

การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตเชื้อเพลิงเหลว ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขมัน-เอทานอล Feasibility study for producing liquid fuel of diesel-palm fatty acid distillate-ethanol

ศุภกิจ เอียดตรง*, สมเกียรติ ลักษณะกะชา, ศิวกร เพ็ชรรัตน์มณี, กิตตินันท์ มลิวรรณ และธีระยุทธ หลีวีจิตร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา 90112

*ติดต่อ: suppakit_4390@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 074-287222, เบอร์โทรสาร 074-558830

บทคัดย่อ

ส่วนกลั่นกรดไขมันเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตน้ำมันปาล์มบริโภค มีลักษณะทางกายภาพเป็นไขอ่อนสีเหลืองที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาแนวทางใช้ส่วนกลั่นกรดไขมันเป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลแบบใหม่ งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตเชื้อเพลิงเหลวของส่วนผสม ดีเซล-ส่วนกลั่นกรดไขมัน-เอทานอลชนิดไม่มีน้ำ (99.9%) และมีน้ำ (95%) โดยเตรียมเชื้อเพลิงผสมที่สัดส่วนต่างๆ ของแต่ละองค์ประกอบในช่วง 0-100 wt.% ที่ทุกๆ 10 wt.% ด้วยการผสมอย่างง่าย และนำไปวางทิ้งที่บรรยากาศปกติ ซึ่งมีอุณหภูมิรายวันในช่วง 22-34 °C เป็นระยะเวลา 90 วัน เพื่อสังเกตพฤติกรรมเฟสระยะยาว ผลการศึกษาพบว่า วิธีการผลิตอย่างง่ายสามารถผลิตเชื้อเพลิงผสมที่มีเสถียรภาพการเป็นของเหลวระยะยาวได้จริง ส่วนกลั่นกรดไขมันสามารถละลายโดยตรงในดีเซลได้สูงสุด 10 wt.% และสามารถผสมกับดีเซล-เอทานอลทั้งสองชนิด ได้สูงสุด 50 wt.% เอทานอลทั้งสองชนิดสามารถทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย และสามารถปรับปรุงการเป็นของเหลวของส่วนกลั่นกรดไขมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ส่วนกลั่นกรดไขมันสามารถทำหน้าที่เป็นตัวประสาน และสามารถปรับปรุงความสามารถในการละลายของดีเซลกับเอทานอลทั้งสองชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ได้มีการวัดคุณสมบัติการกักความร้อนของแฉกตามมาตรฐาน ASTM D130 ของเชื้อเพลิงเหลวที่มีความเป็นกรดสูงคือ ส่วนผสม 50 wt.% ส่วนกลั่นกรดไขมัน-50 wt.% เอทานอล เปรียบเทียบกับดีเซลรอบสูงด้วย ผลการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงผสมและดีเซลรอบสูงมีคุณสมบัติการกักความร้อนของแฉก No. 1a เหมือนกัน ดังนั้นส่วนกลั่นกรดไขมันและเอทานอลเป็นเพียงกรดอ่อน และไม่ส่งผลกระทบต่อการกักความร้อนที่รุนแรงเช่นเดียวกับดีเซลรอบสูง โดยสรุป งานวิจัยนี้ค้นพบโอกาสที่ดีของการนำส่วนกลั่นกรดไขมันและเอทานอลทั้งสองชนิดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวชนิดใหม่เพื่อใช้ทดแทนดีเซลต่อไป

คำหลัก: เชื้อเพลิงทดแทนดีเซล, ไบโอดีเซล, ดีโซฮอล์, ส่วนกลั่นกรดไขมัน, เอทานอล

Abstract

Palm fatty acid distillate (PFAD) is a by-product of palm oil industry. It appears a white-yellow color and a soft-solid phase at room temperature. To find a new method for utilization of PFAD as a diesel substitute, this research studied the feasibility for producing liquid fuel of diesel-PFAD-anhydrous (99.9%) and hydrous (95%) ethanol. The ternary blends at various weight ratios of each component in the range of 0-100 wt.% in 10 wt.% increments were prepared by simple splash blending and kept motionless at normal ambience having daily temperature in the range of 22-34 °C for 90 days to observe the long-term phase behavior. The results revealed that the easy production method was able to really produce the liquid fuel with good long-term phase stability. PFAD was able to be directly dissolved in diesel up to 10 wt.% and was able to be blended with diesel-both grades of ethanol up to 50 wt.%. Both grades of ethanol were able to act as a solvent and were able to effectively improve the liquid phase of PFAD while PFAD was able to act as a co-solvent and was able to effectively improve the solubility of diesel with both grades of ethanol. In addition, copper strip

corrosion properties according to ASTM D130 test method of the liquid blends containing high acid values of 50 wt.% PFAD-50 wt.% ethanol were also measured and compared to high speed diesel (HSD). The results revealed that the blends and HSD had the same copper strip corrosion properties of No. 1a. Thus, PFAD and ethanol were weak acidic substances and did not cause the excessive corrosion like HSD. In conclusion, this research discovered the great opportunities for next utilization of PFAD and both grades of ethanol as a new diesel substitute.

