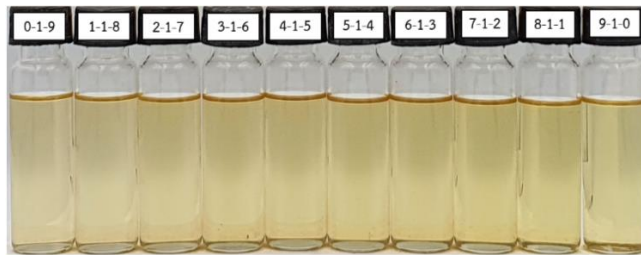


รูปที่ ๑.15 เฟสไดอะแกรมของ

ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไอล่าแอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล



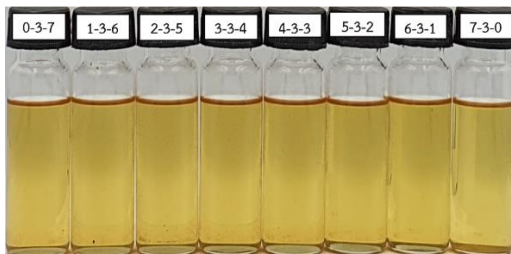
(a) 0 wt.%



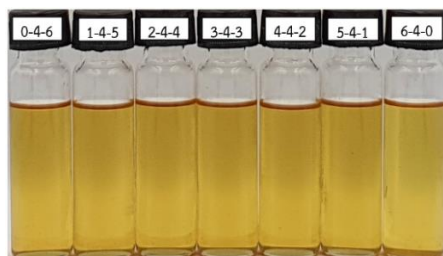
(b) 10 wt.%



(c) 20 wt.%



(d) 30 wt.%



(e) 40 wt.%



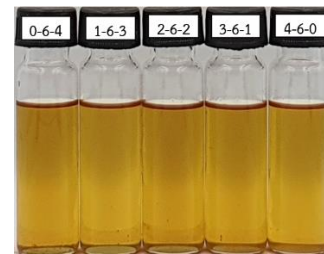
(j) 90 wt.%



(i) 80 wt.%



(h) 70 wt.%



(g) 60 wt.%



(f) 50 wt.%

รูปที่ ง.16 พฤติกรรมเฟสของ

ดีเซล-PBPFAD (1:2) จากกระบวนการอุ่นไต้แอลกอฮอล์และน้ำ-บิวทานอล

ภาคผนวก จ
(การคำนวณต้นทุนเชื้อเพลิงผสม)

การคำนวณต้นทุนการผลิต

ราคาเฉลี่ยย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) ของดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้ำ (B7) อ้างอิงจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน
ราคาเฉลี่ยย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) เอทานอลชนิดไม่มีน้ำ เกรดการค้ำ (ความบริสุทธิ์ 99.9%) อ้างอิงจากสมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย
ราคาเฉลี่ยย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) ของน้ำมันปาล์มดิบสำหรับนำมาคำนวณราคาส่วนกลั่นกรดไขมัน อ้างอิงจากธนาคารแห่งประเทศไทย
ราคาของบิวทานอลชนิดไม่มีน้ำ เกรดการค้ำ (ความบริสุทธิ์ 99.9%) อ้างอิงจากห้างหุ้นส่วนจำกัด แอล บี ซายน์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ซึ่งเป็นราคาซื้อจริง
สำหรับใช้ในงานวิจัยนี้

อัตราค่าไฟฟ้า อ้างอิงจากหนังสือ ประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เรื่อง การทบทวนอัตราค่าไฟฟ้าตามหลักเกณฑ์การกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าปี 2558

หมายเหตุ ต้นทุนการล้างส่วนกลั่นกรดไขมัน เท่ากับ 0.82 บาท/กิโลกรัม ไม่ถูกนำมาคำนวณราคาของเชื้อเพลิงในที่นี้ คำนวณจากการล้างส่วนกลั่น
กรดไขมัน 0.5 กิโลกรัม/ครั้ง มีต้นทุนคือ 1) ค่าน้ำสำหรับล้าง =0.01 บาท 2) ค่าไฟอุ่นน้ำ 25°C ถึง 100°C =0.12 บาท 3) ค่าไฟอุ่นส่วนกลั่นกรดไขมัน
25°C ถึง 50°C =0.02 บาท 4) ค่าไฟอุ่นไอน้ำที่ 120°C =0.06 บาท และ 5) ค่าไฟมอเตอร์กวน (70 W) สำหรับล้างและอุ่นไอน้ำ (60 นาที) =0.20 บาท

ตารางที่ จ.1 ราคาเฉลี่ย ดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้า (B7) ส่วนกลั่นกรดไขมันและแอลกอฮอล์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 ถึง 2564

วัตถุดิบ	ราคาเฉลี่ย (หน่วย)	
	บาท/กิโลกรัม	บาท/ลิตร
ดีเซลขายปลีกเฉลี่ย	32.73	26.85
ส่วนกลั่นกรดไขมัน	18.85	21.16
เอทานอลชนิดไม่มีน้ำ เกรดการค้า (ความบริสุทธิ์ 99.9%)	30.99	24.14
บิวทานอลชนิดไม่มีน้ำ เกรดการค้า (ความบริสุทธิ์ 99.4%)	50.00	40.49

สำหรับต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟน์บางส่วน-เอทานอล/บิวทานอล จะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. ต้นทุนการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟน์บางส่วน (PEPFAD/PBPFAD)

ตารางที่ จ.2 การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบในกระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟน์บางส่วน (PEPFAD/PBPFAD)

ผลิตภัณฑ์	สัดส่วนโดยโมล	ปริมาณวัตถุดิบ (kg)	กระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ		กระบวนการล้าง	
			ปริมาณที่เหลือ (kg)	ราคาต้นทุน (THB/kg)	ปริมาณที่เหลือ (kg)	ราคาต้นทุน (THB/kg)
PEPFAD	1:0.6	1.27	1.16	21.84	1.10	22.42
	1:1	1.29	1.13	23.43	1.05	25.95
	1:2	1.20	0.95	27.52	0.85	29.05
PBPFAD	1:0.6	1.26	1.13	25.79	1.02	28.57
	1:1	1.25	1.02	42.74	0.93	46.87
	1:2	1.17	0.90	65.00	0.81	72.22

หมายเหตุ : ปริมาณทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ จ.3 การคำนวณต้นทุนค่าไฟฟ้าในกระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน (PEPFAD/PBPFAD)

ผลิตภัณฑ์	สัดส่วนโดยโมล PFAD : Alcohol	ความร้อนจำเพาะ Cp (j/kg.k)	(1) การทำปฏิกิริยา		(2) การอุ่นไต่แอลกอฮอล์และน้ำ		รวมค่าไฟฟ้า (1)+(2) (THB/kg)	(3) การล้าง		รวมค่าไฟฟ้า (1)+(3) (THB/kg)
			ฮีตเตอร์ ¹	ปั๊มหล่อเย็น ²	ฮีตเตอร์ ²	มอเตอร์กวน ²		ฮีตเตอร์ ²	มอเตอร์กวน ²	
			3000 W (min)	90 W (min)	600 W (min)	70 W (min)	600 W (min)	70 W (min)		
PEPFAD	1:0.6	3,733.60	6.32	54	67	67	2.32	82	82	3.48
	1:1	3,745.73	6.44	49	62	62	2.26	77	77	3.01
	1:2	3,771.99	6.04	53	60	60	2.60	75	75	2.58
PBPFAD	1:0.6	3,705.50	6.22	54	63	63	2.26	78	78	3.01
	1:1	3,702.76	6.17	49	56	56	2.35	71	71	2.59
	1:2	3,697.25	5.77	53	51	51	2.45	66	66	2.10

หมายเหตุ : ¹คำนวณจากค่าความร้อนจำเพาะของวัตถุดิบ, ²ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง , ช่วงความต่างของอุณหภูมิเริ่มต้นและทำปฏิกิริยาเฉลี่ย คือ 240°C, ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย คือ 2.3488 บาท

ตารางที่ จ.4 ผลรวมการคำนวณต้นทุนรวมในกระบวนการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน (PEPFAD/PBPFAD)

ผลิตภัณฑ์	สัดส่วนโดยโมล PFAD : Alcohol	ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการอุ่นไต่แอลกอฮอล์และน้ำ				ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการล้าง			
		ค่าวัตถุดิบ	ค่าไฟฟ้า	รวมราคา		ค่าวัตถุดิบ	ค่าไฟฟ้า	รวมราคา	
		(THB/kg)	(THB/kg)	THB/kg	THB/L	(THB/kg)	(THB/kg)	THB/kg	THB/L
PEPFAD	0.6:1	21.84	2.32	24.16	23.30	22.42	3.48	25.91	25.87
	1:1*	23.43	2.26	25.69	24.51	25.95	3.01	28.96	28.04
	2:1	27.52	2.60	30.12	28.47	29.05	2.58	31.63	29.76
PBPFAD	0.6:1	25.79	2.26	28.05	26.53	28.57	3.01	31.58	30.27
	1:1*	42.74	2.35	45.09	41.32	46.87	2.59	49.47	45.35
	2:1	65.00	2.45	67.45	60.53	72.22	2.10	74.33	66.19

หมายเหตุ : * ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไขมันบางส่วน สำหรับใช้เป็นส่วนผสมเซล/ดีโซลล์ ในการทดสอบใช้งานเบื้องต้นเปรียบเทียบกับดีเซลบนแท่นทดสอบ

2. ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน-เอทานอล/บิวทานอล

ตารางที่ จ.5 ต้นทุนเชื้อเพลิงทดสอบที่ผสมส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเอสเทอร์ไฟน์บางส่วน (PEPFAD)

วัตถุดิบ	ราคา THB/kg	ปริมาณการใช้ (wt.%)			ราคาต้นทุนวัตถุดิบ (THB/kg)		
		PEPFAD30	PEPFAD50AhE10	PEPFAD50AhnB20	PEPFAD30	PEPFAD50AhE10	PEPFAD50AhnB20
CHSD	32.73	0.7	0.4	0.3	22.91	13.09	9.82
PEPFAD	25.69	0.3	0.5	0.5	7.71	12.84	12.84
AhE	30.99	-	0.1	-	-	3.10	-
AhnB	50	-	-	0.2	-	-	10.00
ราคารวม				THB/kg	30.62	29.04	32.66
				THB/l	25.66	24.53	27.67

ตารางที่ จ.6 ต้นทุนเชื้อเพลิงทดสอบที่ผสมส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเอสเทอร์ไฟต์บางส่วน (PBPFAD)

วัตถุดิบ	ราคา THB/kg	ปริมาณการใช้ (wt.%)			ราคาต้นทุนวัตถุดิบ (THB/kg)		
		PEPFAD30	PEPFAD50AhE10	PEPFAD50AhnB20	PEPFAD30	PEPFAD50AhE10	PEPFAD50AhnB20
CHSD	32.73	0.7	0.4	0.3	22.91	13.09	9.82
PEPFAD	45.09	0.3	0.5	0.5	13.53	22.54	22.54
AhE	30.99	-	0.1	0	-	3.10	-
AhnB	50	-	-	0.2	-	-	10.00
รวมราคา				THB/kg	36.44	38.74	42.36
				THB/l	30.46	32.61	35.75

ภาคผนวก ฉ

(คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องมือวัด)

1. เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิทำปฏิกิริยา ชนิด k type

วัสดุ	โครเมลและอะลูเมล
ย่านอุณหภูมิใช้งาน	-270°C ถึง 1372°C -450°F ถึง 2500°F
แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้	-6.458 mV ถึง 54.875 mV
ความไวประมาณ	41 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
ความเที่ยงตรง	$\pm 1.5^{\circ}\text{C}$

2. เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล ยี่ห้อ DIGICON รุ่น MD-400A

รูปแบบการควบคุม	PID control เป็นระบบการปรับค่าแบบอัตโนมัติ (Auto-tuning)
การทำงานของเข้าที่ทุกควบคุม	แบบ Direct/Reverse เลือกได้โดยปรับตั้งพารามิเตอร์
ความเร็วในการสุมวัด	0.1 วินาที
ความเที่ยงตรง	$\pm 0.3\%$ FS, $\pm 1\text{dgt}$ (ความผิดพลาดของ RJC $\pm 0.8\%$) $^{\circ}\text{C}$

3. เซนเซอร์วัดความดัน ยี่ห้อ SIEMENS รุ่น SITRANS P220

วัสดุ	สแตนเลส SUS316L
ชนิดตัวกลาง	น้ำ, น้ำมัน, อากาศ, ลม และแก๊ส
ย่านการวัด	0-100 mbar สูงสุด 0-600 bar
มาตรฐานป้องกันฝุ่นและน้ำ	IP65
มาตรฐานป้องกันการระเบิด	Ex ia IIC T4, ATEX

ภาคผนวก ช

(วิธีการ thin layer chromatography/ flame ionization detector (TLC/FID))

การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วยวิธีการ thin layer chromatography/ flame ionization detector (TLC/FID) โดยใช้เครื่อง Itronscan MK6 และ chromarod type S-III quartz rod (นฤมล อินทร์ตัน, 2559) มีขั้นตอนวิเคราะห์ดังนี้

1. อุณหภูมิของน้ำมันเพื่อเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวและลดความหนืด
2. เตรียมสารละลาย TLC 1 ประกอบด้วย เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ และกรดฟอร์มิก ตามสัดส่วนโดยปริมาตร คือ 50:20:3 และเตรียมสารละลาย TLC 2 ประกอบด้วย เฮกเซน และ เบนซีน ตามอัตราส่วนโดยปริมาตร คือ 1:1
3. เตรียมตัวอย่างในการทดสอบ โดยเตรียมเฮกเซน 0.75 ml ใส่ในหลอด lite touch จากนั้นหยดตัวอย่างน้ำมัน 1 ตามลงไปแล้วเขย่าให้เข้ากัน
4. หยดตัวอย่างในการทดสอบลงบน Chromarod และนำไปแช่ในสารละลาย TLC 1 รอจนสารเคลื่อนที่ได้ 8 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำไปแช่ต่อในสารละลาย TLC 2 รอจนสารเคลื่อนที่ได้ 10 cm
5. นำแผง Chromarod ที่ผ่านการแช่ทั้ง 2 สารละลาย ไปอบด้วยเครื่อง rod dryer TK-8 ที่อุณหภูมิ 110°C ประมาณ 10 นาที
6. นำแผง Chromarod ไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบด้วยเครื่อง Itronscan MK6 ซึ่งวิธีการนี้สารแต่ละชนิดจะถูกแยกด้วยอัตราการเคลื่อนที่ที่ไม่เท่ากันของสาร และการหาตำแหน่งของไขมันที่แยกออกจากกันด้วยวิธี flame ionization detector โดยใช้ไฮโดรเจนที่อัตราการไหล 165 ml/min และอากาศที่อัตราการไหล 2.5 l/min

ภาคผนวก ซ
(การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ)

เอกสารเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่ 1

บทความวิจัย

ศุภรุฒิ เปี่ยมเจริญสุข, ศุภกิจ เอียดตรง, ปริญญา หม่อมพิบูลย์, ฐานันดรศักดิ์ เทพยา และ ธีระยุทธ หลีวิจิตร. 2566. การใช้ส่วนกลั่นกรดไขมันที่ผ่านการเอทานอลไซสบางส่วนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นส่วนผสมดีเซล/ดีโซฮอล์.วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. ปีที่ 15 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน-ธันวาคม พ.ศ.2566.

