การศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับ

Feasibility Study for Preparation Vegetable Oil as Biodiesel Feedstock via Re-Esterification

สุรชัย จันทร์ศรี [1]*

[1] สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
167 ถนนชัยภูมิ-ตาดโต ตำบลนาฝาย อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ รหัสไปรษณีย์ 36000
*ติดต่อ: E-mail: k_aew474@yahoo.com, เบอร์โทรศัพท์: 0851829505

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมต่อการลดกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันพืชร้อยละ 20 โดยมวลให้เหลือน้อยกว่าร้อยละ 3 โดยมวล ด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับ ที่อุณหภูมิ 150°C ภายใต้ความดันบรรยากาศ โดยการกวนที่ความเร็วรอบ 600 rpm เป็นเวลา 180 min. โดยใช้กลีเซอรีนบริสุทธิ์ในปริมาณร้อยละ 50 โดยมวลและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มของสังกะสี ได้แก่ Zn, $ZnCl_2$, ZnO และ $ZnSO_4.7H_2O$ และตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มดีบุก คือ $SnCl_4{\cdot}5H_2O$ และ $SnCl_2{\cdot}2H_2O$ ในปริมาณร้อยละ 0.6 โดยมวล เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาพบว่า ZnO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถนำมาใช้ในการลดกรดไขมันอิสระด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับ

คำหลัก: กระบวนการเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับ, น้ำมันพืช, ไบโอดีเซล

Abstract

The suitable catalyst for reducing 20 wt% of free fatty acid that containing in vegetable oil to less than 3 wt.% through re-esterification was investigated. This process could be reached when the reaction was operated at 150 degree Celsius under ambient pressure, stirred with 600 rpm, spent retention time around 180 min and used 50 wt% of pure glycerin. The heterogeneous catalyst around 0.6 wt% using in this investigation was categorized into 2 groups: zinc compound; Zn, $ZnCl_2$, ZnO and $ZnSO_4.7H_2O$, and stannum compound; $SnCl_4{\cdot}5H_2O$ and $SnCl_2{\cdot}2H_2O$. The results showed that ZnO was suitable catalyst for reducing free fatty acid via re-esterification process.

Keywords: Biodiesel, Re-esterification, Vegetable oil.

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันน้ำมันพืชพร้อมบริโภคมีราคาค่อนข้างแพง และการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันพืชใช้แล้วชนิดกรดไขมันอิสระต่ำมีการแข่งขันสูง ทำให้ไบโอดีเซลที่ได้จากการผลิตจากน้ำมันพืชพร้อมบริโภคและน้ำมันพืชใช้แล้วชนิดมีกรดไขมันอิสระต่ำมีราคาแพงมาก เพื่อลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซล น้ำมันที่มีคุณภาพต่ำ (น้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง) ได้ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล โดยน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูงได้นำมาทดสอบผลิตไบโอดีเซลเบื้องต้นด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีปริมาณน้อยมากหรือไม่เกิดเลย เพราะกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid: FFA) ในน้ำมัน และน้ำมันเกิดปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน หลังจากเสร็จสิ้นปฏิกิริยาจะได้สบู่เป็นผลิตภัณฑ์ [1-6] ถือได้ว่ากระบวนการนี้ไม่เหมาะสมที่นำมาใช้ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง พบว่า มีกระบวนการ 4 กระบวนการที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง ได้แก่ 1) กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้เอนไซม์เป็น

ตัวเร่งปฏิกิริยา 2) กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 3) กระบวนการผลิตไบโอดีเซลภายใต้จุดวิกฤติของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ 4) กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอน [1,5,7] แต่เนื่องต้องการผลิตไบโอดีเซลภายใต้ความดันบรรยากาศ และใช้เวลาน้อย งานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาการผลิตไบโอ-ดีเซลจากน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูงด้วยกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอน

กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอนสำหรับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูงมี 2 กระบวนการ คือ กระบวนการที่ 1: กระบวนการสะปอนิฟิเคชันตามด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Saponification followed by Transesterification) [4,7] และกระบวนการที่ 2: กระบวนการเอสเทอริฟิเคชันตามด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Esterification followed by transesterification) [5,7] จากการศึกษาพบว่ากระบวนการที่ 1 มีการสูญเสียน้ำมัน และใช้เวลาในการผลิตไบโอ-ดีเซลมากกว่ากระบวนการที่ 2 เนื่องจากในการเปลี่ยนกรดไขมันอิสระเป็นสบู่นั้นจะต้องใช้สารละลายเบสที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายเป็นสารเริ่มต้นในการทำปฏิกิริยา พบว่าไม่เพียงแต่กรดไขมันอิสระถูกเปลี่ยนเป็นสบู่ น้ำมันบางส่วนก็ถูกเปลี่ยนรูปให้เป็นสบู่ในปฏิกิริยานี้เช่นกัน จึงส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำมันค่อนข้างมาก เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาน้ำมันที่ผ่านการลดกรดไขมันอิสระด้วยกระบวนการสะปอนิฟิเคชันจะถูกทำความสะอาดด้วยน้ำก่อนเข้ากระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ขั้นตอนนี้ก็เป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่เกิดการสูญเสียน้ำมัน และเสียเวลาค่อนข้างมาก [7] แต่เพื่อให้เกิดการสูญเสียน้ำมันในขั้นตอนนี้น้อยจึงได้มีการนำสบู่ และน้ำล้างมาผลิตไบโอ-ดีเซลอีกครั้งโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงถือได้ว่าเป็นการเพิ่มขั้นตอนในการผลิตไบโอดีเซล และเป็นเพิ่มเวลาในการผลิตไบโอ-ดีเซลอีกด้วย แต่ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูงด้วยกระบวนการที่ 2 นั้นลดการสูญเสียน้ำมันและลดขั้นตอนของกระบวนการที่ 1 ลง นั่นคือในขั้นตอนแรกกรดไขมันอิสระในน้ำมันถูกเปลี่ยนเป็นไบโอ-ดีเซลด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน และผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ต้องทำความสะอาด เพียงตั้งทิ้งไว้ให้ของเสียตกตะกอน จากนั้นก็สามารถนำน้ำมันที่ผ่านการลดกรดไขมันอิสระในขั้นตอนแรกไปผลิตไบโอดีเซลได้เลยซึ่งใช้เวลาน้อย และเกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์น้อยกว่ากระบวนการที่ 1 แม้กระบวนการเอสเทอริฟิเคชันตามด้วยทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะทำให้การสูญเสียน้ำมันเกิดขึ้นน้อย แต่กระบวนการนี้ยังต้องใช้เมทานอลในปริมาณที่ค่อนข้างมาก ส่งผลให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับกระบวนการที่ 1 ดังนั้นกระบวนการเอส-เทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับ (Re-esterification) [8-12] จึงเริ่มมีบทบาทในการนำมาใช้ในการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมัน นอกจากกระบวนนี้สามารถลดปัญหาการเกิดกระบวนการสะปอนิฟิเคชันได้เช่นเดียวกับกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน ยังช่วยลดปริมาณการใช้เมทานอล และใช้ประโยชน์จากกลีเซอรีนที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาหาชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ให้เหลือน้อยกว่าร้อยละ 3 โดยมวลด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับ (Re-esterification)

2. วิธีดำเนินการทดลอง

2.1 น้ำมันพืชวัตถุดิบ

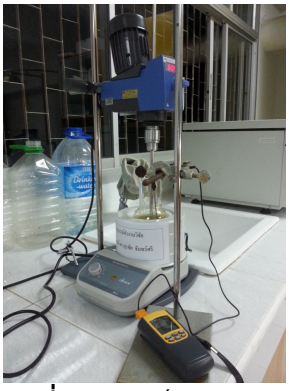
น้ำมันพืชวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้เตรียมโดยการเติมกรดปาล์มิติกลงไปในน้ำมันพืชที่อุ่นจนได้อุณหภูมิ 60˚C จนได้ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระอยู่ที่ร้อยละ 20 โดยมวล

2.2 สารเคมี

กลีเซอรีนชนิดเหลวเกรดการค้า (commercial grade) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 98 ได้นำมาใช้เป็นสารเคมีตั้งต้นในการทำปฏิกิริยากับน้ำมันวัตถุดิบที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกรดวิเคราะห์ประกอบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 2 กลุ่ม คือ 1) ตัวเร่งปฏิกิริยากลุ่มสังกะสีประกอบด้วย Zn, $ZnCl_2$, ZnO และ $ZnSO_4.7H_2O$ และ 2) ตัวเร่งปฏิกิริยากลุ่มดีบุกประกอบ ด้วย $SnCl_4 \cdot 5H_2O$ และ $SnCl_2 \cdot 2H_2O$