Keywords: Diesel substitute, Biodiesel, Diesohol, Palm fatty acid distillation, Ethanol.

1. บทนำ

การพัฒนาพลังงานทางเลือกและเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลจากน้ำมันพืช ผลิตภัณฑ์พลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำมันพืช และไบโอแอลกอฮอล์ (เอทานอล) เพื่อแก้ปัญหาวิกฤตพลังงานโลกและปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ กำลังมีการวิจัยพัฒนาอย่างเข้มข้นทั่วโลกในปัจจุบัน

ส่วนกลั่นกรดไขมันปาล์ม (PFAD) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ราคาถูกจากการผลิตน้ำมันปาล์มบริโภค ประกอบด้วยกรดไขมันอิสระ (FFA) ประมาณ 93 wt.% [1] มีลักษณะทางกายภาพเป็นไขอ่อนสีเหลือง ดังรูปที่ 1 ปรกติใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เครื่องสำอาง และสบู่ [2,3] ใช้สำหรับการผลิตพลังงานแบบดั้งเดิมด้วย เช่น การผลิตเทียนไขและนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงสำหรับหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม [4] Tamiyakul et al. [5] ศึกษาการเปลี่ยน PFAD เป็นอะโรมาติก เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี Syahrullai et al. [6] ผสม PFAD กับน้ำมันจากปิโตรเลียมเพื่อใช้เป็นสารหล่อลื่น Shotipruk et al. [7] ศึกษาการเปลี่ยน PFAD เป็นเชื้อเพลิงก๊าซ (ไฮโดรเจน) ปัจจุบันมีการวิจัยมากมายเพื่อจะเปลี่ยน PFAD เป็น



รูปที่ 1 ลักษณะเฟสของ PFAD ที่อุณหภูมิห้อง

เชื้อเพลิงเหลว โดยเฉพาะเพื่อใช้ทดแทนดีเซล Kantama et al [1] Choi et al. [8] และ Kaitkitipong et al. [9] ศึกษาการผลิต Deoxygenated hydrocarbon โดยใช้กระบวนการผลิตที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง ผลผลิตที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงดีเซลและมีซีเทนนับเบอร์สูง (89) เพราะโครงสร้างโมเลกุล FFA ($C_{16.93}H_{32.66}O_2$) ของ PFAD [10] มีลักษณะใกล้เคียงกับซีเทน ($C_{16}H_{34}$: อ้างอิงสำหรับซีเทนนับเบอร์ 100) นอกจากนี้ยังมีการวิจัยอย่างเข้มข้นเพื่อผลิตเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ไบโอดีเซล) จาก PFAD ด้วยกระบวนการเอสเตอริฟิเคชันทั้งที่ความดันสูง [11-14] และความดันบรรยากาศ [4, 15-17] การศึกษาที่ความดันบรรยากาศส่วนมากจะศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ อย่างไรก็ตามการผลิตไบโอดีเซลยังมีขีดจำกัด โดยเฉพาะต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อ PFAD สูง และเมื่อใช้เอทานอลจะมีปัญหาการแยกเฟสของผลิตภัณฑ์ รวมถึงเมื่อใช้เอทานอลที่มีน้ำผสมอยู่ (เอทานอล 95%) น้ำจะส่งผลอย่างมากต่อการเกิดปฏิกิริยา

สำหรับประเทศไทย ไบโอเอทานอลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบทางการเกษตรภายในประเทศ (อ้อยและมันสำปะหลัง) โดยได้รับการสนับสนุนและส่งเสริมเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพทดแทนการใช้น้ำมันเบนซินและดีเซลมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 [18] เพื่อเป็นการสร้างความมั่นคงด้านพลังงานและสร้างพื้นฐานด้านพลังงานทดแทนให้กับประเทศ หลังจากการประสบความสำเร็จในการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ประเทศไทยได้วางแผนนโยบายและยุทธศาสตร์สำหรับผลิตดีโซฮอล์จากเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล [19] การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์จากงานวิจัยหลายชิ้น [20-22] ชี้ให้เห็นว่า ดีโซฮอล์สามารถใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้ดี มีข้อดีสำคัญของดีโซฮอล์เมื่อเทียบกับดีเซลคือ ช่วยลดการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน อนุภาค คิวโนดำ และคาร์บอนไดออกไซด์

สู่บรรยากาศได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่จะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์สูงกว่าดีเซล ซึ่งเป็นเรื่องปกติสำหรับเชื้อเพลิงที่มีความร้อนต่ำกว่าดีเซลและมีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล ปัญหาสำคัญของการผลิตดีเซล [23] คือ การแยกเฟสของ ดีเซล-เอทานอล เพราะความสามารถในการละลายที่จำกัด (ไม่เหมือนกับ แก๊สโซลีน-เอทานอล) เนื่องจากดีเซลเป็นสารไม่มีขั้วที่แรงกว่าแก๊สโซลีน และเอทานอลเป็นสารไม่มีขั้ว โดยเฉพาะเมื่อใช้เอทานอลที่มีน้ำผสมอยู่ (95%) น้ำเป็นสารมีขั้วที่แรงกว่าเอทานอล การแยกเฟสจึงรุนแรงกว่า