RMUTSVJ ออก ณ วันที่ 28 /ส.ค./2565



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความวิจัย บทความวิชาการ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ขอรับรองว่าบทความวิจัย

เรื่อง

การใช้ส่วนกลั่นกรดไขมันที่ผ่านการเอทานอลิซิสบางส่วน
โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นส่วนผสมดีเซล/ดีโซฮอล์
Use of Partially Non-Catalyzed Ethanolyzed Palm Fatty Acid Distillate as
Diesel/Diesohol Extenders

โดย

ศุภวุฒิ เปี่ยมเจริญสุข ศุภกิจ เอียดตรง ปริญา หม่อมพิบูลย์ ฐานันดรศักดิ์ เทพญา
และ วีระยุทธ หลีวีจิตร

ได้ผ่านการพิจารณาจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ให้ตีพิมพ์ในวารสารวิจัย มทร.ศรีวิชัย ปีที่...15...ฉบับที่...3...ประจำเดือน กันยายน... ธันวาคม พ.ศ. 2566

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประภาศรี ศรีชัย)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

การใช้ส่วนกลั่นกรดไขมันที่ผ่านการเอทานอลบางส่วนโดย ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นส่วนผสมดีเซล/ดีโซฮอล

Use of Partially Non-Catalyzed Ethanolyzed Palm Fatty Acid Distillate as Diesel/Diesohol Extenders

ศุภวุฒิ เปี่ยมเจริญสุข¹ สุภกิจ เอียดตรง² ปริญา หม่อมพิบูลย์^{1,3} ฐานันดรศักดิ์ เทพญา¹
และ ชีระยุทธ หลีวีจิตร^{1*}

Suppawoot Piamcharoensuk¹ Suppakit Eiadtrong² Parinya Mompiboon^{1,3} Thanansak Theppaya¹
and Theerayut Leevijit^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมส่วนกลั่นกรดไขมันเอทานอลบางส่วน (PEPFAD) โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้เป็นส่วนผสมดีเซล/ดีโซฮอล โดย PEPFAD ถูกเตรียมโดยการทำปฏิกิริยาส่วนกลั่นกรดไขมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง (≥ 90 wt.%) กับเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ (AhE) ในถังปฏิกรณ์แบบกะ ที่สัดส่วนโดยโมล 1:1 อุณหภูมิ 289°C และความดัน 72 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที ผลผลิตสุดท้ายของ PEPFAD ที่ได้มีองค์ประกอบหลักเป็นเอทิลเอสเตอร์ 71.6 wt.% และกรดไขมันอิสระ 26.8 wt.% และองค์ประกอบอื่นๆ อีก 1.6 wt.% ผลการศึกษาเสถียรภาพเฟสระยะยาวของเชื้อเพลิงผสมโดยเก็บเชื้อเพลิงไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน พบว่า ผลผลิตที่ได้สามารถผสมกับดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้า (CHSD) เป็นเชื้อเพลิงเหลวผสม 2 ส่วน CHSD-PEPFAD ได้สูงสุด 40 wt.% และสามารถผสมเป็นเชื้อเพลิงเหลวผสม 3 ส่วน CHSD-PEPFAD-AhE หรือดีโซฮอล ได้สูงสุด 80 wt.% อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเพิ่มเติมจากผลการทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิค่าที่สำคัญ พบว่ามีเชื้อเพลิงผสมที่น่าสนใจสำหรับการใช้เป็นตัวเติมแทนดีเซล 2 สูตร คือ PEPFAD30 และ PEPFAD50AhE10 (ตัวเลขที่ตามหลัง PEPFAD และ AhE คือสัดส่วนการผสมกับดีเซลในหน่วย wt.%) สำหรับการทดสอบใช้งานเบื้องต้นในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ซีห์ฮือโบต้า รุ่น RT100DI PLUS เปรียบเทียบกับดีเซลเบนแทนทดสอบ โดยเปลี่ยนแปลงภาระในช่วง 1.28-6.40 kW ที่ความเร็วรอบสูงคงที่ 2,200 rpm พบว่า เชื้อเพลิงผสมที่น่าสนใจทั้ง 2 สูตรนี้สามารถใช้งานในเครื่องยนต์ได้ดีเช่นเดียวกับดีเซล โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคใกล้เคียงหรือสูงกว่าดีเซลเล็กน้อย

คำสำคัญ: ส่วนกลั่นกรดไขมัน; กรดไขมันโมเลกุลยาว; เอทานอล; เชื้อเพลิงทดแทนดีเซล; ดีโซฮอล

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอากาศยาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

² Department of Mechanical and Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90110, Thailand

³ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและหุ่นยนต์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80161

² Department of Mechanical and Robotic Engineering, School of Engineering and Technology, Walailuk University, Tha Sala, Nakhon Si Thammarat, 80161, Thailand

³ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช อ.เมืองนครศรีธรรมราช จ.นครศรีธรรมราช 80280

³ Division of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Mueang Nakhon Si Thammarat, Nakhon Si Thammarat, 80280, Thailand

* ผู้พิมพ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): leetheerayut@yahoo.com

ABSTRACT

This work studied the preparation of partially esterified palm fatty acid distillate (PEPFAD) by non-catalyzed to use as diesel/diesohol extenders. In this work, PEPFAD was prepared by reacting of palm fatty acid distillate containing high free fatty acids (≥ 90 wt.%) with anhydrous ethanol (AhE) in a batch reactor at molar ratio of 1:1, temperature of 289°C , and pressure of 72 bar for 60 min. The obtained final product of PEPFAD mainly contained ethyl esters of 71.6 wt.% and free fatty acids of 26.8 wt.% with other remaining constituents of 1.6 wt.%. The important studied results of long-term phase behavior of blended fuels kept at room temperature for 90 days found that the product was able to be blended with commercial high speed diesel (CHSD) as binary liquid CHSD-PEPFAD blends up to the maximum portion of 40 wt.% and as diesohol of ternary liquid CHSD-PEPFAD-AhE blends up to the maximum portion of 80 wt.%. However, as further considering based on the tested results of important fluidity and cold flow properties, it was found that two formulae of the blends were interested for using as the alternative diesel including PEPFAD30 and PEPFAD50AhE10, the number following PEPFAD and AhE is the blending portion of wt.% with diesel. For preliminary utilization test compared with diesel on a test bench, a single-cylinder diesel engine model KUBOTA RT100 DI PLUS was used for testing under varying loads in the range of 1.28 to 6.40 kW at the constant high engine speed of 2200 rpm. It was found that both blends of interest were able to well operate the test engine as same as diesel with similar or slightly higher brake specific fuel consumption and brake thermal efficiency.

Keywords: Palm Fatty Acid Distillate; Palm Tall Oil Monoacids; Ethanolysis; Diesel Substitute; Diesohol

บทนำ

จากสถานการณ์การใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามรายงานของ International Energy Agency (IEA) ที่คาดการณ์ว่า โลกจะมีความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นสูงถึง 50% ภายในปี ค.ศ. 2030 ซึ่งพลังงานเกือบทั้งหมดเป็นพลังงานฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติ เสมือนเป็นพลังงานสิ้นเปลืองที่มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องสวนทางกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ราคาปรับตัวเพิ่มขึ้น โดยดีเซลเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมันดิบที่มีความสำคัญ เนื่องจากมีการใช้งานกับรถบรรทุกขนาดใหญ่ รถไฟ เรือ และอุปกรณ์เครื่องยนต์อื่นที่ต้องการกำลังสูง สำหรับประเทศไทยพบว่ามีการใช้เชื้อเพลิงดีเซลสูงถึง 47% จากการใช้น้ำมันทั้งหมดในปี พ.ศ.2564 (Department of Energy Business Ministry of Energy, 2021) จึงมีการศึกษาวิจัยจากทั่วโลกเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ทดแทน เช่น การผลิตไบโอดีเซล การใช้น้ำมันพืชโดยผ่านกระบวนการดัดแปลงโมเลกุลเล็กน้อย และ

นำมาผสมกับดีเซลเป็นเชื้อเพลิงผสมสองส่วน (Binary blends) หรือการผสมสามส่วน (Ternary blends) ระหว่าง ดีเซล-น้ำมันพืช/ไบโอดีเซล-แอลกอฮอล์ เรียกว่า “ดีโซฮอล์” (Yilmaz and Vigil, 2014; Leevijit *et al.*, 2017) ซึ่งสามารถใช้งานได้จริงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ นอกจากนี้ ยังพบว่าการใช้ดีโซฮอล์สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมลพิษอื่นๆ ผู้ขึ้นบรรยากาศได้อย่างมีนัยสำคัญ (He *et al.*, 2003; Atabani *et al.*, 2012) อย่างไรก็ตาม การผลิตดีโซฮอล์ที่ผสมสองส่วนระหว่างดีเซลกับแอลกอฮอล์ยังมีข้อด้อยที่สำคัญ คือ 1) คุณสมบัติความเป็นขี้ของแอลกอฮอล์และความไม่เป็นขี้ของดีเซล เมื่อผสมกันจะทำให้เกิดการแยกชั้น 2) ค่าซีเทนต่ำกว่าดีเซลมาก 3) ความหนืดน้อยกว่าดีเซล 4) คุณสมบัติด้านอื่นๆ ต่ำกว่าดีเซล เช่น ความหนาแน่น ค่าความร้อน จุดวาบไฟ เป็นต้น จากข้อด้อยข้างต้นที่เป็นข้อจำกัดจึงมีการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์เพื่อปรับปรุงการใช้งานให้เทียบเท่าดีเซล (Lapuerta *et al.*, 2010; Eiadtrong *et al.*, 2019) โดยสหรัฐอเมริกามีการวิจัยพัฒนาสารอิมัลซิไฟเออร์ควบคู่กับการกำหนดแผนนโยบายที่จะนำไปใช้ในเชิงการค้า เช่น บริษัท Pure energy corporation (PEC) ใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ 2-5 vol.% กับเอทานอล 10-15 vol.% และบริษัท AAE Technologies ใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ 1 vol.% และ 1.25 vol.% กับเอทานอล 7.7 vol.% และ 10 vol.% (Eiadtrong *et al.*, 2019) ในขณะที่ประเทศไทยเคยมีการศึกษาการใช้ดีโซฮอล์เป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล ที่เป็นความร่วมมือระหว่างบริษัท ปตท. บริษัททรอยด์ฟอร์ต และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTECT) โดยผสมสารอิมัลซิไฟเออร์ที่นำเข้า 1 vol.% และเอทานอล 10 vol.% (Scithammarong, 2003) อย่างไรก็ตาม การนำสารอิมัลซิไฟเออร์จากต่างประเทศมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้น การผลิตสารอิมัลซิไฟเออร์จากวัตถุดิบการเกษตรภายในประเทศจึงเป็นทางเลือกที่สำคัญสำหรับการพัฒนาและวิจัยเชื้อเพลิงดีโซฮอล์

ประเทศไทยมีการวิจัยและพัฒนาสารอิมัลซิไฟเออร์สำหรับผลิตดีโซฮอล์จากวัตถุดิบทางการเกษตร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานควบคู่กับการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งหากสามารถใช้งานได้จริงในเชิงพาณิชย์จะส่งผลให้ราคาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรปรับตัวเพิ่มขึ้นตามกลไกตลาดอย่างยั่งยืนในอนาคต โดยในปี พ.ศ. 2559 มีการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้กรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวที่ได้จากส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์ม (PFAD) ที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ราคาถูกจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มบริ โภคมาใช้เป็นส่วนผสมทดแทนดีเซลได้สูงสุด 10 wt.% และเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์สำหรับผลิตดีโซฮอล์จากเอทานอลไม่มีน้ำมีน้ำ และบิวทานอลชนิดไม่มีน้ำได้สูงสุด 40-50 wt.% สามารถลดลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวระเหยง่ายและมีคุณสมบัติเชื้อเพลิงเทียบเท่าดีเซล (Eiadtrong, 2016; Eiadtrong *et al.*, 2019)

ดังนั้นเพื่อเพิ่มศักยภาพกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวจากส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์ม งานวิจัยนี้จึงใช้กระบวนการเอทานอลิซิสบางส่วนที่สภาวะการทำปฏิกิริยาอุณหภูมิสูงและความดันสูงโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น ส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเอสเทอร์ไฟด์บางส่วน (Partially Esterified Palm Fatty Acid Distillate: **PEPFAD**) ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นเอทิลเอสเทอร์และกรดไขมันอิสระ เพื่อใช้เป็นส่วนผสมทดแทนดีเซลและสารอิมัลซิไฟเออร์สำหรับผลิตดีโซฮอล์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ส่วนกลั่นกรดไขมัน (PFAD) ซึ่งจากบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันพืชจำกัด ตำบลห้างสูง อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี มีองค์ประกอบเป็น กรดไขมันอิสระ ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ 93.8, 1.9, 2.2 และ 2.1 wt.% ตามลำดับ ดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้า (CHSD) (ผสมเมทิลเอสเทอร์ 6-7 vol.%) ซึ่งจากปืมน้ำมันบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ตำบลคองหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และเอทานอลชนิดไม่มีน้ำเกรดการค้าความบริสุทธิ์ 99.9% (AaE) ซึ่งจากบริษัทแกรททิฟูดอินฟิเนท จำกัด (มหาชน)

ในงานวิจัยนี้มีวิธีการดำเนินงาน 4 ขั้นตอนหลัก คือ 1) การเตรียมส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟต์บางส่วนด้วยกระบวนการเอทานอลิซิสโดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา 2) การศึกษาพฤติกรรมเฟสที่อุณหภูมิห้องระยะยาวของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AaE 3) การศึกษาคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่สำคัญของเชื้อเพลิงผสม และ 4) การทดสอบใช้งานเชื้อเพลิงผสมที่นำสนใจในเครื่องยนต์เบื้องต้นเปรียบเทียบกับดีเซลบนแท่นทดสอบ ดังสรุปขั้นตอนการศึกษา ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปขั้นตอนการศึกษาของงานวิจัย

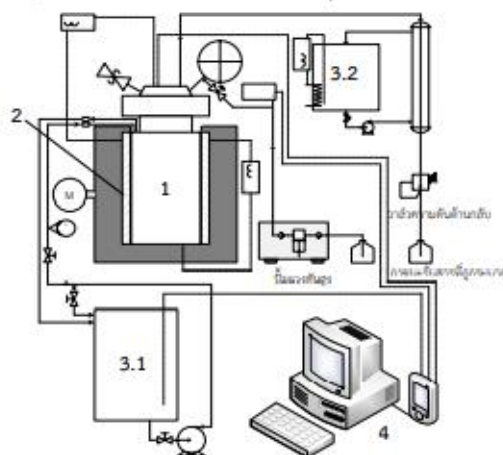
ขั้นตอนการศึกษา	การศึกษาของแต่ละขั้นตอน			
1. การเตรียม PEPFAD ด้วยกระบวนการเอทานอลิซิสโดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา	1.1 ตั้ง PFAD	1.2 เตรียมผสม วัตถุดิบ PFAD และ AaE ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1	1.3 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 275°C ความดัน 70 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที	1.4 อุ่นไล่แอลกอฮอล์ อุณหภูมิ ≈ 120°C เป็นเวลา 30 นาที
2. พฤติกรรมเฟสระยะยาวของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AaE	2.1 เตรียมเชื้อเพลิงผสมน้ำหนักรวม 10.0 กรัม ที่สัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบในช่วง 0-100 wt.% (ที่ทุกๆ ช่วง การผสม 10 wt.%)		2.2 วางนึ่งที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิราววันอยู่ในช่วง 22-34°C) เป็นเวลา 90 วัน เพื่อสังเกตพฤติกรรมเฟสระยะยาว	
3. คุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่สำคัญของเชื้อเพลิงผสม	3.1 คุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่สำคัญ ได้แก่ 1) จุดจุด 2) จุดไหลต และ 3) ความหนืดจลนศาสตร์		3.2 เลือกเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลตามมาตรฐาน HSD และ AED	3.3 ศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญเพิ่มเติม ได้แก่ 1) ความหนาแน่น 2) ค่าความร้อน และ 3) ค่าซีเทน
4. การทดสอบใช้งานเชื้อเพลิงผสมที่นำสนใจในเครื่องยนต์เบื้องต้นเปรียบเทียบกับดีเซลบนแท่นทดสอบ	4.1 ทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ซีหรือไบค่า รุ่น RT100 DI PLUS ขนาด 10 แรงม้า		4.2 เรือ่นไป การทดสอบ 1) เปลี่ยนแปลงภาระในช่วง 1.28-6.40 kW และ 2) ความเร็วรอบสูงถึง 2,200 rpm	4.3 ผลการทดสอบ 1) อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค 2) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค และ 3) อุณหภูมิไอเสีย

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟต์บางส่วนด้วยกระบวนการเอทานอลิซิสโดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เริ่มด้วยการล้างทำความสะอาดส่วนกลั่นกรดไขมันอย่างง่ายและการอุ่นไล่ไอน้ำ (Eiadtrong *et al.*, 2021) จากนั้นเตรียมส่วนผสมสำหรับทำปฏิกิริยาโดยซึ่งส่วนกลั่นกรดไขมัน 1724.5 กรัม และเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ 275.5 กรัม (น้ำหนักรวม 2,000 กรัม ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1) นำไปกวนอุ่นผสมอย่างง่ายในบีกเกอร์ขนาด 3 ลิตร บนแท่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $\approx 50 \pm 5^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 15 นาที (ใช้ใบกวนชนิด 6-blade disk turbine เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบการกวน $\approx 250\text{-}300$ rpm)

จากนั้นนำส่วนผสม (2,000 กรัม) ไปบรรจุและทำปฏิกิริยาในชุดทดลองเครื่องปฏิกรณ์แบบกะขนาด 2 ลิตร ดังไดอะแกรมภาพที่ 1 ตามขั้นตอนการทดลองโดยย่อต่อไปนี้ เมื่อบรรจุส่วนผสมและปิดฝาถังปฏิกรณ์เรียบร้อยแล้ว เปิดฮีตเตอร์ให้ความร้อนแก่ถังปฏิกรณ์ (วัดอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ด้วยเทอร์โมคัปเปิล type k และควบคุมอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วยเครื่องควบคุมแบบดิจิทัล ซีชื่อ DIGICON รุ่น MD-400A) โดยระหว่างการให้ความร้อนมีการ

ใช้ปั๊มแรงดันสูง HPLC pump รุ่น Series-1 และวาล์วควบคุมความดันดันกลับ ยี่ห้อ GO Regulator รุ่น BP-60 Series ช่วยควบคุมรักษาความดันในถังปฏิกรณ์ไว้ที่ ≈ 70 บาร์ เริ่มจับเวลาการทำปฏิกิริยาเมื่ออุณหภูมิในถังปฏิกรณ์เพิ่มถึง อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาที่ต้องการ ($\approx 275^\circ\text{C}$) ไปจนครบระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่กำหนด (60 นาที) จากนั้นจึงปิด ระบบให้ความร้อนและเปิดระบบหล่อเย็น เมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ลดลงเหลือ $\approx 65^\circ\text{C}$ ทำการปิดระบบ หล่อเย็น เปิดฝาถังปฏิกรณ์นำผลิตภัณฑ์ออกจากถังปฏิกรณ์ ใส่บีกเกอร์แล้วนำไปอุ่นในอ่างเกลือและนำบนแท่น ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $\approx 120^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรด ไปสามเอสเทอร์ ไขมันบางส่วนที่ ต้องการ (PEPFAD)