2.3 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ (รูปที่ 1) ประกอบด้วย ขวดก้นกลมขนาด 250 ml. ใบกวนชนิด six-blade disc turbine เทอร์มอมิเตอร์แบบดิจิตัล และหลุมสำหรับให้ความร้อน



รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง

2.4 การทดลอง

การทดลองเริ่มจากการนำน้ำมันพืชที่มีการเติมกรดปาล์มิติกจนได้ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระร้อยละ 20 โดยมวล ต้มที่ความดันบรรยากาศจนได้อุณหภูมิ 150˚C ในระหว่างนั้นก็ละลายตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณร้อยละ 0.6 โดยมวลลงในกลีเซอรีนชนิดเหลวปริมาณร้อยละ 50 โดยมวล ที่อุณหภูมิ 100˚C จากนั้นเติมสารละลายลงในน้ำมันพืชโดยกวนที่ความเร็วรอบ 600 rpm เป็นเวลา 180 min. เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาน้ำมันที่ผ่านการลดกรดไขมันอิสระจะถูกนำไปล้างด้วยน้ำร้อน (80˚C) ปริมาณ 250 ml. จำนวน 3 ครั้ง น้ำมันที่ผ่านการทำความสะอาดจะถูกตรวจสอบปริมาณกรดไขมันอิสระที่หลงเหลืออยู่ด้วยวิธีการไทเทรตและเทคนิคการโครมาโตกราฟีแบบผิวบางด้วยเครื่อง Thin layer chromatography/flame ionization detector (TLC/FID)

2.5 การติดตามผลการทดลอง

1) วิธีการไทเทรต

น้ำมันตัวอย่างได้รับการตรวจปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการไทเทรตแบบกรด-เบส ซึ่งเป็นวิธีการที่ประยุกต์มาจากวิธีการของ Link [13] โดยเริ่มจากการชั่งน้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง เติมเมทานอลปริมาณ 20 ml. แล้วนำไปอุ่นกับจนน้ำมันละลายในเมทานอล จากนั้นเติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร จำนวน 3 หยด นำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1 นอร์มอลิตีจนสารละลายเปลี่ยนจากสีของน้ำมันพืชเป็นสีชมพู เมื่อได้ปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำให้น้ำมันเปลี่ยนสีแล้ว ก็นำไปแทนค่าในสมการ

$$\%FFA = \frac{\text{ml of NaOH} \times Y \times 25.6}{\text{weight of sample}} \qquad (1)$$

เมื่อ %FFA คือ ปริมาณกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมัน (ร้อยละโดยมวล)

ml of NaOH คือ ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ml.)

Y คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (N)

2) เทคนิคการโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง

นำน้ำมันพืชที่ผ่านการลดกรดไขมันอิสระด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดตรวจสอบหาองค์ประกอบในน้ำมันด้วยเครื่อง TLC/FID โดยเริ่มจากละลายผลิตภัณฑ์ในเฮกเซน แล้วนำไปหยดลงใน stationary phase ในที่นี้คือ Chromarod type S-III quartz rod จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายเฮกเซน: ไดเอทิล-อีเธอร์: กรดฟอร์มิก ที่ผสมกันในอัตราส่วน 50:20:0.3 (the first mobile phase) เป็นเวลา 20 min. จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วนำไปแช่ในสารละลาย เฮกเซน: เบนซีน ที่ผสมกันในอัตราส่วน 1:1 (the second mobile phase) เป็นเวลา 30 min. แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC/FID ซึ่งแสดงค่าขององค์ ประกอบในน้ำมันในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก [7]

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระประมาณร้อยละ 20 โดยมวล ให้เหลือน้อยกว่าร้อยละ 3 โดยมวล [14] ด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับ การศึกษาเริ่มจากศึกษาการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระกับกลีเซอรีนโดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยากวนผสมที่อุณหภูมิ 15˚C ภายใต้ความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 180 min. พบว่า กรดไขมันอิสระกรดไขมันอิสระสามารถทำปฏิกิริยากับกลีเซอรีนได้ในปริมาณน้อยมากซึ่งถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 1 แต่ถ้าต้องการให้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดี จะต้องให้ปฏิกิริยาดำเนินภายใต้อุณหภูมิสูงและบรรยากาศที่เป็นแก๊สเฉื่อยเท่านั้น [8]