การปรับปรุงการผสม ดีเซล-เอทานอล สามารถทำได้โดยใช้สารเติมแต่งและ Co-solvent [22,24] การใช้ Co-solvent จากต่างประเทศมีต้นทุนสูง Kwanchareon et al. [25] และ Chotwichien et al. [26] ประสบความสำเร็จในการใช้ไบโอดีเซล (มีขั้วอ่อน 1 ข้าง ไม่มีขั้ว 1 ข้าง) เป็น Co-solvent สำหรับการผลิตดีเซล ซึ่งช่วยปรับปรุงทั้งการผสม (โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ ≥ 20 °C) อย่างไรก็ตาม ไบโอดีเซลยังไม่สามารถปรับปรุงเฟสของ ดีเซล-เอทานอล 95% (มีน้ำอยู่ 5 wt.%) ได้ นอกจากนี้ Chotwichien et al. [26] ยังได้รายงานการประสบความสำเร็จในการใช้ไบโอดีเซลเป็น Co-solvent ยิ่งไปกว่านั้น Vallinayagam et al. [27] ได้ทบทวนความก้าวหน้า และชี้ให้เห็นอนาคตและความเป็นไปได้ที่น่าสนใจอย่างยิ่ง สำหรับการผลิตและใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล นอกจากนี้ เชื้อเพลิงผสมสามส่วนของ ดีเซล-ไบโอดีเซล/น้ำมันพืช-แอลกอฮอล์ ถูกมองเป็นยุคถัดไปของการพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนดีเซล ต่อจากการใช้เชื้อเพลิงผสม ไบโอดีเซล/น้ำมันพืช-ดีเซล

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลว ดีเซล-PFAD-เอทานอล 99.9% และ 95% เพื่อศึกษาการใช้ PFAD เป็นเชื้อเพลิงเหลวทดแทนดีเซล และเป็น Co-solvent สำหรับการผลิตดีเซล เนื่องจาก PFAD ประกอบด้วย FFA ที่มีส่วนที่ไม่มีขั้ว และส่วนที่มีขั้วที่แรงกว่าไบโอดีเซลซึ่งน่าจะรวมกับน้ำได้ดีกว่า และจะช่วยป้องกันการแยกเฟสของดีเซลกับเอทานอลได้ดีกว่าไบโอดีเซล แต่อย่างไรก็ตาม การนำ PFAD ซึ่งเป็นโมเลกุลของ FFA ไปใช้งานในเครื่องยนต์ยังมีข้อกังวลเกี่ยวกับการกัดกร่อนชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ดังนั้น เชื้อเพลิงเหลวผสมที่มีค่าความเป็นกรดสูงสุดจะถูกวัดค่าการกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper striped corrosion)

เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเมื่อนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์จริงจะไม่มีปัญหาการกัดกร่อนชิ้นส่วนเครื่องยนต์เกิดขึ้น

2. วัสดุและวิธีการ

พฤติกรรมเฟส ค่าความเป็นกรด และสมบัติการกัดกร่อนของเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-PFAD-เอทานอล ชนิดไม่มีน้ำ (99.9%) และ เอทานอลชนิดมีน้ำ (95%) ถูกศึกษาโดยใช้น้ำมันดีเซลที่ซื้อจากปั้มน้ำมันบริษัท ปตท. จำกัด(มหาชน) PFAD ประกอบด้วย FFA ประมาณ 93 wt.% ซื้อจากบริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันพืช จำกัด และเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ และ เอทานอลชนิดมีน้ำ ซื้อจากบริษัท แกรททิทูต อินฟินิท จำกัด (มหาชน)

ดีเซล PFAD และเอทานอลไม่มีน้ำ/เอทานอลมีน้ำ ถูกผสมในขวดแก้วเล็ก (Vial) ด้วยวิธีการเขย่าอย่างง่าย โดยเชื้อเพลิงผสมถูกเตรียมที่สัดส่วนต่างๆ ของแต่ละองค์ประกอบในช่วง 0-100 wt.% ที่ทุกๆ 10 wt.% โดยแต่ละตัวอย่างของเชื้อเพลิงผสมจะมีน้ำหนักรวม 10.0 g ซึ่งแต่ละองค์ประกอบจะถูกชั่งโดยเครื่องชั่งดิจิทัล ความละเอียดสูง ยี่ห้อ METTLER รุ่น AL204 โดยแต่ละองค์ประกอบจะถูกควบคุมความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักให้ ± 0.05 wt.% โดยเชื้อเพลิงผสมสองส่วนแต่ละองค์ประกอบจะถูกชั่งตามสัดส่วน ปิดฝา อุณหภูมิ 50 ± 2 °C แล้วทำการเขย่าขวดเป็นเวลา 1 นาที และสำหรับเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ขั้นตอนแรกจะทำการผสมระหว่าง PFAD กับเอทานอลก่อน ปิดฝา อุณหภูมิ 50 ± 2 °C แล้วทำการเขย่าขวดเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นจึงผสมดีเซลตามสัดส่วน อุณหภูมิ 50 ± 2 °C แล้วทำการเขย่าขวดอีกเป็นเวลา 1 นาที ก็จะได้เชื้อเพลิงผสมที่ต้องการ และนำไปวางนึ่งที่บรรยากาศปกติเป็นเวลา 90 วัน เพื่อสังเกตพฤติกรรมเฟสระยะยาว [25] ที่มีอุณหภูมิรายวันในช่วง 22-34 °C หลังจากครบ 90 วัน ผลการสังเกตพฤติกรรมเฟสจะนำมาสร้างเฟสไดอะแกรมแต่ละความบริสุทธิ์ของเอทานอล ซึ่งจะบ่งบอกถึงลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-PFAD-เอทานอล ที่ทุกสัดส่วนการผสม โดยแทนด้วยสัญลักษณ์เพื่อบ่งบอกคุณลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงผสมเหล่านั้น