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาพฤติกรรมเฟสที่อุณหภูมิห้องระยะยาวของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AhE เมื่อเตรียม ตัวอย่างในขวดแก้วขนาดเล็กที่มีฝาปิด โดยการเขย่าให้ส่วนผสมเข้ากันดีด้วยมืออย่างง่าย (Eiadtrong *et al.*, 2016) ใน การศึกษานี้เชื้อเพลิงผสมที่สัดส่วนการผสมต่างๆ ของแต่ละองค์ประกอบในช่วง 0-100 wt.% (ที่ทุกๆ ช่วง การผสม 10 wt.%) ถูกเตรียมโดยใช้เครื่องชั่งดิจิทัลยี่ห้อ METTLER รุ่น AL204 (ความละเอียด 0.0001 กรัม) แต่ละตัวอย่างถูก เตรียมให้มีน้ำหนักรวม 10.0 กรัม และควบคุมความคลาดเคลื่อนของแต่ละองค์ประกอบไว้ในช่วง ± 0.05 wt.% สำหรับการเตรียมเชื้อเพลิงผสม 2 ส่วน (CHSD-PEPFAD, CHSD-AhE, PEPFAD-AhE) ขวดแก้วถูกบรรจุและชั่งน้ำหนักของ แต่ละองค์ประกอบตามสัดส่วน ปิดฝา แล้วนำไปอุ่นบนแท่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $50 \pm 5^\circ\text{C}$ จากนั้นจึงเขย่าผสมด้วย มือเป็นเวลา 1 นาที (ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันดีเป็นของเหลวเฟสเดียว) สำหรับการเตรียมเชื้อเพลิงผสม 3 ส่วน (CHSD-PEPFAD-AhE) ขั้นแรกขวดแก้วถูกบรรจุด้วย PEPFAD และ AhE ตามสัดส่วน ปิดฝาและนำไปอุ่นที่อุณหภูมิ $50 \pm 5^\circ\text{C}$ แล้วเขย่าผสมด้วยมือเป็นเวลา 1 นาที (ส่วนผสมเข้ากันดีเป็นของเหลวเฟสเดียว) จากนั้นจึงบรรจุ CHSD เพิ่ม ตามสัดส่วนปิดฝา และนำไปอุ่นที่อุณหภูมิ $50 \pm 5^\circ\text{C}$ แล้วเขย่าด้วยมือเป็นเวลา 1 นาที (ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันดีเป็น ของเหลวเฟสเดียว) จากนั้นจึงนำขวดตัวอย่างเชื้อเพลิงผสมทั้งหมดไปวางนึ่งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (บันทึกการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิรายวันอยู่ในช่วง $22-34^\circ\text{C}$) เป็น ระยะเวลา 90 วัน เพื่อสังเกตพฤติกรรมเฟสระยะยาวของเชื้อเพลิงผสมต่อไป



ภาพที่ 1 ไคอะแกรมเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ประกอบด้วย 1) ถังปฏิกรณ์ขนาด 2 ลิตร 2) ฮีตเตอร์หล่อทรงระบอก 3 kW 3) ระบบหล่อเย็น (3.1) ระบบหล่อเย็นถังปฏิกรณ์ (3.2) ระบบหล่อเย็นผลิตภัณฑ์ และ 4) หน่วยบันทึกข้อมูล

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่สำคัญของเชื้อเพลิงผสมที่สนใจ จากผลการศึกษาพฤติกรรมเฟสของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AhE จะทราบขอบเขตโดยรวมของสัดส่วนการผสมอย่างไรก็ตาม สำหรับเชื้อเพลิงผสมที่มีความน่าสนใจในการเริ่มนำไปประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล (เมื่อทานอลชนิดไม่มีน้ำผสมอยู่ ≤ 10 wt.%) จะทำการศึกษาคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่สำคัญของเชื้อเพลิงผสม ได้แก่ จุดขุ่น จุดไหลเท และความหนืดจลศาสตร์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการเลือกเชื้อเพลิงผสมที่มีความน่าสนใจในการประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลตามมาตรฐานดีเซลหมุนเร็ว (High Speed Diesel: HSD) และดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (Agricultural Engine Diesel: AED) ของประเทศไทยต่อไป ซึ่งทดสอบคุณสมบัติตามวิธีทดสอบมาตรฐานของสมาคมการทดสอบและวัสดุอเมริกัน (American Society for Testing and Materials: ASTM) โดยเชื้อเพลิงผสมที่ถูกเลือกจะมีการทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญเพิ่มเติม ได้แก่ ความหนาแน่น ค่าความร้อน และค่าซีเทน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ สำหรับจุดขุ่น จุดไหลเท ความหนืดจลศาสตร์ และความหนาแน่น ได้ส่งทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2500 ASTM D97 ASTM D445 และ ASTM D1298 ตามลำดับ ที่สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ค่าความร้อน ได้ส่งทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D240 ที่สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ ค่าซีเทน ได้ส่งทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM D613 ที่บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบใช้งานเชื้อเพลิงผสมที่น่าสนใจในเครื่องยนต์เบื้องต้นเปรียบเทียบกับดีเซลบนแท่นทดสอบ ได้ทำการทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว ชนิดฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น RT100 DI PLUS (รายละเอียดของเครื่องยนต์ทดสอบแสดงใน ตารางที่ 2) บนแท่นทดสอบไดนาโมมิเตอร์ ยี่ห้อ PLINT & PARTNER ขนาด 12 แรงม้า ตั้งโคอะแกรมชุดการทดลองในภาพที่ 2 โดยวิธีเปลี่ยนแปลงภาระในช่วง 1.28-6.40 kW $\pm 0.5\%$ ที่ความเร็วรอบสูงคงที่ 2,200 ± 10 rpm วัดแรงกระทำต่อแขนชุดไดนาโมมิเตอร์ (ความยาว 1.05 m) โดยใช้เครื่องชั่งแบบสปริงยี่ห้อ SALTER (ความละเอียด 0.05 lb) เพื่อนำไปคำนวณหาเบรกกทอร์ก (Brake Torque: BT) และกำลังเบรค (Brake Power: BP) ของเครื่องยนต์ วัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิงโดยใช้กระบอกตวง (ความละเอียด 0.5 ml) และนาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ ALBA (ความละเอียด 0.01 s) วัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์โดยใช้ดิจิทัลเอ็นโคเดอร์รุ่น PR-01 N-S (ความละเอียด 0.1 rpm) วัดอุณหภูมิของเชื้อเพลิงและแก๊สไอเสีย โดยใช้ค่าตัวลือกเกอร์รุ่น AI210 และสายเทอร์โมคัปเปิลแบบ K (ความละเอียด 0.01°C) โดยทำการทดสอบเครื่องยนต์จำนวน 3 ซ้ำ (ในที่นี้รายงานเป็นค่าเฉลี่ย)

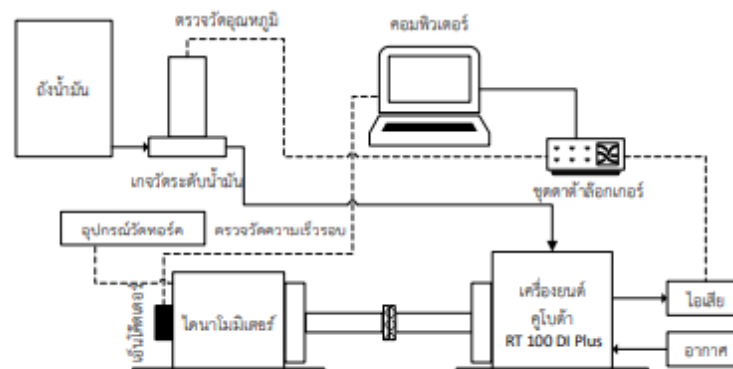
ตารางที่ 2 รายละเอียดเครื่องยนต์ทดสอบยี่ห้อคูโบต้า รุ่น RT100 DI PLUS

ข้อมูลทางเทคนิค	
แบบเครื่องยนต์	ดีเซล 4 จังหวะ 1 สูบนอน
อัตราส่วนการอัด	18 : 1
ปริมาตรกระบอกสูบ	547 cc.
กำลังสูงสุด	7.4 kW/2400 rpm
กำลังต่อเนื่อง	6.6 kW/2400 rpm
แบบห้องเผาไหม้	ฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง

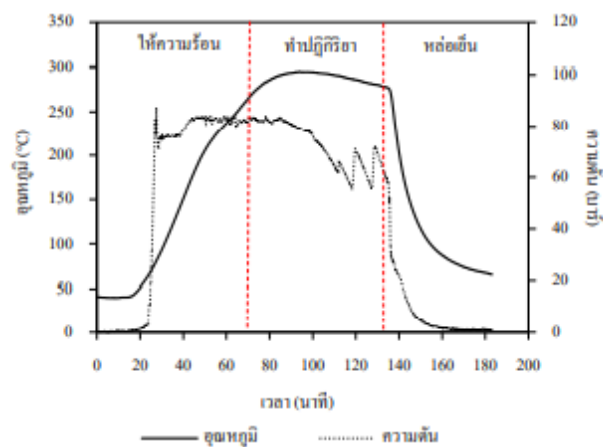
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การเตรียมส่วนกลั่นกรดไขมันไม่อิ่มตัวบางส่วนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

การเตรียมส่วนกลั่นกรดไขมันไม่อิ่มตัวบางส่วนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา จากข้อมูลอุณหภูมิและความดันภายในถังปฏิกรณ์ที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาต่างๆ ชุดทดลองสามารถทำได้จริง ดังแสดงในภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าหลังจากปรับความดันภายในถังปฏิกรณ์ได้ ≈ 70 บาร์ (นาทีที่ 0-25) ควบคุมกับการอุ่นให้ความร้อน ชุดทดลองใช้ระยะเวลาในการอุ่นให้ความร้อน ≈ 60 นาที (นาทีที่ 15-75) ภายในถังปฏิกรณ์จึงมีอุณหภูมิถึงจุดที่กำหนด 275°C โดยระหว่างการทำปฏิกิริยา 60 นาที (นาทีที่ 75-135) ชุดทดลองสามารถควบคุมสภาวะการทำปฏิกิริยาจริง ช่วงนาทีที่ 100-135 เป็นช่วงที่ฮีตเตอร์ตัดการทำงาน อุณหภูมิและความดันลดลงจึงรักษาความดันด้วยปั๊มแรงดันสูง โดยช่วงทำปฏิกิริยา 60 นาที มีอุณหภูมิเฉลี่ย $289 \pm 6^{\circ}\text{C}$ และความดันเฉลี่ย 72 ± 9 บาร์ เมื่อสิ้นสุดการทำปฏิกิริยา จะหล่อเย็นด้วยน้ำผ่านชุดปั๊มให้อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ลดลงเหลือ $\approx 65^{\circ}\text{C}$ ที่ความดัน ≈ 0 บาร์ ใช้เวลา ≈ 40 นาที (นาทีที่ 135-175) จากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ออกจากถังปฏิกรณ์ไปอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างการทำปฏิกิริยา โดยไม่จำเป็นต้องนำผลิตภัณฑ์ไปล้างน้ำทำความสะอาดและอุ่นไล่น้ำเพิ่มเติมเหมือนการผลิตแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา



ภาพที่ 2 โดอะแกรมแทนทดสอบสมรรถนะ



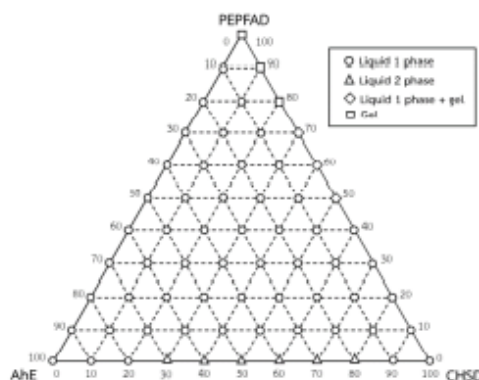
ภาพที่ 3 อุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยวิธี Thin-Layer Chromatography/Flame Ionization Detector (TLC/FID) พบว่ามี เอทิลเอสเทอร์ กรดไขมันอิสระ ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และ โมโนกลีเซอไรด์อยู่ 71.6, 26.8, 1.0, 0.3 และ 0.3 wt.% ตามลำดับ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า การผลิตส่วนกลับกรดไขมันเอสเตอร์รีไฟด์บางส่วนสามารถเตรียมผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเทอร์ได้ในระดับสูง (≥ 70 wt.%) นอกจากนี้ก็เป็นที่น่าทึ่งที่ทราบกันดีโดยทั่วไปแล้วว่า เอทิลเอสเทอร์มีคุณสมบัติการเป็นของเหลวที่ดีกว่ากรดไขมันอิสระ (Prasit and Somnuk, 2017) และเมื่อสังเกตผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้จะเห็นว่า มีลักษณะทางกายภาพเป็นไขอ่อนที่อุณหภูมิห้อง โดยมีความแตกต่างอย่างชัดเจนกับส่วนกลับกรดไขมันเอสเตอร์ที่เป็นไขค่อนข้างแข็งที่อุณหภูมิห้อง ด้วยเหตุนี้ ระดับความบริสุทธิ์ของเอทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้จึงมีผลโดยตรงต่อระดับการปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวของผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมดีเซลดีโซลล์ต่อไป

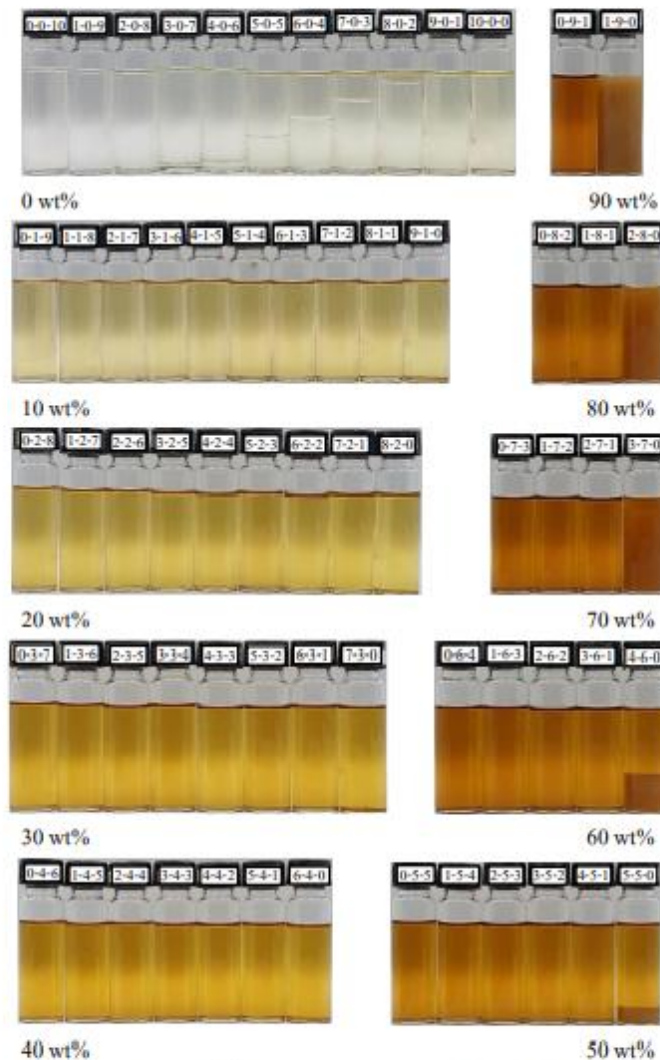
การศึกษาพฤติกรรมเฟสที่อุณหภูมิห้องของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AhE

การศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AhE เพื่อประเมินความสามารถขั้นต้นในการเป็นส่วนผสมทดแทนดีเซลดีโซลล์ ซึ่งแสดงเฟสไดอะแกรมและพฤติกรรมเฟส ดังภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5 ตามลำดับ โดยในการเพิ่มสัดส่วนการผสม PEPFAD ในช่วง 10-40 wt.% เชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD และเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AhE สามารถคงสถานะเป็นของเหลวเฟสเดียวได้ทุกสัดส่วน และในสัดส่วนการผสม PEPFAD ในช่วง 50-90 wt.% พบว่า เชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD มีการแยกชั้นเกิดขึ้น ในขณะที่เชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AhE สามารถคงสถานะเป็นของเหลวเฟสเดียวได้ทุกสัดส่วน ดังนั้นเอทานอลชนิดไม่มีน้ำจึงมีคุณสมบัติที่สำคัญในการคงสถานะเป็นของเหลวเฟสเดียวสำหรับเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AhE ที่มี PEPFAD ในระดับสูง (>40 wt.%)

จากผลการทดลองสามารถยืนยันได้ว่าการทำปฏิกิริยาเอทานอลในไลซิบางส่วนสามารถเพิ่มสัดส่วนการผสม PEPFAD กับดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้า เป็นเชื้อเพลิงผสม 2 ส่วน CHSD-PEPFAD ได้ ≤ 40 wt.% (CHSD-PFAD ได้ ≤ 10 wt.% (Eiadtrong *et al.*, 2016, Eiadtrong *et al.*, 2019)) และผสมเป็นเชื้อเพลิงผสม 3 ส่วน CHSD-PEPFAD-AhE หรือ ดีโซลล์ได้ ≤ 80 wt.% (CHSD-PFAD-AhE ได้ ≤ 50 wt.% (Eiadtrong *et al.*, 2016)) ด้วยผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบเอทิลเอสเทอร์ในระดับสูง (≥ 70 wt.%) ซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวและยังคงเหลือกรดไขมันอิสระ (≥ 20 wt.%) มีหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์จึงส่งผลให้ความสามารถในการผสมเป็นของเหลวสูงขึ้น