AEC-09

ตารางที่ 1 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน

ที่	สารตัวอย่าง				ไม่ล้าง (wt%)	ล้าง (wt%)
	น้ำมัน	กรดไขมันอิสระ	กลีเซอรีน	ตัวเร่งปฏิกิริยา		
1	✓				2.500	
2	✓	✓			21.240	
3	✓		✓		0.600	0.500
4	✓	✓	✓		18.780	20.500
5	✓	✓	✓	Zn		2.100
6	✓	✓	✓	$ZnCl_2$		13.430
7	✓	✓	✓	ZnO		2.470
8	✓	✓	✓	$ZnSO_4.7H_2O$		10.570
9	✓	✓	✓	$SnCl_4{\cdot}5H_2O$		21.470
10	✓	✓	✓	$SnCl_2{\cdot}2H_2O$		21.570

เมื่อทดสอบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระในน้ำมันกับกลีเซอรีนโดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเรียบร้อยแล้ว การทดลองต่อไปเป็นการทดลองปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระน้ำมันกับกลีเซอรีนโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มของสังกะสี ได้แก่ Zn, $ZnCl_2$ [9,10], ZnO [11] และ $ZnSO_4.7H_2O$ และ ตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มดีบุก คือ $SnCl_4{\cdot}5H_2O$ [11,12] และ $SnCl_2{\cdot}2H_2O$ โดยทั่วไปการทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับต้องทำภายใต้ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ [8] แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของอุปกรณ์การทดลอง การศึกษานี้จึงได้ศึกษาการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับภายใต้ความดันบรรยากาศเท่านั้น [14] ซึ่งน้ำมันทำปฏิกิริยากับกลีเซอรีนที่อุณหภูมิ 150˚C เป็นเวลา 180 min. โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมด 6 ตัว ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผลจากการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการไทเทรต พบว่า ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับที่ใช้ $SnCl_4{\cdot}5H_2O$ และ $SnCl_2{\cdot}2H_2O$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไม่สามารถลดกรดไขมันอิสระได้เลย ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาอีก 4 ตัว สามารถลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันได้ แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถลดกรดไขมันอิสระจากร้อยละ 20 โดยมวล ให้ต่ำกว่าร้อยละ 3 โดยมวลนั่นคือ Zn และ ZnO ดังแสดงในตารางที่ 1

ในขั้นตอนสุดท้ายนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับโดยใช้ Zn และ ZnO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไปตรวจสอบด้วยเครื่อง TLC/FID จากการวิเคราะห์ พบว่าเครื่อง TLC/FID ไม่สามารถตรวจจับองค์ประกอบของน้ำมันที่ผ่านการลดกรดไขมันอิสระด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับโดยใช้ Zn เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เลยได้เลย อาจเป็นไปได้ว่าในระหว่างทำความสะอาดน้ำมัน Zn อาจจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการสะปอนิฟิเคชัน แต่สำหรับการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับโดยใช้ ZnO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TLC/FID ยังยืนยันว่าได้ผลเช่นเดียวกับการวิเคราะห์กรดไขมันอิสระด้วยวิธีการไทเทรต โดยกรดไขมันอิสระประมาณร้อยละ 20 โดยมวล จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของไดกลีเซอไรด์ (DG) และ มอนอกลีเซอไรด์ (MG) พร้อมกันนั้น ZnO ยังส่งเสริมให้ไตรกลีเซอไรด์ (TG) ประมาณร้อยละ 66 โดยมวล แตกตัวให้อยู่รูปไดกลีเซอไรด์ และมอนอกลีเซอไรด์ด้วย เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาทำให้ได้องค์ประกอบภายในน้ำมันที่ผ่านการลดกรดไขมันอิสระด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับอยู่ในรูปของไดกลีเซอไรด์ และมอนอกลีเซอไรด์ที่เพิ่มสูงขึ้นดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบในน้ำมัน

ที่	ตัวเร่งปฏิกิริยา	องค์ประกอบในน้ำมัน (wt%)			
		TG	FFA	DG	MG
1	น้ำมันเริ่มต้น	66.483	19.522	5.747	8.248
2	Zn	N/A	N/A	N/A	N/A
3	ZnO	9.508	1.915	28.135	60.442