จากผลจากการศึกษาพฤติกรรมเฟสระยะยาว เชื้อเพลิงผสมที่เป็นของเหลวเฟสเดียวและมีค่าความเป็นกรดสูงสุดจะถูกเตรียมด้วยวิธีการกวนอย่างง่ายเพื่อส่ง

ทดสอบค่าการกัดกร่อนแผ่นทองแดง ตามมาตรฐาน ASTM D130 ที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ความเป็นไปได้สำหรับการใช้ เอทานอลชนิดไม่มีน้ำ และเอทานอลชนิดมีน้ำ เป็นเชื้อเพลิงเหลวผสมกับ ดีเซล (ดีโซฮอลล์)

ผลของความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่ส่งผลต่อความเสถียรเฟสถูกศึกษาโดยใช้เอทานอลที่ความบริสุทธิ์ 99.9% และ 95% ที่อุณหภูมิห้อง และผลได้แสดงอยู่ในรูปของเฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสมสามส่วน ดีเซล-PFAD-เอทานอลไม่มีน้ำ/เอทานอลมีน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

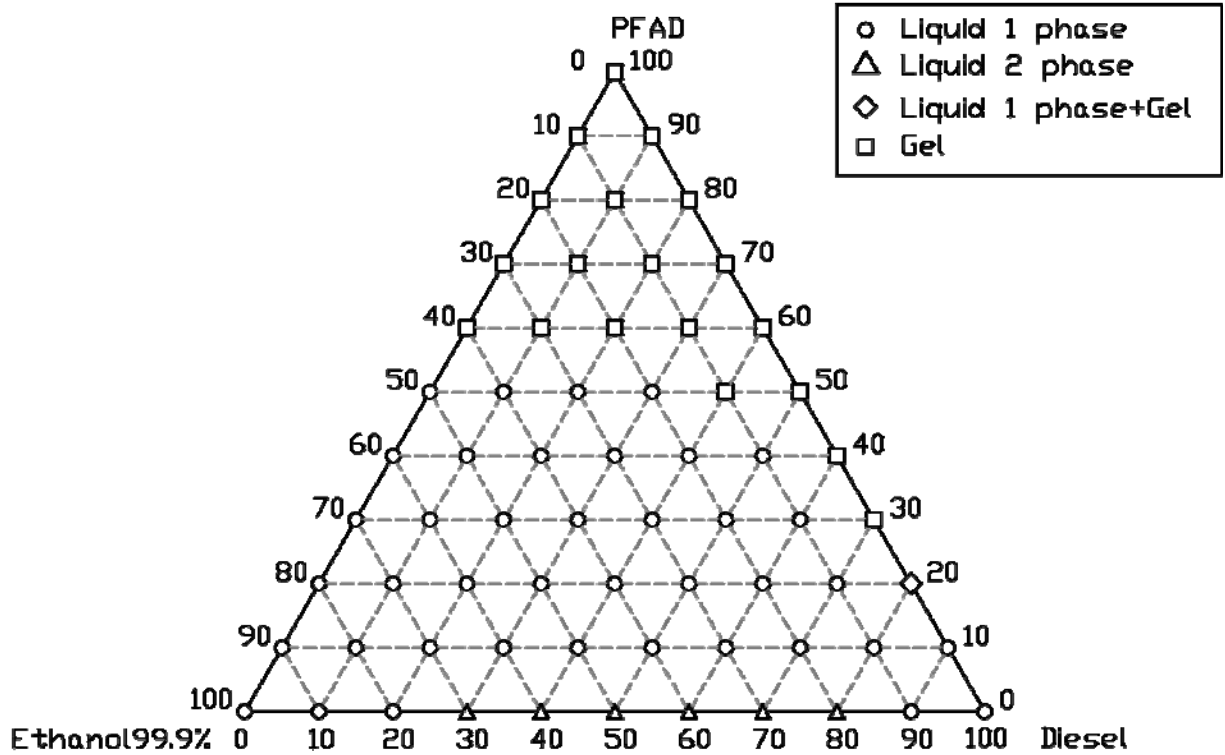
เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PFAD-เอทานอลชนิดไม่มีน้ำ ที่อุณหภูมิรายวัน 22-34 °C แสดงดังรูปที่ 2 ในกรณีดีเซลผสมกับเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ มีการแยกเฟสในช่วงสัดส่วนการผสม 30-80 wt.% ดังแสดงพฤติกรรมเฟสในรูปที่ 4 (ก) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kwanchareon et al. [25] และ Chotwichien et al. [26] มีการรายงานการแยกเฟสของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-เอทานอล เช่นกัน ผลความไม่เสถียรเฟสของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-เอทานอลไม่มีน้ำ (ตัดปัจจัยของน้ำเป็นตัวแปรในการแยกเฟส) เป็นเพราะเอทานอลเป็นโมเลกุลที่มีขั้วมากกว่าไม่มีขั้วเมื่อผสมกับดีเซลซึ่งไม่มีขั้ว ทำให้ผสมกันได้บางส่วนเท่านั้น เห็นได้ชัดจากแก๊สโครมาโทกราฟี (เชื้อเพลิงผสม แก๊สโครมาโทกราฟี-เอทานอล) ที่ไม่มีการแยกเฟส เนื่องจากทั้งเอทานอลและแก๊สโครมาโทกราฟีเป็นสารมีขั้วเหมือนกันทำให้เฟสมีความเสถียร และเมื่อผสม 10 wt.% PFAD สามารถช่วยให้เชื้อเพลิงผสมไม่เกิดการแยกเฟสทุกสัดส่วน ดังแสดงพฤติกรรมเฟสในรูปที่ 4 (ข) เนื่องจาก PFAD มีองค์ประกอบเป็น FFA ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่มีขั้วหรือส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำหรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เมื่อผสมลงไปเชื้อเพลิง ดีเซล-เอทานอล ส่วนหัวที่มีขั้วจะจับกับแอลกอฮอล์ และส่วนที่ไม่มีขั้วจะจับกับดีเซล ส่งผลให้เชื้อเพลิงผสม ดีเซล-เอทานอล เฟสมีความเสถียรมากขึ้น