ภาพที่ 4 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AhE



ภาพที่ 5 พฤติกรรมเฟสที่อุณหภูมิห้องของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AhE ที่สัดส่วนการผสม PEPFAD ต่างๆ การศึกษาคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่สำคัญของเชื้อเพลิงผสม

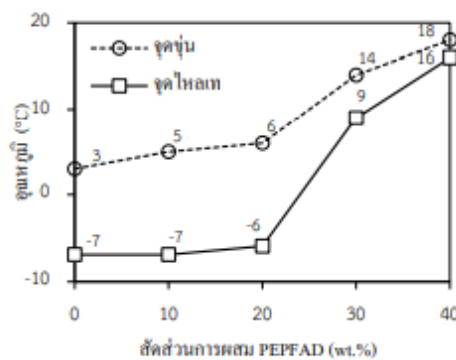
จากผลการศึกษาพฤติกรรมเฟสที่อุณหภูมิห้องของระชาว่ามีตัวอย่างที่น่าสนใจ คือ PEPFAD(10-40) และ PEPFAD(10-90)AhE10 (ตัวเลขที่ตามหลัง PEPFAD และ AhE คือสัดส่วนการผสมกับดีเซลในหน่วย wt.%) เนื่องจากมีลักษณะเป็นของเหลวเฟสเดียวและผสมเอทานอลชนิดไม่มีน้ำในระดับต่ำ (10 wt.%) จึงเหมาะสมต่อการศึกษากการทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่สำคัญ ประกอบด้วย

จุดขุ่นและจุดไหลหน เป็นคุณสมบัติการเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ จากผลการทดสอบพบว่า จุดขุ่นและจุดไหลหนของ PEPFAD(10-40) สามารถผสม PEPFAD ≤ 30 wt.% ดังภาพที่ 6 โดยจุดขุ่นและจุดไหลหนมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการผสม (+2°C ถึง +11°C และ 0°C ถึง +16°C ตามลำดับเทียบกับดีเซล) สำหรับ PEPFAD(10-90)AhE10 สามารถ

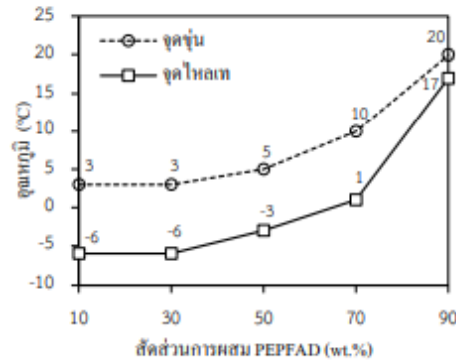
ผสม PEPFAD ≤ 70 wt.% ดังภาพที่ 7 จุดขุ่นและจุดไหลเทมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการผสม (0°C ถึง $+7^{\circ}\text{C}$ และ $+1^{\circ}\text{C}$ ถึง $+8^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับเทียบกับดีเซล) เนื่องจาก PEPFAD มีค่าจุดขุ่นและจุดไหลเทสูงส่งผลให้เชื้อเพลิงผสมมีจุดขุ่นและจุดไหลเทเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการผสม โดยสรุป PEPFAD(10-30) และ PEPFAD(10-70)AhE10 ผ่านทั้งมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร

ความหนืดจลนศาสตร์ คือคุณสมบัติที่มีผลต่อการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ผลการทดสอบพบว่า ความหนืดจลนศาสตร์ของ PEPFAD(10-40) เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการผสม (+12.2% ถึง +53.7% ตามลำดับเทียบกับดีเซล) ดังภาพที่ 8 สำหรับ PEPFAD(10-90)AhE10 ที่สัดส่วนการผสม PEPFAD เท่ากับ 10 wt.% มีค่าความหนืดจลนศาสตร์ใกล้เคียงกับดีเซล (-3.2%) และเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการผสม (+15.0% ถึง +106.5% ตามลำดับเทียบกับดีเซล) ดังภาพที่ 9 จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่า เอทานอลที่มีความหนืดต่ำ ($1.08 \text{ mm}^2/\text{s}$) (He *et al.*, 2003) สามารถช่วยปรับปรุงความหนืดจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงผสมที่เพิ่มขึ้นจากการผสม PEPFAD ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสรุป PEPFAD(10-30) และ PEPFAD(10-70)AhE10 มีความหนืดจลนศาสตร์ผ่านทั้งมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร

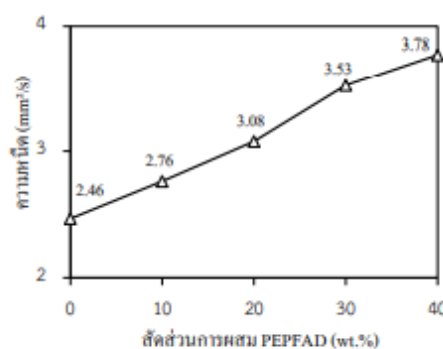
จากผลการทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลวและการไหลที่อุณหภูมิต่ำ จึงเลือก PEPFAD30 และ PEPFAD50AhE10 เป็นตัวอย่างเพื่อทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญเพิ่มเติม ประกอบด้วย ความหนาแน่น ค่าความร้อน และค่าซีเทน เนื่องจากเป็นตัวอย่างที่มีแนวโน้มสามารถทดสอบกับเครื่องยนต์การเกษตรได้



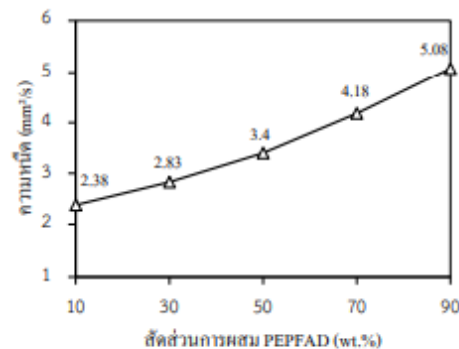
ภาพที่ 6 จุดขุ่นและจุดไหลเทของ PEPFAD(10-40)



ภาพที่ 7 จุดขุ่นและจุดไหลเทของ PEPFAD(10-90)AhE10



ภาพที่ 8 ความหนืดจลนศาสตร์ของ PEPFAD(10-40)



ภาพที่ 9 ความหนืดจลนศาสตร์ของ PEPFAD(10-90)AhE10

ความหนาแน่น เป็นคุณสมบัติที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับมวลและพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ผลการทดสอบพบว่า ความหนาแน่นของ PEPFAD30 และ PEPFAD50AhE10 มีค่าเท่ากับ 838 g/l และ 845 g/l มีค่าสูงกว่าดีเซล +2.0% และ +2.9% ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงผสมทั้ง 2 สูตร มีค่าผ่านทั้งมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร แสดงให้เห็นว่าเอทานอลที่มีความหนาแน่นต่ำ (771 g/l) (He *et al.*, 2003) สามารถช่วยปรับปรุงค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ค่าความร้อน บ่งบอกปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการสันดาป ผลการทดสอบพบว่า PEPFAD30 และ PEPFAD50AhE10 มีค่าเท่ากับ 43.3 MJ/kg และ 40.0 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าดีเซล -3.6% และ -10.9%ตามลำดับ เนื่องจากค่าความร้อนของเอทานอลและส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเอสเทอร์ไฟด์บางส่วนมีค่าเท่ากับ 22.8 MJ/Kg และ 39.5 MJ/Kg ต่ำกว่าดีเซล -49.2% และ -12.1% ตามลำดับ (Eiadtrong *et al.*, 2018) ส่งผลให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงผสมมีค่าต่ำลง อย่างไรก็ตาม ค่าความร้อนของส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเอสเทอร์ไฟด์บางส่วนมีค่าสูงกว่าเอทานอลถึง +73.2% ส่งผลให้การผสมส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเอสเทอร์ไฟด์บางส่วนจะสามารถทดแทนค่าความร้อนที่ลดลงจากการผสมเอทานอลได้อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4 คุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญของเชื้อเพลิงทดสอบ

คุณสมบัติเชื้อเพลิง	มาตรฐานประเทศไทย		เชื้อเพลิงทดสอบ		
	HSD	AED	CHSD	PEPFAD30	PEPFAD50AhE10
จุดจุดจุดไหลเท (°C)	n.a./≤10	n.a./n.a.	3/-7	14/9	5/-3
ความหนืดจลนศาสตร์ที่ 40°C (mm ² /s)	1.8-4.1	1.9-8.0	2.46	3.53	3.40
ความหนาแน่นที่ 15.6°C (g/l)	810-870	860-900	832	838	845
ค่าซีเทน	≥50	≥47	65.3	-	54.0
ค่าความร้อนสูง (MJ/kg)	n.a.	n.a.	44.9	43.3	40.0

หมายเหตุ : n.a. = non applied; HSD = High Speed Diesel; AED = Agricultural Engine Diesel; CHSD = Commercial High Speed Diesel; PEPFAD30 = 70 wt.% CHSD-30 wt.%PEPFAD; PEPFAD50AhE10 = 40 wt.%CHSD-50 wt.%PEPFAD-10 wt.%AhE

ค่าซีเทน บ่งบอกถึงคุณภาพในการจุดระเบิดของเชื้อเพลิง จากการศึกษาพบว่า เอทานอลมีค่าซีเทนที่ต่ำมาก (Eiadtrong *et al.*, 2018) จึงได้เลือก PEPFAD50AhE10 เป็นตัวอย่างในการส่งทดสอบค่าซีเทน ผลการทดสอบพบว่า PEPFAD50AhE10 มีค่าซีเทน 54.0 ต่ำกว่าดีเซล -17.3% แต่สามารถผ่านทั้งมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรที่กำหนดไว้ ≥50 และ ≥47 ตามลำดับ ส่งผลให้ PEPFAD30 มีค่าซีเทนผ่านทั้งมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรได้เช่นเดียวกัน และมีค่าซีเทนที่สูงกว่า 54.0 เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนการผสมกับ PEPFAD50AhE10 ดังตารางที่ 4

จากผลการทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญ สามารถสรุปได้ว่า PEPFAD(10-30) และ PEPFAD(10-50)AhE10 มีค่าจุดจุดจุดไหลเท ความหนืดจลนศาสตร์ ค่าความหนาแน่น ค่าความร้อน และค่าซีเทน ผ่านทั้งมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร

การทดสอบใช้งานเชื้อเพลิงผสมที่นำธัญในเครื่องยนต์เบื้องต้นเปรียบเทียบกับดีเซลบนแท่นทดสอบ

จากผลการทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญ จึงใช้เชื้อเพลิงผสม 2 สูตร คือ PEPFAD30 และ PEPFAD50AhE10 เป็นตัวอย่างทดสอบใช้งานเบื้องต้น พบว่า

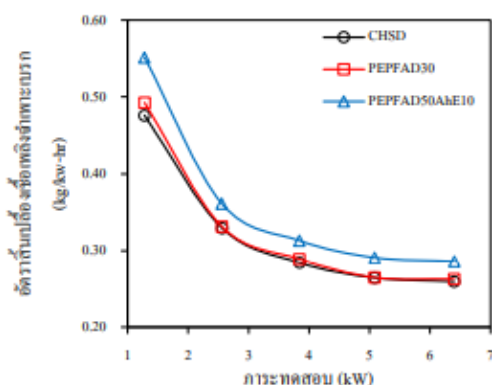
อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก คือความต้องการเชื้อเพลิงสำหรับเดินเครื่องยนต์ให้ได้กำลังเบรกตามต้องการ ในเวลาที่กำหนด พบว่า PEPFAD30 มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ใกล้เคียงดีเซล (+0.1% ถึง +3.5%) แต่สำหรับ PEPFAD50AhE10 มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่สูงกว่าดีเซลในทุกเงื่อนไขการทดสอบ (+9.7% ถึง +15.9%) ดังภาพที่ 10 เนื่องจากค่าความร้อนของ PEPFAD50AhE10 ต่ำกว่าดีเซลส่งผลให้มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่สูงกว่า

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก คือตัวแปรพื้นฐานที่ไม่มีหน่วย นิยมใช้เป็นค่าอ้างอิงเปรียบเทียบเชิงทฤษฎี พบว่า PEPFAD30 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงกว่าดีเซลทุกภาวะการทดสอบมีค่าเฉลี่ย +2.4% และ PEPFAD50AhE10 พบว่าที่ภาวะต่ำสุด (1.28 kW) มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกว่าดีเซล -3.1% แต่เมื่อเพิ่มภาวะพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกมีค่าเพิ่มขึ้นและสูงกว่าดีเซลมีค่าเฉลี่ย +0.8% ดังภาพที่ 11

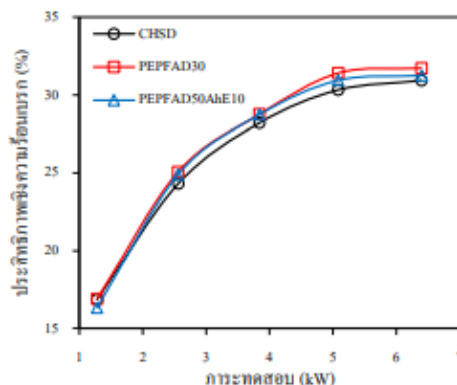
อุณหภูมิไอเสีย พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามภาวะของเครื่องยนต์ โดยเป็นผลมาจากส่วนผสม เชื้อเพลิง-อากาศ ที่หนาขึ้น อุณหภูมิไอเสียของ PEPFAD30 มีค่าต่ำกว่าดีเซลโดยเฉลี่ย-1.4% ซึ่งเป็นปกติของเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำกว่า จะมีอุณหภูมิไอเสียต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม สำหรับ PEPFAD50AhE10 พบว่ามีค่าอุณหภูมิไอเสียสูงกว่าดีเซลเล็กน้อย โดยเฉลี่ย +4.2% ดังภาพที่ 12 ทั้งนี้เชื้อเพลิงมีค่าความร้อนต่ำกว่า ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จากการสันดาปล่าช้า โดยจะสังเกตได้ง่ายที่การทดสอบเครื่องยนต์รอบสูงสอดคล้องกับงานวิจัย (Rakopoulos *et al.*, 2014; Eiadtrong, 2021)

จากผลการทดสอบใช้งานเบื้องต้นบนแท่นทดสอบ แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การใช้ PEPFAD30 และ PEPFAD50AhE10 ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะเครื่องยนต์ และมีผลประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ดีขึ้น โดยเฉพาะในภาวะเครื่องยนต์ที่สูงขึ้น และตลอดช่วงการทดสอบทุกเงื่อนไขไม่พบปัญหาเกิดขึ้นในช่วงการทดสอบ เช่น การฉีดเชื้อเพลิง การสาร์ทขณะเครื่องเย็น อาการน็อก และการติดขัดของแหวนลูกสูบ

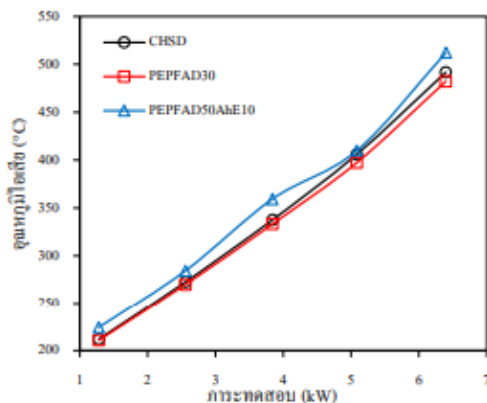
สำหรับราคาค่าต้นทุนของเชื้อเพลิงทดสอบคำนวณบนพื้นฐานของราคาเฉลี่ยย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) ประกอบด้วย ดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้า (26.85 บาท/ลิตร) (Energy Policy and Planning Office Ministry of Energy, 2012-2021) เอทานอลชนิดไม่มีน้ำเกรดการค้า (24.14 บาท/ลิตร) (Thai Ethanol Producers Trade Association, 2012-2021) และ ส่วนกลั่นกรดไขมัน (PFAD) (21.16 บาท/ลิตร) (Bank of Thailand, 2012-2021) โดยการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอทานอลอิสระบางส่วน (PEPFAD) รวมค่าวัตถุดิบและไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.51 บาท/ลิตร ดังนั้นผลการคำนวณราคาเชื้อเพลิงผสม PEPFAD30 และ เชื้อเพลิงดีเซลไฮบริด PEPFAD50AhE10 จึงมีราคา 25.66 และ 24.53 บาท/ลิตร ซึ่งต่ำกว่าดีเซล 1.19 และ 2.32 บาท/ลิตร คิดเป็น 4.4% และ 8.6% ตามลำดับ เปรียบเทียบกับดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้า