4. สรุปผลการทดลอง

การลดกรดไขมันอิสระด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันแบบย้อนกลับสามารถทำได้โดยให้กรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันทำปฏิกิริยากับกลีเซอรีนบริสุทธิ์และตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณร้อยละ 50 และ 0.6 โดยมวลของปริมาณน้ำมันวัตถุดิบตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 150˚C ภายใต้ความดันบรรยากาศกวนที่ความเร็วรอบ 600 rpm เป็นเวลา 180 min. จากการศึกษา พบว่า ZnO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถนำมาใช้ในการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่มีไขมันอิสระประมาณร้อยละ 20 โดยมวลให้เหลือน้อยกว่าร้อยละ 3 โดยมวล

5. กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับการสนับสนุนงบประมาณวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏ-ชัยภูมิ และขอขอบพระคุณผู้ประสานงานของสถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาทุกท่านที่ให้การดำเนินด้านวิจัยงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Ma, F. and Hanna, H.A. (1998). Biodiesel Production: a review. *Bioresource Technoloyg,* vol.70, October 1999, pp. 1-15.

[2] Gerpen, J.V., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D. and Knothe, G. (2004) Biodiesel Production Technology. *National Renewable Energy Laboratory*, January 2004, pp.1-40.

[3] Marchetti, J.M., Miguel, V.U. and Errazu, A.F. (2007). Possible methods for biodiesel production. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, August 2007, vol. 11(6), pp. 1300-1311.

[4] Tongurai, C., Klinpikul, S., Bunyakan, C. and Kiatsimkul, P. (2001). Biodiesel production from palm oil (in Thai). *Songklanakarin J Sci Technol*, January 2001, vol. 23(suppl.), pp. 832-841.

[5] Veljkovic, V.B., Lakicevic, S.H., Stamenkovic, O.S., Todorovic, Z.B. and Lazic, M.L. (2006) Biodiesel production from tobacco (*Nicotiana tabacum L.*) seed oil with a high content of free fatty acids. *Fuel,* December 2006, vol. 85(17-18), pp. 2671-2675.

[6] Prateepchaikul, G. and Jansri, S. (2008). The Reduction of Free Fatty Acid in Mixed Crude Palm Oil via Esterification (in Thai). *Proceeding of 6th PSU Engineering Conference* 2008, Hat Yai, Songkhla, Thailand.

[7] Jansri, S. and Prateepchaikul, G. (2011). Comparison of Biodiesel Production from High Free Fatty Acid Crude Coconut Oil via Saponification followed by Transesterification or a Two-Stage Process. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, February 2011, vol. 45(1), pp. 110-119.

[8] Bhosle, B.M. and Subramanian, R. (2005). New Approaches in deacidification of edible oils – a review. *Journal of Food Engineering*, August 2005, vol. 69, pp. 481-494.

[9] Felizardo, P., Machado, J., Vergueiro, D., Correia, M.J.N., Gomes, J.P. and Bordado, J.M. (2011). Study on the glycerolysis reaction of high free fatty acid oils for use as biodiesel feedstock. *Fuel Processing Technology*, June 2011, vol. 92, pp. 1225-1229.

[10] Ebewele, R.O., Iyayi, A.F. and Hymore, F.K. (2011). Deacidification of high acidic rubber seed oil by reesterification with glycerol. *International Journal of the Physical Sciences,* June 2010, vol. 5(6), pp. 841-846.

[11] Kombe, G.G., Temu, A.K., Rajabu, H.M., Mrema, G.D. and Lee, K.T. (2013). Pre-treatment of high free fatty acids oils by chemical re-esterification for biodiesel production – a review. *Advances in Chemical Engineering and Science*. September 2013, vol. 3, pp. 242-247.

[12] Bhattacharyya, A.C. and Bhattacharyya, D.K. (1987). Deacidification of high FFA rice bran oil by reesterification and alkali neutralization. *JAOCS*, January 1987, vol. 64(1), pp. 128-131.

[13] Jansri, S. (2007). Kinetics of Methyl Ester Production from Crude Palm Oil by Using Acid-Alkali Catalyst, A Thesis for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Thailand.

[14] Kombe, G.G., Temu, A.K., Rajabu, H.M., Mrema, G.D. and Lee, K.T. (2013). Low temperature glycerolysis as a high FFA pre-treatment method for biodiesel production. *Advances in Chemical Engineering and Science, September* 2013, vol. 3, pp. 248-254.