สำหรับกรณีเอทานอล 95% หรือ ไฮดรอสเอทานอล (มีน้ำผสมอยู่ 5%) จากรูปที่ 3 แสดงเฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PFAD-เอทานอลชนิดมีน้ำ แสดงให้เห็นว่า ดีเซลไม่สามารถผสมกับเอทานอลชนิดมีน้ำ ได้ทุก

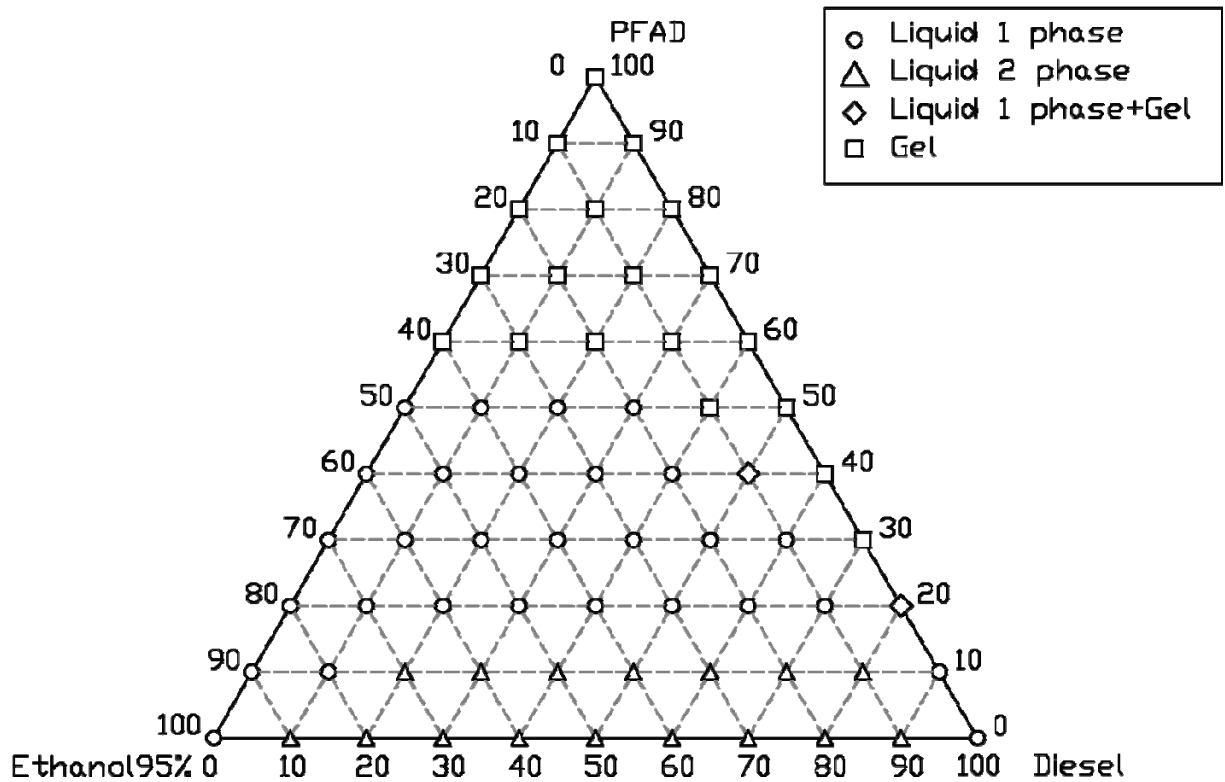
สัดส่วนการผสม เนื่องจากน้ำเป็นโมเลกุลมีขั้วสูง เมื่อมีอยู่ในเอทานอลในปริมาณมากจะส่งผลให้เกิดส่วนที่มีขั้วในโมเลกุลของเอทานอลมากตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้ ดีเซลซึ่งเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว เมื่อผสมกับเอทานอลที่มีน้ำอยู่ น้ำก็จะแทรกกลางระหว่างแขนของเอทานอลกับดีเซลที่พยายามจับกัน น้ำซึ่งเป็นโมเลกุลมีขั้วในตำแหน่งที่จับกับเอทานอลก็สามารถจับกันได้ ส่วนในอีกด้านน้ำจะไปจับกับดีเซลซึ่งไม่สามารถจับกันได้ ส่งผลให้แอลกอฮอล์แยกจากดีเซลอย่างสมบูรณ์ ดังแสดงพฤติกรรมเฟสในรูปที่ 4 (ค) และเมื่อผสม PFAD 10 wt.% ก็ยังมีการแยกเฟสเกิดขึ้นเกือบทุกสัดส่วนการผสม (ยกเว้นสัดส่วนการผสม 10 wt.% ดีเซล-10 wt.% PFAD-80 wt.% เอทานอล) เนื่องจากปริมาณน้ำที่สูงส่งผลให้บริเวณที่มีขั้วมากขึ้นตามไปด้วย 10 wt.% PFAD จึงไม่เพียงพอที่จะยับยั้งการแยกเฟสของเชื้อเพลิงผสม และเมื่อผสม PFAD เพิ่มขึ้นเป็น 20 wt.% ทำให้ไม่เกิดการแยกเฟสของดีเซลกับเอทานอล เนื่องจากการเพิ่มของ PFAD เป็นการเพิ่มส่วนโมเลกุลมีขั้ว ซึ่งมากกว่าพอที่จะไปจับกับบริเวณที่ไม่มีขั้วของเอทานอลและน้ำ และในส่วนหัวที่ไม่มีขั้วของ PFAD ก็จะไปจับกับดีเซล ส่งผลให้เฟสของเชื้อเพลิงผสมมีความเสถียรและไม่มีการแยกเฟสเกิดขึ้น ดังแสดงพฤติกรรมเฟสในรูปที่ 4 (ง) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น [25] ที่มีความพยายามใช้เอทานอลชนิดมีน้ำผสมกับดีเซลโดยใช้ไบโอดีเซลเป็นตัวประสาน แต่ก็ยังไม่ประสบความสำเร็จ และมีการรายงานผลว่าเอทานอลชนิดมีน้ำ ไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตดีโซฮอลล์ แต่สำหรับงานวิจัยนี้การใช้เอทานอลชนิดมีน้ำเพื่อผลิตดีโซฮอลล์มีความเป็นไปได้