ภาพที่ 10 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค



ภาพที่ 11 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค



ภาพที่ 12 อุณหภูมิไอเสีย

หมายเหตุ : CHSD = Commercial High Speed Diesel

PEPFAD30 = 70 wt.%CHSD-30 wt.%PEPFAD

PEPFAD50Ae10 = 40 wt.%CHSD-50 wt.%PEPFAD-10 wt.%Ae

สรุป

การเตรียมส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไฟด์บางส่วนด้วยปฏิกิริยาเอทาโนไลซิส โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งใช้ส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มทำปฏิกิริยากับเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1 อุณหภูมิเฉลี่ย $289 \pm 6^{\circ}\text{C}$ ความดันเฉลี่ย 72 ± 9 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที และทำความสะอาดด้วยกระบวนการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ โดยไม่ใช้กระบวนการล้างน้ำทำความสะอาดและอุ่นไล่น้ำเพิ่มเติมเหมือนการผลิตแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดการสูญเสียพลังงาน ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีองค์ประกอบหลักเป็นเอทิลเอสเทอร์ 71.6 wt.% กรดไขมันอิสระ 26.8 wt.% และองค์ประกอบอื่นๆ อีก 1.6 wt.% สามารถผสมเป็นเชื้อเพลิงเหลวกับดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้า CHSD-PEPFAD และดีโซลล์ CHSD-PEPFAD-Ae สูงถึง 40 และ 80 wt.% ตามลำดับ จากการทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลว

และการไหลที่สำคัญ ประกอบด้วย จุดบู่ จุดไหลเท และความหนืดจลนศาสตร์ พบว่า PEPFAD(10-30) และ PEPFAD(10-50)AhE10 มีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศ ไทย และการทดสอบใช้งานเบื้องต้นเชิงเปรียบเทียบเบื้องต้นบนแท่นทดสอบ ในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ซีพียู คูโบต้า รุ่น RT100DI PLUS ขนาด 10 แรงม้า ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระในช่วง 1.28-6.40 kW ที่ความเร็ว รอบสูงคงที่ 2,200 rpm พบว่า PEPFAD30 และ PEPFAD50AhE10 สามารถใช้งานได้ดีเทียบเท่าดีเซล มีอัตราการ สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคใกล้เคียงหรือสูงกว่าดีเซลเล็กน้อย โดยไม่พบ ปัญหาเกิดขึ้นในช่วงการทดสอบ เช่น การฉีดเชื้อเพลิง การสตาร์ทขณะเครื่องเย็น อากาศน็อค และการติดขัดของ แหวนลูกสูบ โดยสรุป งานวิจัยนี้ค้นพบโอกาสที่ดีของการเพิ่มศักยภาพการนำกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวจากส่วน กลั่นกรดไขมันปาล์มมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล/ดีโซลล์ ด้วยการทำปฏิกิริยาเอทานอลิซิสโดยไม่ใช่ตัวเร่ง ปฏิกิริยา อย่างไรก็ตาม ยังต้องมีการศึกษาทดสอบใช้งานจริงในเครื่องยนต์ที่เงื่อนไขต่างๆเพิ่มเติม เพื่อศึกษาถึง ผลกระทบต่อเครื่องยนต์ระยะยาว เช่น การอุดตันของหัวฉีด การเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ และการอุดตัน หรือฉีกขาดของกรองน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้กรอบวิจัยการพัฒนาพลังงาน ทดแทน และการประยุกต์ใช้งานจริง เพื่อนำไปสู่ชุมชนสีเขียว และเงินรายได้มหาวิทยาลัย มหาวิททยาลัยสงขลานครินทร์ และทุนบ่มเพาะศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

- Atabani, A.E., Silitonga, A.S., Badruddin, I.A., Mahlia, T.M.I., Masjuki, H.H. and Mekhilef, S. 2012. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 16: 2070–2093.
- Bank of Thailand. 2012-2021. **Crude Palm Oil**. Major industrial products in the south of Thailand. Bank of Thailand. Available Source: https://www.bot.or.th/App/BTWS_STAT/statistics/ReportPage.aspx?reportID=590&language=th. (in thai)
- Department of Energy Business Ministry of Energy, 2021. **News on fuel use situation in 2021**. Ministry of Energy. Available Source: https://www.doeb.go.th/news_activity/2498.pdf. (in thai)
- Eiadtrong, S. 2016. Production of Diesel Extender from Mixed Crude Palm Oil by Continuous Hydrolysis Process. MasterThesis of Engineering, Prince of Songkla University. (in Thai)

- Eiadtrong, S., Maliwan, K., Theppaya, T., Kattiyawan, T., Tepsom, K., Piamcharoensuk, S. and Leevijit, T. 2018. Preliminary utilizing the blends of diesel-PFAD-anhydrous/hydrous alcohols in an agricultural diesel engine, pp. 76-83. **the 9th TSME-ICoME**, Phuket, Thailand. (in Thai)
- Eiadtrong, S., Maliwan, K., Prateepchaikul, G., Kattiyawan, T., Thepsorn, P. and Leevijit, T. 2019. Preparation, important fuel properties, and comparative use of un-preheated palm fatty acid distillate-diesel blends in a single cylinder diesel engine. **Renewable Energy** 134: 1089-1098.
- Eiadtrong, S. 2021. An Investigation to Utilize Diesel/Diesohols containing Palm Tall Oil Monoacids as Simply Novel Diesel Substitutes. Doctor of Philosophy Thesis of Engineering, Prince of Songkla University. (in Thai)
- Eiadtrong, S., Maliwan, K., Theppaya, T., Kattiyawan, T., Prateepchaikul, G. and Leevijit, T. 2021. An investigation to utilize ternary diesel-palm fatty acid distillate- 10 wt.% n-butanol blends as simply novel diesel substitute, **Fuel** 289: 119965.
- Energy Policy and Planning Office Ministry of Energy. 2012-2021. **Oil price**. Petroleum. Ministry of Energy. Available Source: <http://www.eppo.go.th/index.php/th/petroleum/price/oil-price.html>. (in Thai)
- He, B. Q., Shuai, S. J., Wang, J. X. and He, H. 2003. The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from a diesel engine. **Atmospheric Environment** 37: 4965-4971.
- Lapuerta, M., Garcia-Contreras, R., Campos-Fernandez, J. and Pilar Dorado, M. 2010. Stability, lubricity, viscosity, and cold-flow properties of alcohol/diesel blends. **Energy & Fuels** 24: 4497-4502.
- Leevijit, T., Prateepchaikul, G., Maliwan, K., Mompiboon, P. and Eiadtrong, S. 2017. Comparative properties and utilization of un-preheated degummed/esterified mixed crude palm oil-diesel blends in an agricultural engine. **Renewable Energy** 101: 82-89.
- Prasit, T. and Somnuk, K. 2017. Circulation Biodiesel Production Process from Palm Fatty Acid Distillate Using Helical Static Mixer. **RMUTL Engineering Journal** 1(1): 99-108. (in Thai)
- Rakopoulos, D.C., Rakopoulos, C.D., Giakoumis, E.G., Papagiannakis R.G. and Kyritsis, D.C. 2014. Influence of properties of various common bio-fuels on the combustion and emission characteristics of high-speed DI (direct injection) diesel engine: vegetable oil, bio-diesel, ethanol, n-butanol, diethyl ether. **Energy** 73: 354-366.
- Srithammarong, P. 2003. Collaborative research and development of diesohol fuel for diesel vehicles in Thailand. **MTEC annual meeting**, Bangkok, Thailand. 120-121.
- Thai Ethanol Producers Trade Association. 2012-2021. **Ethanol reference price**. Data statistics. Thai Ethanol Producers Trade Association. Available Source: <https://www.thai-ethanol.com/th/statistical-data/price.html>. (in Thai)
- Yilmaz, N. and Vigil, F. 2014. Potential use of a blend of diesel, biodiesel, alcohols and vegetable oil in compression ignition engines, **Fuel** 124: 168-172.

เอกสารเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่ 2

บทความวิจัย

ศุภวุฒิ เปี่ยมเจริญสุข, ศุภกิจ เอียดตรง, ฐานันดรศักดิ์ เทพยา และ ชีระยุทธ หลีวิจิตร. 2564. การศึกษาขั้นตอนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวของส่วนผสมดีโซฮอลล์จากกรดไขมันปาล์ม โมเลกุลยาวด้วยกระบวนการเอทานอลิซิสบางส่วนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา. การประชุมวิชาการ เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35, 20-22 กรกฎาคม 2564, จังหวัดนครปฐม, หน้า 10-20

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35
วันที่ 20 -22 กรกฎาคม พ.ศ. 2564 จังหวัดนครปฐม



AEC0002

การศึกษาขั้นต้นเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวของส่วนผสมดีโซฮอล์จากกรดไขมัน
ปาล์มโมเลกุลยาวด้วยกระบวนการเอทานอลซิสบางส่วนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
Preliminary Study to Improve Fluidity Properties of Diesohol Extender from
Palm Tall Oil Monoacids using Partially Non-Catalyzed Ethanolysis

ศุภาณี เปี่ยมเจริญสุข*, ศุภกิจ เอียดตรง, ฐานันดรศักดิ์ เทพญา และ ชีระยุทธ หลีวีจิตร

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอากาศยาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110
ติดต่อ: supawoot_p@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวของกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวจากส่วนกลั่นกรดไขมัน (Palm Fatty Acid Distillate: PFAD) ด้วยกระบวนการเอทานอลซิสบางส่วนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเพิ่มสัดส่วนการนำมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล ส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ราคาจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มบริโภค มีองค์ประกอบหลักเป็นกรดไขมันอิสระโมเลกุลยาว (≈ 94 wt.%) มีหัวเป็นหัวแรง 1 ข้าง และหางไม่มีหัว 1 ข้าง ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์สำหรับผลิตดีโซฮอล์ (ดีเซล-แอลกอฮอล์) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวจากส่วนกลั่นกรดไขมันมีคุณสมบัติการเป็นของเหลวที่ไม่ดี จึงต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวโดยการเปลี่ยนองค์ประกอบของกรดไขมันอิสระโมเลกุลยาวบางส่วนไปเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน ซึ่งมีคุณสมบัติการเป็นของเหลวที่ดีกว่า สำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวด้วยกระบวนการเอทานอลซิสบางส่วนโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการนำส่วนกลั่นกรดไขมันมาทำปฏิกิริยากับเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ (Anhydrous Ethanol: AHe) ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะขนาด 2 ลิตร ที่อัตราส่วนโดยโมลของ PFAD:AHe เท่ากับ 1:1 อุณหภูมิเฉลี่ย 288.5 ± 5.6 °C ความดันเฉลี่ย 72.2 ± 8.6 บาร์ และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟต์บางส่วน (Partially Esterified Palm Fatty Acid Distillate: PEPFAD) ด้วยวิธี Thin-Layer Chromatography/Flame Ionization Detector พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีองค์ประกอบของเอสเทอร์ของกรดไขมันและกรดไขมันอิสระโมเลกุลยาว เท่ากับ 7.155 และ 26.78 wt.% ตามลำดับ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาผ่านการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการล้าง เพื่อนำมาศึกษาการใช้เป็นส่วนผสมดีเซล/ดีโซฮอล์ของเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ โดยเชื้อเพลิงผสมถูกเตรียมที่สัดส่วนต่างๆ ของแต่ละองค์ประกอบในช่วง 0-100 wt.% ที่ทุกๆ 10 wt.% ด้วยการผสมอย่างง่าย และนำไปวางนึ่งที่บรรยากาศปกติที่มีอุณหภูมิรายวันในช่วง 22-34 °C เป็นระยะเวลา 90 วัน เพื่อสังเกตพฤติกรรมเฟสระยะยาว ผลการศึกษาพบว่า ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟต์บางส่วนสามารถผสมตรงกับดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้า (Commercial High Speed Diesel: CHSD) และเอทานอลชนิดไม่มีน้ำเป็นของเหลวเฟสเดียว และมีความเสถียรระยะยาวสูงสุด 40 และ 90 wt.% ตามลำดับ และผสมเป็นส่วนผสมดีโซฮอล์ CHSD-PEPFAD-AHe ได้สูงสุด 80 wt.% ในขณะที่เดียวกัน ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟต์บางส่วนยังสามารถใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์สำหรับผลิตดีโซฮอล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ได้ทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลว (จุดขุ่น จุดไหลเท และความหนืดจลนศาสตร์) ของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD(10-40) และดีโซฮอล์ CHSD-PEPFAD(10-90)-AHe10 ตัวเลขที่ตามหลัง PEPFAD และ AHe คือสัดส่วนการผสมกับดีเซลในหน่วย wt.% พบว่า เชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD(10-30) และดีโซฮอล์ CHSD-PEPFAD(10-70)-AHe10 มีคุณสมบัติการเป็นของเหลวผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทย

คำหลัก: เชื้อเพลิงทดแทนดีเซล ดีโซฮอล์ กรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาว ส่วนกลั่นกรดไขมัน เอทานอลซิส

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35
วันที่ 20 -22 กรกฎาคม พ.ศ. 2564 จังหวัดนครปฐม

AEC0002



Abstract

The objective of this work was to improve the fluidity properties of palm tall oil monoacids from palm fatty acid distillate (PFAD) using a partially non-catalyzed ethanolsis process to increase the palm fatty acid distillate portion of utilization as a diesel replacement. Palm fatty acid distillate is a cheap by-product of the edible palm oil industry. Its main composition is tall oil monoacids (≈ 94 wt.%) with one strongly polar head and one none polar tail, which is the suitable attribute for use as an emulsifier of diesohol (diesel-alcohol) production. However, due to palm tall oil monoacids from palm fatty acid distillate has poor fluidity properties; thus, the fluidity properties must be improved by converting some tall oil monoacids into fatty acid esters which have better fluidity properties. For improving the fluidity properties by partially non-catalyzed ethanolsis, palm fatty acid distillate was reacted with anhydrous ethanol (AhE) in a 2-L batch reactor at a molar ratio of PFAD to AhE of 1:1, average temperature of 288.5 ± 5.6 °C, average pressure of 72.2 ± 8.6 , and reaction time of 60 min; the compositions of the product of partially esterified palm fatty acid distillate (PEPFAD) were analyzed by thin-layer chromatography/flame ionization detector. It was found that the obtained product contained fatty acid esters and tall oil monoacids of 71.55 and 26.78 wt.%, respectively. For the study to utilize the PEPFAD as a diesel and an anhydrous ethanol diesohol extender, the obtained product was heated to remove remaining alcohol and water without washing process. The blends were prepared by simple splash blending with each component in the range of 0-100 wt.% at every 10 wt.% and motionless kept at room temperature daily varied in the range of 22-34 °C to observe their long-term phase behavior. It was found that the PEPFAD can be directly blended with diesel and anhydrous ethanol, single-phase liquid and long-term stability, up to 40 and 90 wt.%, respectively, and blended into diesohol as CHSD-PEPFAD-AhE blends up to 80 wt.%. Simultaneously, PEPFAD can also be effectively used as emulsifiers for diesohol production. In addition, the blends of interest of CHSD-PEPFAD(10-40) and CHSD-PEPFAD(10-90)-AhE10, the number following PEPFAD and AhE is the blending portion of wt.% with diesel, were selected and their fluidity properties including cloud point, pour point, and kinematic viscosity were further tested according to standard test methods. According to Thai standards, almost fluidity properties of CHSD-PEPFAD(10-30) and CHSD-PEPFAD(10-70)-AhE10 met Thailand high-speed diesel and agricultural engine diesel standards.

Keywords: diesel substitute, diesohol, palm tall oil monoacids, palm fatty acid distillate, ethanolsis.