3.2 ความเป็นไปได้สำหรับการใช้ PFAD เป็นเชื้อเพลิงเหลวทดแทนดีเซล

PFAD มีลักษณะทางกายภาพเป็นไฮดรอกซีคาร์บอนที่อุณหภูมิห้อง จากงานวิจัยพบว่าสามารถละลายโดยตรงในดีเซลได้สูงสุด 10 wt.% และสามารถผสมกับเอทานอลทั้งสองชนิดได้สูงสุด 50 wt.% ดังแสดงพฤติกรรมเฟสในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่า PFAD ละลายกับเอทานอลได้ดีกว่าดีเซล ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ที่ชัดเจนว่า PFAD มีความเป็นขั้วสูง ดังนั้น การใช้เอทานอลทั้งสองชนิดสามารถทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย และสามารถปรับปรุงการเป็นของเหลวของ PFAD ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากเฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสมในรูปที่ 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อผสม 10 wt.% ของเอทานอลชนิดไม่มีน้ำ และเอทานอลชนิดมีน้ำ สามารถเพิ่มสัดส่วนการใช้ PFAD เป็นเชื้อเพลิงเหลว



รูปที่ 2 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PFAD-เอทานอล 99.9% ที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3 เฟสไดอะแกรมของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PFAD-เอทานอล 95% ที่อุณหภูมิห้อง



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4 พฤติกรรมเฟสที่อุณหภูมิห้องของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PFAD-เอทานอล: (ก) ดีเซล-เอทานอลชนิดไม่มีน้ำ (ข) ดีเซล-10 wt.% PFAD-เอทานอลชนิดไม่มีน้ำ (ค) ดีเซล-เอทานอลชนิดมีน้ำ (ง) ดีเซล-20 wt.% PFAD-เอทานอลชนิดมีน้ำ

เป็น 40 และ 30 wt.% ตามลำดับ โดยที่เอทานอลชนิดมีน้ำละลาย PFAD ได้ต่ำกว่าเอทานอลชนิดไม่มีน้ำอยู่ 10 wt.% เป็นผลมาจากน้ำที่มีปริมาณสูงกว่า แต่เมื่อผสมเอทานอลที่สัดส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 20 wt.% สัดส่วนการใช้ PFAD เป็นเชื้อเพลิงเหลวสูงสุดเป็น 50 wt.% เหมือนกัน

เอทานอล โดยมีค่าความเป็นกรด 114 mgKOH/g เปรียบเทียบกับดีเซลรอบสูง ผลการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงผสมและดีเซลรอบสูงมีคุณสมบัติการกัดกร่อนทองแดง No. 1a เหมือนกัน ดังนั้น PFAD และเอทานอลเป็นเพียงกรดอ่อน และไม่ส่งผลต่อการกัดกร่อนที่รุนแรงเช่นเดียวกับดีเซลรอบสูง



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 5 พฤติกรรมเฟสที่อุณหภูมิห้องของเชื้อเพลิงผสม: (ก) 10 wt.% PFAD-90 wt.% ดีเซล-10 wt.% PFAD (ค) 50 wt.% PFAD -50 wt.% เอทานอลชนิดไม่มีน้ำ (ง) 50 wt.% PFAD -50 wt.% เอทานอลชนิดมีน้ำ

3.3 ค่าความเป็นกรดและการกัดกร่อนแผ่นทองแดง

ได้มีการวัดคุณสมบัติการกัดกร่อนทองแดงตามมาตรฐาน ASTM D130 ของเชื้อเพลิงเหลวที่มีความเป็นกรดสูงคือ ส่วนผสม 50 wt.% PFAD-50 wt.% เอ

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษา พฤติกรรมเฟส ค่าความเป็นกรด และการกัดกร่อนแผ่นทองแดงของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PFAD-เอทานอลชนิดไม่มีน้ำ/เอทานอลชนิดมีน้ำ จากข้อค้นพบสามารถสรุปได้ดังนี้

- PFAD ละลายในดีเซลได้สูงสุด 10 wt.% จึงมีความเป็นไปได้สำหรับใช้ PFAD เป็นเชื้อเพลิงผสมดีเซลโดยตรง
- เอทานอลทั้งสองเกรดสามารถปรับปรุงเฟสของ PFAD เป็นเชื้อเพลิงเหลวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีการค้นพบเชื้อเพลิงเหลวผสมชนิดใหม่ คือ ดีเซล-PFAD-เอทานอล
- PFAD ละลายกับเอทานอลชนิดไม่มีน้ำและเอทานอลชนิดมีน้ำได้สูงสุด 50 wt.% จึงมีความเป็นไปได้ที่จะได้เชื้อเพลิงชนิดใหม่ระหว่าง PFAD-เอทานอล

- PFAD มีศักยภาพสูงในการป้องกันการแยกเฟสระหว่าง ดีเซลกับเอทานอล โดยเฉพาะเอทานอลชนิดมีน้ำ ดังนั้นมีความเป็นไปได้สำหรับการผลิตดีโซลล์โดยใช้เอทานอลชนิดมีน้ำ โดยใช้ PFAD เป็น Co-solvent
- ค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงผสม ดีเซล-PFAD-เอทานอล ไม่มีนัยสำคัญต่อการกัดกร่อนชิ้นส่วนของเครื่องยนต์แต่อย่างใด และเชื้อเพลิงผสมมีค่าการกัดกร่อน No. 1a เทียบเท่าดีเซลรอบสูง

โดยสรุปงานวิจัยนี้ค้นพบโอกาสที่ดีของการนำส่วนกลั่นไฮโดรคาร์บอนและเอทานอลทั้งสองชนิดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวชนิดใหม่เพื่อใช้ทดแทนดีเซล แต่อย่างไรก็ตามมีความจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญเพิ่มเติม เช่น ความหนาแน่น ความหนืดเชิงจลน์ จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อน และซีเทนนัมเบอร์ เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้กับเครื่องยนต์ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ของสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kantama A, Narataruksa P, Hunpinyo P, Prapainainar C (2015). Techno-economic assessment of heat-integrated process for hydrogenated renewable diesel production from palm fatty acid distillate. *Biomass Bioenergy*, vol. 83, November 2015, pp. 448 – 459.
- [2] Mielke T (2010). The price outlook of palm and lauric oils and impact from the global vegetable oil market-a fundamental approach. *Palm and Lauric Oils Conference & Exhibition Price Outlook (POC) 2010*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [3] Malaysian Palm Oil Board. (2010). URL: <http://www.mpoh.gov.my>, access on 1/03/2016.
- [4] Wan Z, Lim JK, Hameed BH (2015). Chromium-tungsten heterogeneous catalyst for

esterification of palm fatty acid distillate to fatty acid methyl ester. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 54, April 2015, pp. 64 – 70.

[5] Tamiyakul S, Anutamjarikun S, Jongpatiwut S (2015). The effect of Ga and Zn over HZSM-5 on the transformation of palm fatty acid distillate (PFAD) to aromatics. *Catalysis Communications*, vol. 74, November 2016, pp. 49 – 54.