1 บทนำ

ตามรายงานของ International Energy Agency (IEA) ในอนาคตข้างหน้าจากปัจจุบันถึง ปี ค.ศ. 2030 ถูกคาดการณ์ว่าโลกจะมีความต้องการพลังงานมากกว่า 50% จากการศึกษาในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา [1] โดยพลังงานที่ใช้เกือบทั้งหมดจะใช้เป็นน้ำมันปิโตรเลียมและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ใช้แก๊สธรรมชาติ ซึ่งแหล่งพลังงานเหล่านี้มีปริมาณแนวโน้ม

ที่ลดลงอย่างต่อเนื่องสวนทางกับความต้องการที่มีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ราคาปรับตัวเพิ่มขึ้น จึงมีการพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทน ดีเซลจากผลิตภัณฑ์การเกษตร เช่น น้ำมันพืช ผลิตภัณฑ์พลอยได้จากอุตสาหกรรมการเกษตร และไบโอดีเซล (เอทานอล/บิวทานอล) เพื่อลดสัดส่วนการใช้ดีเซลให้ได้สูงสุด การวิจัยและพัฒนาเหล่านี้มีหลายรูปแบบที่ได้รับความสนใจ เช่น การผลิตไบโอดีเซล การใช้น้ำมันพืชโดยผ่านกระบวนการ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35
วันที่ 20 -22 กรกฎาคม พ.ศ. 2564 จังหวัดนครปฐม

AEC0002



ดัดแปลงโมเลกุลเล็กน้อย และการนำมาผสมกับดีเซลเป็น เชื้อเพลิงผสมสองส่วน (binary blends) หรือการผสมสาม ส่วน (Ternary blends) ระหว่าง ดีเซล-น้ำมันพืช/ไบโอดีเซล- แอลกอฮอล์ เรียกว่า “ดีโซฮอล์” [2-6] ซึ่งสามารถใช้งานได้จริงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ดีโซฮอล์สามารถลดปริมาณการปล่อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมลพิษอื่นๆ สู่ชั้นบรรยากาศจาก กระบวนการสันดาปของเครื่องยนต์ได้อย่างมีนัยยะสำคัญ[1-12] ด้วยเหตุนี้ ดีโซฮอล์จึงเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลที่ น่าสนใจ อย่างไรก็ตาม การผลิตดีโซฮอล์จากการผสมระหว่าง ดีเซลและไบโอดีเซลยังมีข้อด้อยที่สำคัญ คือ 1) คุณสมบัติความเป็นขี้ของไบโอดีเซลส่งผลให้มี ขีดจำกัดในการผสมกับโมเลกุลที่ไม่มีขี้ของสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอนในดีเซล 2) ค่าซีเทนของไบโอดีเซลต่ำกว่า ดีเซลมาก และ 3) ไบโอดีเซลมีความหนืดน้อยกว่า ดีเซล ทำให้ดีโซฮอล์มีคุณสมบัติหล่อลื่นที่ด้อยลง จากข้อด้อย ข้างต้นจึงต้องมีการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) หรือ ตัวทำละลายร่วม (co-solvent) เป็นส่วนสำคัญในการผลิตดี โซฮอล์เพื่อปรับปรุงการผสมและคุณสมบัติการเผาไหม้ให้ สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ [5-6,13-15]

ปัจจุบันมีการพัฒนาสารอิมัลซิไฟเออร์อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในอเมริกาที่มีการกำหนดแผนนโยบายเพื่อนำไปใช้ จริงในเชิงพาณิชย์ (National Renewable Energy Laboratory ,2001) มีหลายบริษัทที่พัฒนา ได้แก่ บริษัท Pure energy corporation (PEC) บริษัท AAE Technologies และ บริษัท GE Betz เป็นต้น สำหรับประเทศไทย เนื่องจากการนำเข้าสารอิมัลซิไฟเออร์จากต่างประเทศมี ราคาค่อนข้างสูง จึงมีการวิจัยและพัฒนาสารอิมัลซิไฟเออร์ จากวัตถุดิบทางการเกษตร เพื่อเพิ่มเสถียรภาพด้านพลังงาน ควบคู่กับการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้มี ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งหากสามารถใช้จริงในเชิงพาณิชย์ได้จะ ส่งผลให้ราคาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรปรับตัวเพิ่มขึ้นตามกล โกลตลาดอย่างยั่งยืนในอนาคต

กรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวที่ได้จากส่วนกลั่นกรดไขมัน (palm fatty acid distillate: PFAD) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ราคาถูกจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มบริโภค ซึ่งใน

กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มจะมีปริมาณส่วนกลั่นกรดไขมัน ≈5% ของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต แต่ละปีประเทศไทย มีส่วนกลั่นกรดไขมัน ≈ 100,000 ตัน โดยองค์ประกอบหลัก คือ กรดไขมันอิสระ (free fatty acid : FFA) ≈94 wt.% และส่วนที่เหลือเป็น ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride: TG) ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride: DG) และโมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride: MG) ลักษณะทางกายภาพของส่วนกลั่น กรดไขมันปาล์มเป็นไขอ่อนสีเหลืองที่อุณหภูมิห้อง โดยจะเป็นของเหลวสีน้ำตาลอ่อนเมื่ออุ่นที่อุณหภูมิ ≈ 50°C และพบว่า โมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันอิสระในส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์ม คือ $C_{15.97}H_{31.87}COOH$ ซึ่งเป็นกรดไขมันอิสระโมเลกุลยาว (tall oil monoacid: TOMA) [13,16] มีความใกล้เคียงกับซีเทน ($C_{16}H_{34}$) มีหัวที่เป็นขี้แรงจับกับโมเลกุลขี้ของแอลกอฮอล์ และหางไม่มีขี้จับกับโมเลกุลไม่มีขี้ของสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอนในดีเซล มีออกซิเจนในโมเลกุลที่จับตัวในรูป คาร์บอกซิล (-COOH) สามารถใช้ผสมตรงกับดีเซลได้สูงสุด 10 wt.% และนำมาใช้ในสารอิมัลซิไฟเออร์ที่มีค่าซีเทนสูงในการผลิตดีโซฮอล์ที่มีเสถียรภาพการเป็นของเหลวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ แอลกอฮอล์ยังสามารถช่วย ปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวของเชื้อเพลิงผสมและ เพิ่มสัดส่วนการนำกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวจากส่วนกลั่น กรดไขมันปาล์มมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนสูงสุด 40-50 wt.% [13]

จากองค์ความรู้การนำกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวจาก ส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ราคาถูกจาก อุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มบริโภค มาใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมทดแทนดีเซลและสารอิมัลซิไฟเออร์สำหรับผลิตดี โซฮอล์ (ดีเซล-แอลกอฮอล์) เนื่องจากคุณสมบัติการเป็น ของเหลว (จุดขุ่น และจุดไหลเท) ของกรดไขมันปาล์มโมเลกุล ยาวจากส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มไม่ตี (เป็นไขที่อุณหภูมิห้อง และเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 50 °C) จึงสามารถผสมตรงกับดีเซล ได้สูงสุด 10 wt.% และแม้ว่าจะใช้แอลกอฮอล์เพื่อเพิ่ม สัดส่วนการผสมกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวจากส่วนกลั่นกรด ไขมันปาล์ม แต่สามารถผสมกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวจากส่วน กลั่นกรดไขมันปาล์มได้ไม่เกิน 50 wt.% [13] ดังนั้น การทำ แอลกอฮอล์ไอโซบางส่วนจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ โดยการทำ

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35
วันที่ 20 -22 กรกฎาคม พ.ศ. 2564 จังหวัดนครปฐม

AEC0002



ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวจากส่วน
กลั่นกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระ
บางส่วนไปเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ไบโอดีเซล) [17-19]
ซึ่งมีคุณสมบัติการเป็นของเหลวที่ดี และเปลี่ยนกรดไขมันอิสระ
ไว้บางส่วนเพื่อคงคุณสมบัติการเป็นอิมัลชันไฟเออร์ที่ดีไว้ โดย
กระบวนการแอลกอฮอล์ไลซิสนี้จะปรับปรุงคุณสมบัติการ
เป็นของเหลวของกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวจากส่วนกลั่น
กรดไขมันที่จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมดีเซลอย่างใดก็ตาม
การผลิตเอสเทอร์ด้วยกระบวนการดั้งเดิมนั้นจำเป็นต้องใช้
ตัวเร่งปฏิกิริยากัดและ/หรือเบส เมื่อได้ผลิตภัณฑ์จะต้องล้าง
ตัวเร่งปฏิกิริยาออกก่อนและมีกระบวนการหลายขั้นตอน
ดังนั้น จึงต้องสูญเสียพลังงานในกระบวนการล้าง (การกวาด
อุ่นไอน้ำ) ทั้งยังก่อให้เกิดการใช้น้ำในปริมาณมากและเกิดของ
เสียในกระบวนการ ดังนั้น หากสามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาใช้
เป็นเชื้อเพลิงผสมตรงกับดีเซลหรือดีเซลไฮโดรเจนโดยไม่ต้องมีการ
ล้างและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการจะลดการสูญเสีย
พลังงานและของเสีย (zero waste) เป็นอย่างมาก [17,20-
21]

ดังนั้น เพื่อเพิ่มศักยภาพการนำกรดไขมันปาล์มโมเลกุล
ยาวจากส่วนกลั่นกรดไขมันมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสม
ทดแทนดีเซลและสารอิมัลชันไฟเออร์สำหรับผลิตดีเซลไฮโดรเจน
งานวิจัยนี้ จึงใช้กระบวนการแอลกอฮอล์ไลซิสที่สภาวะการทำ
ปฏิกิริยาอุณหภูมิและความดันสูงโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดย
การนำกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวจากส่วนกลั่นกรดไขมัน
ทำปฏิกิริยาบางส่วนกับเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มี
องค์ประกอบของเอสเทอร์ของกรดไขมัน กรดไขมันอิสระที่
เหลือ แอลกอฮอล์ส่วนเกิน และน้ำ โดยผลิตภัณฑ์ได้นี้จะ
นำไปผ่านกระบวนการอุ่นแยกแอลกอฮอล์ส่วนเกินและน้ำ ได้
ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟด์
บางส่วน (Partially Esterified Palm Fatty Acid Distillate:
PEPFAD) ซึ่งจะถูกนำไปศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวของ
เชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PEPFAD-เอทานอลชนิดไม่มีน้ำ และ
เลือกเชื้อเพลิงที่สนใจเพื่อศึกษาคุณสมบัติการเป็นของเหลว
ต่อไป

2 วัตถุประสงค์และวิธีการ

ส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์ม ดีเซลหมุนเร็วเกรดการค้า
(commercial high speed diesel: CHSD) ซึ่งเป็นดีเซล
ผสมไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ 6-7 vol.% เอทานอล
ชนิดไม่มีน้ำเกรดการค้า ความบริสุทธิ์ 99.9% เป็นวัตถุดิบ
หลักที่ใช้ในงานวิจัยนี้ องค์ประกอบของส่วนกลั่นกรดไขมัน
วิเคราะห์โดยวิธี thin layer chromatography/ flame
ionization detector (TLC/ FID) ซึ่งมีองค์ประกอบของกรด
ไขมันอิสระ ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์
เท่ากับ 93.8, 1.9, 2.2 และ 2.1 wt.% ตามลำดับ และ
ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติเคมีพื้นฐานของ ดีเซล, เอ
ทานอล, PFAD และ Palm oil ethyl esters ดังแสดงใน
ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะทางกายภาพและเคมีพื้นฐาน

เชื้อเพลิง	ลักษณะทาง กายภาพ ที่อุณหภูมิห้อง	ความหนาแน่น ที่ อุณหภูมิ 15 °C (g/L)	ค่าความหนืด จลน์ศาสตร์ ที่ อุณหภูมิ 40 °C (mm ² /s)	จุดไหลเท (°C)
ดีเซล [13]	ของเหลว	832	2.46	-7
เอทานอล [13]	ของเหลว	789	1.08	-117.3
PFAD [13]	ไข	867.5 *	-	-
Palm oil ethyl esters [23]	ของเหลว	871.6	4.8	6

หมายเหตุ : * ที่อุณหภูมิ 50 °C

ก่อนการผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเทอร์ไฟด์บางส่วน
ส่วนกลั่นกรดไขมันถูกล้างเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนด้วยขั้นตอน
ดังต่อไปนี้ ซึ่งส่วนกลั่นกรดไขมัน 500 กรัม ใส่ในบีกเกอร์
ขนาด 2 ลิตร อุณหภูมิเตาอบส่วนกลั่นกรดไขมันละลาย
จนหมด จากนั้นเติมน้ำปริมาณ 500 กรัม ลงไป และกวน
ส่วนผสมด้วยใบกวนชนิด 6-blade disk turbine (เส้นผ่าน
ศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร) ที่ความเร็วรอบ 250-300 rpm
และอุณหภูมิ ≈100 °C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นวางทิ้งไว้
เพื่อให้ไขมันแยกชั้นเป็นเวลา 30 นาที และถ่ายน้ำมันออก หลังจากนั้น
จึงอุ่นไอน้ำที่ตกค้างในส่วนกลั่นกรดไขมันที่อุณหภูมิ
≈120 °C เป็นเวลา 30 นาที

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35
วันที่ 20 -22 กรกฎาคม พ.ศ. 2564 จังหวัดนครปฐม

AEC0002



สำหรับการผลิตส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไฟต์ บางส่วนด้วยกระบวนการเอทานอลไลซิส มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ ซึ่งส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มและเอทานอลชนิดไม่มีน้ำที่อัตราส่วน โดยโมล 1:1 ใส่น้ำในบีกเกอร์ขนาด 3 ลิตร โดยมีน้ำหนักรวม 2,000 กรัม กวนส่วนผสมบนฮีตเตอร์ด้วยใบกวนชนิด 6-blade disk turbine (เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร) ที่ ความเร็วรอบ 250-300 rpm และอุณหภูมิ 50 ± 5 °C เป็น เวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำส่วนผสมใสในเครื่องปฏิกรณ์ แบบกะ ขนาด 2 ลิตร และให้ความร้อนแก่เครื่องปฏิกรณ์ด้วย ฮีตเตอร์หล่อ ขนาด 3,000 วัตต์ จนถึงอุณหภูมิทำปฏิกิริยา 275 °C ซึ่งอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ถูกวัดด้วย เทอร์โมคัปเปิ้ล type k และควบคุมด้วยเครื่องควบคุม อุณหภูมิแบบดิจิตอล ยี่ห้อ DIGICON รุ่น MD-400A ควบคู่ กับการรักษาความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ที่ 70 บาร์ ด้วย วาล์วความดันต้านกลับ ยี่ห้อ GO Regulator รุ่น BP-60 Series และเพิ่มความดันสูง HPLC pump รุ่น Series-I Pump เมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ถึงอุณหภูมิทำปฏิกิริยา จะ เริ่มจับเวลาการทำปฏิกิริยา 60 นาที และเมื่อครบเวลาทำ ปฏิกิริยาจะทำการหล่อเย็นผลิตภัณฑ์ โดยการปั้มน้ำมัน ถ่ายให้ความร้อนเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สวมติดอยู่ กับเครื่องปฏิกรณ์จนผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิ 65 °C หลังจากนั้น นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ใส่น้ำในบีกเกอร์ ขนาด 3 ลิตร อุณหภูมิและ แอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิ ≈ 120 °C เป็นเวลา 30 นาที สำหรับ ผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไฟต์บางส่วนที่ได้จะ ถูกวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยวิธีการ thin layer chromatography/ flame ionization detector

สำหรับการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวของเชื้อเพลิง ผสม CHSD-PEPFAD-AhE เชื้อเพลิงผสมถูกเตรียมในขวด แก้วขนาดเล็กด้วยวิธีการเขย่าอย่างง่าย โดยการผสมที่สัดส่วน ต่างๆ ของแต่ละองค์ประกอบในช่วง 0-100 wt.% ที่ทุกๆ 10 wt.% โดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียดสูง (0.0001 กรัม) ยี่ห้อ METTLER รุ่น AL204 ซึ่งแต่ละตัวอย่างของเชื้อเพลิง ผสมจะมีน้ำหนักรวม 10.0 กรัม และมีความคลาดเคลื่อน ในช่วง ± 0.05 wt.% สำหรับเชื้อเพลิงผสมสองส่วน แต่ละ องค์ประกอบจะถูกชั่งตามสัดส่วน ปิดฝา อุณหภูมิ 50 ± 5 °C แล้วทำการเขย่าขวดเป็นเวลา 1 นาที และสำหรับเชื้อเพลิง

ผสมสามส่วน ขั้นตอนแรกจะทำการผสมระหว่างส่วนกลั่น กรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไฟต์บางส่วนกับเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ ก่อน ปิดฝา อุณหภูมิ 50 ± 5 °C แล้วทำการเขย่าขวดเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นจึงผสมดีเซลตามสัดส่วน อุณหภูมิ 50 ± 5 °C แล้ว ทำการเขย่าอีกเป็นเวลา 1 นาที ก็จะได้เชื้อเพลิงผสมที่ ต้องการ และนำไปวางนึ่งที่บรรยากาศปกติที่มีอุณหภูมิรายวัน ในช่วง $22-34$ °C เป็นเวลา 90 วัน เพื่อสังเกตพฤติกรรมเฟส ระยะยาว

จากผลการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวของเชื้อเพลิง ผสม CHSD-PEPFAD-AhE เชื้อเพลิงที่สนใจจะถูกเลือกเพื่อ ทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลว ได้แก่ จุดขุ่น (cloud point) จุดไหลเท (pour point) และความหนืดจลนศาสตร์ ที่ 40 °C (kinematic viscosity) โดยเชื้อเพลิงถูกส่งทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM D2500 ASTM D97 และ ASTM D445 ตามลำดับ ที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับเชื้อเพลิงทดสอบจะถูก เตรียมตามสัดส่วนที่กำหนด แต่ละครั้งมีน้ำหนักรวม 500 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ METTLER รุ่น AL204 ความละเอียด 0.1 กรัม สำหรับการเตรียมเชื้อเพลิงผสม PEPFAD-CHSD องค์ประกอบแต่ละอย่างจะถูกชั่งตามสัดส่วน ในบีกเกอร์กวนที่มีฝาปิด ขนาด 1 ลิตร กวนผสมด้วยใบกวน ชนิด 6-blade disk turbine (เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร) ที่ความเร็วรอบ 250-300 rpm และอุณหภูมิ 50 ± 5 °C เป็นเวลา 10 นาที สำหรับการเตรียมดีโซฮอล์ CHSD-PEPFAD-AhE ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ผสม ส่วนกลั่นกรดไฮปาล์มเอสเทอร์ไฟต์บางส่วนกับเอทานอลชนิด ไม่มีน้ำตามสัดส่วน โดยองค์ประกอบแต่ละอย่างจะถูกชั่งใน บีกเกอร์กวนที่มีฝาปิดสนิทขนาด 1 ลิตร อุณหภูมิให้ความ ร้อนที่อุณหภูมิ 50 ± 5 °C และกวนผสมด้วยแมกเนติกบาร์ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร และยาว 50 มิลลิเมตร) ที่ ความเร็วรอบ 250-300 rpm เป็นเวลา 5 นาที และขั้นตอน ที่ 2 เดิมดีเซลลงไปตามสัดส่วน และกวนผสมด้วย ใบกวน ชนิด 6-blade disk turbine (เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร) ที่ความเร็วรอบ 250-300 rpm อุณหภูมิ 50 ± 5 °C เป็นเวลา 10 นาที