[6] Syahrullail S, Hariz MAM, Abdul Hamid MK, Abu Baker AR (2013). Friction characteristic of mineral oil containing palm fatty acid distillate using four ball tribo-tester. *Procedia Engineering*, vol. 68, 2013, pp. 166 – 171.

[7] Shotipruk A, Assabumrungrat S, Pavasant P, Laosiripojana N (2008). Reactive of CeO₂ and Ce-ZrO₂ toward steam reforming of palm fatty acid distilled (PFAD) with co-fed oxygen and hydrogen. *Chemical Engineering Science*, vol. 64, October 2008, pp. 459 – 66.

[8] Choi I, Hwang KR, Han JS, Lee KH, Yun JS, Lee JS (2015). The direct production of jet-fuel from non-edible oil in a single-step process. *Fuel*, vol. 158, November 2015, pp. 98 – 104.

[9] Kiatkittipong W, Phimsen S, Kiatkittipong K, Wongsakulphasatch S, Laosiripojana N, Assabumrungrat (2013). Diesel-like hydrocarbon production from hydroprocessing of relevant refining palm oil. *Fuel Processing Technology*, vol. 116, May 2013, pp. 16 – 26.

[10] ปริญา หม่อมพิบูลย์ (2012). คุณลักษณะการเป็นของเหลวของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบที่บรวมนผสมกับดีเซล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[11] Lokman I, Goto M, Rashid U, Taufiq-Yap YH (2015). Sub- and supercritical esterification of palm fatty acid distillate with carbohydrate-derived solid acid catalyst. *Chemical Engineering Journal*, vol. 284, September 2015, pp. 872 – 878.

- [12] Cho HJ, Kim JK, Hong SW, Yeo YK (2012). Development of a novel process for biodiesel production from palm fatty acid distillate (PFAD). *Fuel Processing Technology*, vol. 104, June 2012, pp. 271 – 280.
- [13] Cho HJ, Kim SH, Hong SW, Yeo YK (2011). A single step non-catalytic esterification of palm fatty acid distillate (PFAD) for biodiesel production. *Fuel*, vol. 93, September 2012, pp. 373 – 380.
- [14] Yujaroen D, Goto M, Sasaki M, Shotipruk A (2009). Esterification of palm fatty acid distillate (PFAD) in supercritical methanol: Effect of hydrolysis on reaction reactivity. *Fuel*, vol. 88, March 2009, pp. 2011 – 2016.
- [15] Cheryl-Low YL, Theam KL, Lee HV (2015). Alginate-derived solid acid catalyst for esterification of low-cost palm fatty acid distillate. *Energy Conversion and Management*, vol. 106, October 2015, 932 – 940.
- [16] Shuit SH, Tan SH (2014). Feasibility study of various sulphonation methods for transforming carbon nanotubes into catalysts for the esterification of palm fatty acid distillate. *Energy Conversion and Management*, vol. 88, February 2014, pp. 1283 – 1289.
- [17] Lokman I, Rashid U, Taufiq-Yap YH, Yunus R (2015). Methyl ester production from palm fatty acid distillate using sulfonated glucose-derived acid catalyst. *Renewable Energy*, vol. 81, April 2015, pp. 347 – 354.
- [18] The Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy. Alternative Energy Development Plan: AEDP2015. URL: <http://www.dede.go.th>, access on 5/03/2016.
- [19] The Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy. Renewable energy in Thailand: ethanol and biodiesel, Thailand, Plan Printing Co., Ltd; 2004.
- [20] Cenk S (2010). Engine performance and exhaust gas emissions of methanol and ethanol diesel blends. *Fuel* 2010; 89: 3410-5
- [21] Huang J, Wang Y, Li S, Roskilly AP, Yu H, Li H. Experimental investigation on the performance and emission of a diesel engine fueled with ethanol-diesel blends. *Appl Therm Eng* 2009; 29: 2484-90.
- [22] Hansen AC, Zhang Q, Lyne PWL. Ethanol-diesel fuel blends-a review. *Biores Technol* 2005; 96: 277-85.
- [23] Xing-cai L, Jian-guang Y, Wu-gao Z, Zhen H (2004). Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol-diesel blend fuel, vol 83, October 2004, pp. 2013 – 2020.
- [24] Letcher TM (1983). Diesel blends for diesel engines. *S Afr J Sci*, vol. 79, 1983, pp. 4 – 7.
- [25] Kwanchareon P, Luengnaruemitchai A, Jai-In S (2006). Solubility of a diesel-biodiesel-ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine. *Fuel*, vol. 86, November 2007, 1053 – 1061.
- [26] Chotwichien A, Luengnaruemitchai A, Jai-In S. Utilization of palm oil alkyl esters as an additive in ethanol-diesel and butanol-diesel blends. *Fuel*, vol. 88, September 2009, pp. 1618 – 1624.
- [27] Vallinayagam R, Vedharaj S, Yang WM, Roberts WL, Dibble RW (2015). Feasibility of using less viscous and lower cetane (LVLC) fuels in a diesel engine: A review. *Renew Sustain Energy Rev*, vol. 51, July 2015, pp. 1166 – 1190.