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35
วันที่ 20-22 กรกฎาคม พ.ศ. 2564 จังหวัดนครปฐม

AEC0002



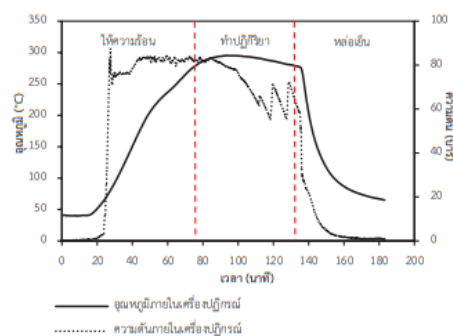
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 การผลิตส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟต์บางส่วน

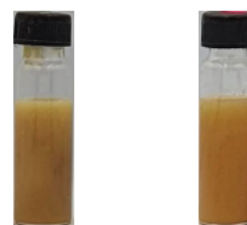
สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอนของการปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวของกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวจากส่วนกลั่นกรดไขมันด้วยกระบวนการเอทานอลเอซิสบางส่วนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเพิ่มสัดส่วนการนำมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล การปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวทำได้โดยการเปลี่ยนองค์ประกอบของกรดไขมันอิสระโมเลกุลยาวบางส่วนไปเป็นเอสเตอร์ของกรดไขมัน ซึ่งมีคุณสมบัติการเป็นของเหลวที่ดีกว่า สำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวด้วยกระบวนการเอทานอลเอซิสบางส่วนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการนำส่วนกลั่นกรดไขมันมาทำปฏิกิริยากับเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ขนาด 2 ลิตร ที่อัตราส่วนโดยโมลของ PFAD:AHe เท่ากับ 1:1 ทำปฏิกิริยา 60 นาที เริ่มที่อุณหภูมิ 275 °C ความดัน 70 บาร์ โดยตลอดช่วงทำปฏิกิริยาพบว่า มีอุณหภูมิเฉลี่ย 288.5 ± 5.6 °C และความดันเฉลี่ย 72.2 ± 8.6 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 1 สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาผ่านการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการล้าง ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟต์บางส่วน ด้วยวิธี Thin-Layer Chromatography/Flame Ionization Detector พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีองค์ประกอบของเอสเตอร์ของกรดไขมัน กรดไขมันอิสระโมเลกุลยาว ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ เท่ากับ 71.55 26.78 1.09 0.29 และ 0.29 wt.% ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะเฟสเป็นไขที่อุณหภูมิห้องเช่นเดียวกับส่วนกลั่นกรดไขมัน ดังแสดงในรูปที่ 2 อย่างไรก็ตาม จะสังเกตได้ว่าส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟต์บางส่วนมีลักษณะของไขที่อ่อนกว่าส่วนกลั่นกรดไขมัน

3.2 พฤติกรรมเฟสระยะยาวของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AHe

สำหรับการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AHe เพื่อประเมินขั้นต้นว่าส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟต์บางส่วนสามารถใช้เป็นส่วนผสมทดแทนดีเซลในสัดส่วนที่สูงขึ้นและยังคงคุณสมบัติการเป็น



รูปที่ 1 กราฟแสดงอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์



(ก) (ข)

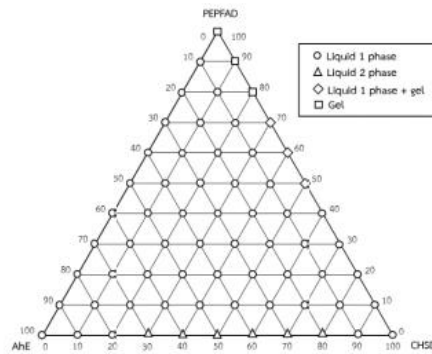
รูปที่ 2 ลักษณะเฟส (ก) PFAD (ข) PEPFAD

อิมัลซิไฟเออร์ที่ดีได้หรือไม่ องค์ประกอบแต่ละอย่างถูกผสมด้วยวิธีการเขย่าอย่างง่ายในช่วง 0-100 wt.% ที่ทุกๆ 10 wt.% และวางนิ่งที่บรรยากาศปกติที่มีอุณหภูมิภายในช่วง 22-34 °C เป็นเวลา 90 วัน เพื่อสังเกตพฤติกรรมเฟสระยะยาว ดังแสดงเฟสไดอะแกรมในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟต์บางส่วนสามารถผสมตรงกับดีเซลและเอทานอลชนิดไม่มีน้ำเป็นของเหลวเฟสเดียวและมีความเสถียรระยะยาวได้สูงสุด 40 และ 90 wt.% ตามลำดับ และผสมเป็นส่วนผสมดีโซลล์ CHSD-PEPFAD-AHe ได้สูงสุด 80 wt.% ดังแสดงในรูปที่ 4 จากผลการทดลองสามารถยืนยันได้ว่าการทำเอสเตอร์ไฟต์บางส่วนสามารถเพิ่มสัดส่วนการใช้กรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวจากส่วนกลั่นกรดไขมันเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลได้จริงเมื่อเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า [13,21.] นอกจากนี้ จะเห็นว่าการผสมเอทานอลชนิดไม่มีน้ำกับดีเซลจะเกิดการแยกเฟสในช่วง 20-70 wt.% และเมื่อผสมส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟต์บางส่วนตั้งแต่ 10 wt.% ขึ้นไป จะไม่มีการแยกเฟสเกิดขึ้น ซึ่งช่วยยืนยันได้ชัดเจนว่า

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35
วันที่ 20 -22 กรกฎาคม พ.ศ. 2564 จังหวัดนครปฐม
AEC0002



ส่วนก้านกรดโซปาล์มเอสเทอร์ไพด์บางส่วนสามารถใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์สำหรับผลิตดีโซซอลส์ของเอทานอลชนิดไม่มีน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AhE



(ก) เชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD



(ข) เชื้อเพลิงผสม PEPFAD-AhE



(ค) เชื้อเพลิงผสมCHSD-PEPFAD-AhE ที่ PEPFAD 80 wt.%

หมายเหตุ : X-Y-Z คือสัดส่วนการผสมในหน่วย wt.% ของ CHSD, PEPFAD และ AhE ตามลำดับ

รูปที่ 4 ลักษณะเฟสของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AhE

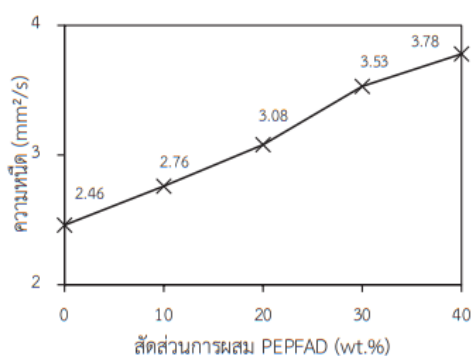
3.3 คุณสมบัติการเป็นของเหลวของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AhE ที่สนใจ

จากผลการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาวของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AhE เชื้อเพลิงผสมCHSD-PEPFAD(10-40) และดีโซซอลส์ CHSD-PEPFAD(10-90)-AhE10 (ตัวเลขที่ตามหลัง PEPFAD และ AhE คือสัดส่วนการผสมกับดีเซลในหน่วย wt.%) ถูกเลือกเพื่อทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลว (จุดขุ่น จุดไหลเท และความหนืดจลนศาสตร์) เปรียบเทียบกับดีเซล และมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทย ดังแสดงผลในรูปที่ 5-8

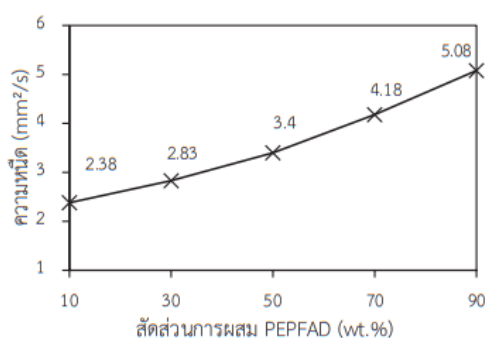
สำหรับจุดขุ่นและจุดไหลเทเป็นคุณสมบัติการเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ (cold flow property) ที่สำคัญอันดับแรก ซึ่งบ่งบอกศักยภาพการใช้เชื้อเพลิงเหลวภายใต้สภาพอากาศต่างๆ จุดขุ่นเป็นอุณหภูมิที่เชื้อเพลิงเริ่มตกผลึกเป็นฝ้าน ในขณะที่ จุดไหลเท คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงยังเป็นของเหลวพอจะไหลได้ [13] สำหรับมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วของประเทศไทยได้กำหนดจุดไหลเทไม่เกิน 10 °C และดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทยไม่ได้กำหนดไว้ จากผลการทดลองจะเห็นว่า จุดขุ่นและจุดไหลเทของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD(10-40) ดังแสดงในรูปที่ 5 ที่สัดส่วนการผสมส่วนก้านกรดโซปาล์มเอสเทอร์ไพด์บางส่วน ≤ 20 wt.% จุดขุ่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามสัดส่วนการผสมส่วนก้านกรดโซปาล์มเอสเทอร์ไพด์บางส่วน (+2°C ถึง +3°C เทียบกับดีเซล) ในขณะที่ จุดไหลเทไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อผสมส่วนก้านกรดโซปาล์มเอสเทอร์ไพด์บางส่วน ≥ 30 wt.% จุดขุ่นและจุดไหลเทเพิ่มขึ้นอย่างทันที่สำหรับจุดขุ่นและจุดไหลเทของดีโซซอลส์ CHSD-PEPFAD(10-90)-AhE10 ดังแสดงในรูปที่ 6 จะเห็นว่า ที่สัดส่วนการผสมส่วนก้านกรดโซปาล์มเอสเทอร์ไพด์บางส่วน ≤ 70 wt.% จุดขุ่นและจุดไหลเทเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามสัดส่วนการผสมส่วนก้านกรดโซปาล์มเอสเทอร์ไพด์บางส่วน และใกล้เคียงและสูงกว่าดีเซลเล็กน้อย (0 °C ถึง +7 °C และ +1 °C ถึง +8 °C ตามลำดับเทียบกับดีเซล) และเมื่อผสมส่วนก้านกรดโซปาล์มเอสเทอร์ไพด์บางส่วน 90 wt.% จุดขุ่นและจุดไหลเทเพิ่มขึ้นอย่างทันที่ นอกจากนี้ จากผลการทดลองจะเห็นว่าเอทานอล

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35
วันที่ 20-22 กรกฎาคม พ.ศ. 2564 จังหวัดนครปฐม

AEC0002



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าความหนืดจลนศาสตร์ ที่ 40 °C
ของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD



รูปที่ 8 กราฟแสดงค่าความหนืดจลนศาสตร์ ที่ 40°C
ของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD-AhE10

4 สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นต้นของการปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวของกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวจากส่วนกลั่นกรดไขมันด้วยกระบวนการเอทานอลโซลชีบางส่วนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเพิ่มสัดส่วนการนำมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล สำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวด้วยกระบวนการเอทานอลโซลชีบางส่วนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการนำส่วนกลั่นกรดไขมันทำปฏิกิริยากับเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ (Anhydrous Ethanol: AhE) ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะขนาด 2 ลิตร ที่อัตราส่วนโดยโมลของ PFAD:AhE เท่ากับ 1:1 อุณหภูมิเฉลี่ย 288.5 ± 5.6 °C ความดันเฉลี่ย 72.2 ± 8.6 บาร์

และเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟต์บางส่วนด้วยวิธี Thin-Layer Chromatography/Flame Ionization Detector พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีองค์ประกอบของเอสเตอร์ของกรดไขมันและกรดไขมันอิสระโมเลกุลยาว เท่ากับ 71.55 และ 26.78 wt.% ตามลำดับ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาผ่านการอุ่นไล่แอลกอฮอล์และน้ำ โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการล้างเพื่อนำมาศึกษาการใช้เป็นส่วนผสมดีเซล/ดีโซฮอล์ของเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ โดยเชื้อเพลิงผสมถูกเตรียมที่สัดส่วนต่างๆ ของแต่ละองค์ประกอบในช่วง 0-100 wt.% ที่ทุกๆ 10 wt.% ด้วยการผสมอย่างง่าย และนำไปวางนึ่งที่บรรยากาศปกติที่มีอุณหภูมิรายวันในช่วง 22-34 °C เป็นระยะเวลา 90 วัน เพื่อสังเกตพฤติกรรมเฟสระยะยาว ผลการศึกษาพบว่า ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟต์บางส่วนสามารถผสมตรงกับดีเซลหมุนเร็วเกิดการค้ำและเอทานอลชนิดไม่มีน้ำเป็นของเหลวเฟสเดียวและมีความเสถียรระยะยาวสูงสุด 40 และ 90 wt.% ตามลำดับ และผสมเป็นส่วนผสมดีโซฮอล์ CHSD-PEPFAD-AhE ได้สูงสุด 80 wt.% ในขณะเดียวกัน ส่วนกลั่นกรดไขมันเอสเตอร์ไฟต์บางส่วนยังสามารถใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์สำหรับผลิตดีโซฮอล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ได้ทดสอบคุณสมบัติการเป็นของเหลว (จุดขุ่น จุดไหลเท และความหนืดจลนศาสตร์) ของเชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD(10-40) และ ดีโซฮอล์ CHSD-PEPFAD(10-90)-AhE10 พบว่า เชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD(10-30) มีค่าจุดขุ่นและจุดไหลเท +2°C ถึง +11°C และ 0°C ถึง +16°C เทียบกับดีเซล ตามลำดับ ค่าความหนืดจลนศาสตร์สูงขึ้น 12.2% ถึง 43.5% เทียบกับดีเซล และดีโซฮอล์ CHSD-PEPFAD(10-70)-AhE10 มีค่าจุดขุ่นและจุดไหลเท 0°C ถึง +7°C และ -1°C ถึง +8°C เทียบกับดีเซล ตามลำดับ ค่าความหนืดจลนศาสตร์สูงขึ้น -3.2% ถึง 70.0% เทียบกับดีเซล มีคุณสมบัติการเป็นของเหลวผ่านมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วและดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตรของประเทศไทย ในขณะที่เชื้อเพลิงผสม CHSD-PEPFAD40 มีค่าจุดขุ่นและจุดไหลเท +15°C และ +23°C เทียบกับดีเซล ตามลำดับ ค่าความหนืดจลนศาสตร์สูงขึ้น 53.7 % เทียบกับดีเซล และดีโซฮอล์ CHSD-PEPFAD90-AhE10 มีค่าจุดขุ่นและจุดไหลเท +17°C

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35 วันที่ 20 -22 กรกฎาคม พ.ศ. 2564 จังหวัดนครปฐม

AEC0002



และ +24°C เทียบกับดีเซล ตามลำดับ ค่าความหนืด จลนศาสตร์สูงขึ้น 107.5 % เทียบกับดีเซล มีคุณสมบัติการ เป็นของเหลวผ่านมาตรฐานดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ การเกษตรของประเทศไทย โดยสรุป งานวิจัยนี้ค้นพบโอกาส ที่ดีของการเพิ่มศักยภาพการนำกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาว จากส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์มมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล อย่างไรก็ดี ยังต้องมีการศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญ อื่นๆ ต่อไป

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงาน คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้กรอบวิจัยการพัฒนา พลังงานทดแทน และการประยุกต์ใช้งานจริง เพื่อนำไปสู่ ชุมชนสีเขียว และเงินรายได้มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และทุนบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

6 เอกสารอ้างอิง

[1]Atabani,A.E.,Silitonga,A.S.,Badruddin,I.A.,Mahlia,T. M.I.,Masjuki,H.H. and Mekhilef,S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.16, May 2012, pp.2070–2093.

[2] Leevijit, T. , Prateepchaikul, G. , Maliwan, K. , Mompiboon, P. and Eiadtrong, S. 2017, Comparative properties and utilization of unpreheated degummed/esterified mixed crude palm oil-diesel blends in an agricultural engine, Renewable Energy, Vol.101, February 2017, pp. 82-89

[3] Leevijit, T., Prateepchaikul, G., Maliwan, K., Mompiboon, P., Okaew, S. and Eiadtrong, S. 2016, Production, properties, and utilization of degummed/ esterified mixed crude palm oil-diesel

blends in an automotive engine without preheating, Fuel, Vol.182, October 2016, pp. 509-516.

[4] Leevijit, T. and Prateepchaikul, G. 2011, Comparative performance and emissions of IDI-turbo automotive diesel engine operated using degummed, deacidified mixed crude palm oil-diesel blends, Fuel, Vol.90, April 2011, pp. 1487-1491.

[5] Yilmaz, N. 2012, Comparative analysis of biodiesel- ethanol- diesel and biodiesel-methanol- diesel blends in a diesel engine. Energy, Vol.40, April 2012, pp. 210-213.

[6] Yilmaz, N. and Vigil, F. 2014, Potential use of a blend of diesel, biodiesel, alcohols and vegetable oil in compression ignition engines, Fuel, Vol.124, May 2014, pp. 168–172.

[7] He,B.Q.,Shuai,S.J.,Wang,J.X. and He,H. (2003). The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from a diesel engine, Atmospheric Environment, Vol.37, November 2003, pp.4965–4971.

[8] Szybist, J.P., Song, J., Alam, M., and Boehman, A.L. (2006). Biodiesel combustion, emissions and emission control, Fuel Processing Technology, vol.88, July 2007, pp.679-691.

[9] เอกชัย สุธีรศักดิ์ และเจริญ ชินวานิชย์เจริญ (2018). สมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ ปาล์มเอทิลเอสเทอร์,วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 25(2), 2018, pp.217-230.

[10] ทวีช จิตรสมบูรณ์. โอกาสและปัญหาจากการใช้น้ำมัน พืชแทนน้ำมันดีเซลในประเทศไทย, การประชุมวิชาการ เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15, มหาวิทยาลัยสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา.

[11] คณะกรรมการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร (2545). พลังงานทดแทน เอทานอลและไบโอดีเซล, หนังสือเฉลิมพระ เกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เนื่องในวโรกาสวันเฉลิม พระชนมพรรษา 5 ธันวาคม 2545.

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35
วันที่ 20 -22 กรกฎาคม พ.ศ. 2564 จังหวัดนครปฐม

AEC0002



- [12] คงเดช พะสีนาม และวีรชัย อาจหาญ (2559). การศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบกลางเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล, วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 8, ธันวาคม 2559, pp. 115-128.
- [13]Eiadtrong,S.,Maliwan,K.,Prateepchaikul,G.,Kattiyawan,T.,Thephsorn,P. and Leevijita,T. (2019). Preparation, important fuel properties, and comparative use of un-preheated palm fatty acid distillate-diesel blends in a single cylinder diesel engine, *Renewable Energy*, Vol.134, April 2019, pp.1089-1098.
- [14]Lapuerta, M. , Garcia-Contreras, R. , Campos-Fernandez, J. and Pilar Dorado, M. (2010). Stability, lubricity, viscosity, and cold-flow properties of alcohol/diesel blends, *Energy & Fuels*, Vol.24, July 2010, pp. 4497-4502.
- [15]Lapuerta, M., Armas, O. and Garcia-Contreras, R. (2009). Effects of ethanol on blending stability and diesel engine emissions, *Energy & Fuels*, Vol.23, July 2009, pp. 4343-4354.
- [16]Kantama, A., Narataruksa, P., Hunpinyo, P. and Prapainainar, C. (2015). Techno-economic assessment of heat integrated process for hydrogenated renewable diesel production from palm fatty acid distillate, *Biomass Bioenergy*, Vol.83, December 2015, pp. 448-459.
- [17] ทนงศักดิ์ ประสิทธิ์ และ กฤษ สมนึก (2560). กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มแบบหมุนวนด้วยท่อผสมแบบสถิตชนิดขดเกลียว, วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม, 1, กรกฎาคม 2560, หน้า 99-108.
- [18] สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม และอาทิตย์ รัชชีสันติวานนท์ (2546). การสกัดสารด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด Supercritical Fluid Extraction, วารสารศูนย์บริการวิชาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 11, มิถุนายน 2546, หน้า 37-42.
- [19] เจษฎา สุขสัมฤทธิ์, อภาภรณ์ สุกการะเวก, วิทยา ปั้นสุวรรณ และชนากานต์ เพิ่มฉลาด (2558). การผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยกระบวนการเอสเทอร์ิเฟเคชันร่วมกับสภาวะเมทานอลเหนือจุดวิกฤต, วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 25, 2558, pp. 138-144.
- [20] จักรพงษ์ ไชยบุรี (2548). การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ Biodiesel Production, วารสารปาริชาติ, 17, มีนาคม 2548, หน้า 1-7.
- [21] Malvade, A.V., and Satpute, S.T. (2013). Production of Palm fatty acid distillate biodiesel and effects of its blends on performance of single cylinder diesel engine, *Procedia Engineering*, vol.64, 2013, pp.1485-1494.
- [22] Kumar, S. , Cho, J. H. , Park, J. , Moon, I. (2013). Advances in diesel-alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.22, June 2013, pp. 46-72.
- [23] Chotwichien, A. , Luengnaruemitchai, A. , Jai-In, S. (2009). Utilization of palm oil alkyl esters as an additive in ethanol-diesel and butanol-diesel blends, *Fuel*, Vol.88, March 2009, pp.1618-1624.




ภาคผนวก ฅ

(อนุสิทธิบัตร)

อนุสิทธิบัตร

ชื่อผลงาน “เครื่องผลิตกรดไขมันอิสระและส่วนผสมดีเซล จากน้ำมันชีวภาพและกรดไขมันอิสระ”

 คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	สำหรับเจ้าหน้าที่														
<input type="checkbox"/> การประดิษฐ์ <input type="checkbox"/> การออกแบบผลิตภัณฑ์ <input checked="" type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535 และ พระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>วันรับคำขอ ๒๑ ธ.ค. ๒๕๖๓</td> <td>เลขที่คำขอ</td> </tr> <tr> <td>วันยื่นคำขอ 21 ธ.ค. 2563</td> <td>2003๐033๗5</td> </tr> <tr> <td colspan="2">สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์ ประเภทผลิตภัณฑ์</td> </tr> <tr> <td>วันประกาศโฆษณา</td> <td>เลขที่ประกาศโฆษณา</td> </tr> <tr> <td>วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร</td> <td>เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่</td> </tr> </table>	วันรับคำขอ ๒๑ ธ.ค. ๒๕๖๓	เลขที่คำขอ	วันยื่นคำขอ 21 ธ.ค. 2563	2003๐033๗5	สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ		ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์ ประเภทผลิตภัณฑ์		วันประกาศโฆษณา	เลขที่ประกาศโฆษณา	วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่	
วันรับคำขอ ๒๑ ธ.ค. ๒๕๖๓	เลขที่คำขอ														
วันยื่นคำขอ 21 ธ.ค. 2563	2003๐033๗5														
สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ															
ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์ ประเภทผลิตภัณฑ์															
วันประกาศโฆษณา	เลขที่ประกาศโฆษณา														
วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร														
ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่															
1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์ เครื่องผลิตภัณฑ์ชิ้นอิสระและส่วนผสมดีเซล จากน้ำมันชีวภาพและกรดไขมันอิสระ															
2. คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอลำดับที่ ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน															
3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร <input type="checkbox"/> บุคคลธรรมดา <input type="checkbox"/> นิติบุคคล <input checked="" type="checkbox"/> หน่วยงานรัฐ <input type="checkbox"/> มูลนิธิ <input type="checkbox"/> อื่นๆ ชื่อ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อยู่ อาคารอำนวยการอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคใต้ (จ.สงขลา) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ส่วนขยาย หมู่ 6 ตำบล/แขวง ห้วยใหญ่ อำเภอ/เขต หาดใหญ่ จังหวัด สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90110 ประเทศ ไทย อีเมล sawarod49@gmail.com เลขประจำตัวประชาชน <input type="checkbox"/> เลขทะเบียนนิติบุคคล <input checked="" type="checkbox"/> เลขประจำตัวผู้เสียภาษี <input type="checkbox"/> <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>0</td><td>9</td><td>9</td><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td><td>8</td><td>0</td><td>8</td><td>6</td><td>0</td></tr> </table> <input type="checkbox"/> เพิ่มเติม (ตั้งแนบ) ในกรณีที่ยื่นมา สือสารกับท่าน ท่านสะดวกใช้งาน <input type="checkbox"/> อีเมลผู้ขอ <input checked="" type="checkbox"/> อีเมลตัวแทน		0	9	9	4	0	0	0	5	8	0	8	6	0	
0	9	9	4	0	0	0	5	8	0	8	6	0			
4. สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร <input type="checkbox"/> ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ <input checked="" type="checkbox"/> ผู้รับโอน <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น															
5. ตัวแทน (ถ้ามี) ชื่อ นางสาวเพชรดา สัตยากุล ที่อยู่ ศูนย์ทรัพย์สินทางปัญญา อาคารอำนวยการอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคใต้ (จ.สงขลา) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ส่วนขยาย หมู่ 6 ตำบล/แขวง ห้วยใหญ่ อำเภอ/เขต หาดใหญ่ จังหวัด สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90110 ประเทศ ไทย อีเมล phetrada.sk@gmail.com เลขประจำตัวประชาชน <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>9</td><td>2</td><td>0</td><td>6</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>4</td><td>8</td><td>1</td><td>8</td></tr> </table> <input checked="" type="checkbox"/> เพิ่มเติม (ตั้งแนบ)		1	9	2	0	6	0	0	1	0	4	8	1	8	
1	9	2	0	6	0	0	1	0	4	8	1	8			
6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ <input type="checkbox"/> ชื่อและที่อยู่เดียวกับผู้ขอ ชื่อ นายธีระยุทธ ทรัพย์สิน ที่อยู่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบล/แขวง คอหงส์ อำเภอ/เขต หาดใหญ่ จังหวัด สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90110 ประเทศ ไทย อีเมล leetheerayut@yahoo.com เลขประจำตัวประชาชน <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>3</td><td>9</td><td>3</td><td>0</td><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>7</td><td>2</td><td>6</td><td>0</td><td>4</td><td>0</td></tr> </table> <input checked="" type="checkbox"/> เพิ่มเติม (ตั้งแนบ)		3	9	3	0	5	0	0	7	2	6	0	4	0	
3	9	3	0	5	0	0	7	2	6	0	4	0			
7. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้อธิบายได้ว่าคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตร เลขที่ วันยื่น เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ <input type="checkbox"/> คำขอเดิมมีการประดิษฐ์หลายอย่าง <input type="checkbox"/> ถูกคัดค้านเนื่องจากผู้ขอไม่มีสิทธิ <input type="checkbox"/> ขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ															
หมายเหตุ ในกรณีที่มีอายุรายละเอียดครบถ้วน ให้จัดทำเป็นเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้โดยระบุหมายเลขกำกับชื่อและหัวข้อที่แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมดังกล่าวด้วย															
สำหรับเจ้าหน้าที่															
จำแนกประเภทสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร <input type="checkbox"/> กลุ่มวิศวกรรม <input type="checkbox"/> กลุ่มเคมี <input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ <input type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (วิศวกรรม) <input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (เคมีเทคนิค) <input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ (ออกแบบผลิตภัณฑ์ 1) <input type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร (วิศวกรรม) สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ไฟฟ้า) <input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ปิโตรเคมี) <input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ (ออกแบบผลิตภัณฑ์ 2) <input type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร (เคมี) สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (ฟิสิกส์) <input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการประดิษฐ์ (เทคโนโลยีชีวภาพ) <input type="checkbox"/> สิทธิบัตรการออกแบบ (ออกแบบผลิตภัณฑ์ 3)															

8. การยื่นคำขออนุญาตออกนอกราชอาณาจักร <input type="checkbox"/> PCT <input type="checkbox"/> เพิ่มเติม (ตั้งแบบ)					
วันยื่นคำขอ	เลขที่คำขอ	ประเทศ	สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	สถานะคำขอ	
8.1					
8.2					
8.3					
8.4 <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอสิทธิให้ถือว่าได้ยื่นคำขอนี้ในวันที่ได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรในต่างประเทศเป็นครั้งแรกโดย <input type="checkbox"/> ได้ยื่นเอกสารหลักฐานพร้อมคำขอนี้ <input type="checkbox"/> ขอยื่นเอกสารหลักฐานหลังจากวันยื่นคำขอนี้					
9. การแสดงการประดิษฐ์หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรได้แสดงการประดิษฐ์ที่หน่วยงานของรัฐเป็นผู้จัด วันแสดง วันเปิดงานแสดง ผู้จัด					
10. การประดิษฐ์เกี่ยวกับจุลชีพ					
10.1 เลขทะเบียนฝากเก็บ	10.2 วันที่ฝากเก็บ	10.3 สถาบันฝากเก็บ/ประเทศ			
11. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอยื่นเอกสารภาษาต่างประเทศก่อนในวันยื่นคำขอนี้ และจะจัดยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ที่จัดทำเป็นภาษาไทยภายใน 90 วัน นับจากวันยื่นคำขอนี้ โดยขอเป็นภาษาไทย <input type="checkbox"/> อังกฤษ <input type="checkbox"/> ฝรั่งเศส <input type="checkbox"/> เยอรมัน <input type="checkbox"/> ญี่ปุ่น <input type="checkbox"/> อื่นๆ					
12. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้อธิบดีประกาศโฆษณาคำขอรับสิทธิบัตร หรือรับจดทะเบียน และประกาศโฆษณาอนุสิทธิบัตรนี้ หลังจากวันที่ <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอให้ใช้รูปเขียนหมายเลข ในการประกาศโฆษณา					
13. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ประกอบด้วย					
ก. แบบพิมพ์คำขอ	3	หน้า	14. เอกสารประกอบคำขอ <input checked="" type="checkbox"/> เอกสารแสดงสิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร <input type="checkbox"/> หนังสือรับรองการแสดงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์ <input checked="" type="checkbox"/> หนังสือมอบอำนาจ <input type="checkbox"/> เอกสารรายละเอียดเกี่ยวกับจุลชีพ <input type="checkbox"/> เอกสารการขอรับวันยื่นคำขอในต่างประเทศเป็นวันยื่นคำขอในประเทศไทย <input type="checkbox"/> เอกสารขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ <input checked="" type="checkbox"/> เอกสารอื่นๆ		
ข. รายละเอียดการประดิษฐ์ หรือคำพรรณนาแบบผลิตภัณฑ์	12	หน้า			
ค. ข้อถ้อยสิทธิ	3	หน้า			
ง. รูปเขียน	รูป	หน้า			
จ. ภาพแสดงแบบผลิตภัณฑ์ <input checked="" type="checkbox"/> รูปเขียน	4	รูป 4			หน้า
<input type="checkbox"/> ภาพถ่าย		รูป			หน้า
ฉ. บทสรุปการประดิษฐ์	1	หน้า			
15. ข้าพเจ้าขอรับรองว่า <input checked="" type="checkbox"/> การประดิษฐ์นี้ไม่เคยยื่นขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรมาก่อน <input type="checkbox"/> การประดิษฐ์นี้ได้พัฒนาปรับปรุงมาจาก					
16. ลายมือชื่อ <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร <input checked="" type="checkbox"/> ตัวแทน นางสาวเพชรดา สัตยากุล					

หมายเหตุ บุคคลใดยื่นขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรืออนุสิทธิบัตร โดยการแสดงข้อความอันเป็นเท็จแก่พนักงานเจ้าหน้าที่ เพื่อให้ได้ไปซึ่งสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร ต้องระวางโทษ จำคุกไม่เกินหกเดือน หรือปรับไม่เกินห้าพันบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

ใบต่อแนบท้าย แบบ สป/สผ/อสป/001-ก

5. ตัวแทน

ชื่อ นายจิตติยุทธ เขี่ยมยกกุล หมายเลขตัวแทน 2266

ที่อยู่ ศูนย์ทรัพย์สินทางปัญญา อาคารอำนวยการอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคใต้ (จ.สงขลา) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ส่วนขยาย หมู่ 6

ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110 ประเทศไทย

อีเมล jittiyut.y@gmail.com

เลขประจำตัวประชาชน 3 9599 00384 18 7

6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์

2. นายศุภวุฒิ เขี่ยมเจริญสุข หมายเลขบัตรประชาชน 1 8399 00208 79 1

ที่อยู่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลคลองสี้

อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

3. นายศุภกิจ เขียดตรง หมายเลขบัตรประชาชน 1 9299 00242 27 1

ที่อยู่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลคลองสี้

อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

4. นายศรัทธา ศรีวีระเดชไพศาล หมายเลขบัตรประชาชน 1 8101 00039 56 2

ที่อยู่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลคลองสี้

อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

5. นายกิตติพันธ์ มลิวรรณ หมายเลขบัตรประชาชน 3 9099 00022 54 4

ที่อยู่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลคลองสี้

อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

6. นายฐานันดรศักดิ์ เทพญา หมายเลขบัตรประชาชน 3 9401 00391 11 3

ที่อยู่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลคลองสี้

อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายสุภวุฒิ เปี่ยมเจริญสุข

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6110120060

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2556

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนการศึกษาประเภททุนบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ ระดับปริญญาโท คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

วิศวกร 3 สปข.ฝปร.ทภก.

ท่าอากาศยานภูเก็ต 222 หมู่ 6 ตำบลไม้ขาว อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต 83110

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

สุภวุฒิ เปี่ยมเจริญสุข, สุภกิจ เอียดตรง, ปริญญา หม่อมพิบูลย์, ฐานันดรศักดิ์ เทพยา และ ชีระยุทธ หลีวิจิตร. 2566. การใช้ส่วนกลั่นกรดไขมันที่ผ่านการเอทานอไลซิสบางส่วนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นส่วนผสมดีเซล/ดีโซฮอล์. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. ปีที่ 15 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กันยายน-ธันวาคม พ.ศ.2566.

สุภวุฒิ เปี่ยมเจริญสุข, สุภกิจ เอียดตรง, ฐานันดรศักดิ์ เทพยา และ ชีระยุทธ หลีวิจิตร. 2564. การศึกษาขั้นตอนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นของเหลวของส่วนผสมดีโซฮอล์จากกรดไขมันปาล์มโมเลกุลยาวด้วยกระบวนการเอทานอไลซิสบางส่วนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35. 20-22 กรกฎาคม 2564. จังหวัดนครปฐม

อนุสิทธิบัตร ชื่อผลงาน “เครื่องผลิตกรดไขมันอิสระและส่วนผสมดีเซล จากน้ำมันชีวภาพและกรดไขมันอิสระ” เลขที่คำขออนุสิทธิบัตร 2003003375