การผลิตไบโอดีเซลจากไขมันวัวด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

Biodiesel Production from Beef Fats by Based-catalyzed Transesterification Reaction

อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์* ชลาลัย จันทร์ยอด ปัทมาพร อินทร์พรหม และ วัฒนฤดี อึ้งมงคลชัย
Usarat Thawornchaisit*, Chalalai Chanyod, Patamaporn Intaprom and Watanaruedee Euengmongkhonchai
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันวัวด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขวัว อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยใช้ร้อยละการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซล (เมทิลเอสเตอร์) เป็นตัวตัดสินอิทธิพลของปัจจัยที่ทำการศึกษา ผลการศึกษาพบว่าร้อยละการเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร์มีค่าสูงสุดเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา รองลงไปคือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในขณะที่ไม่สามารถวิเคราะห์ร้อยละของการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลได้ เมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคือ NaOH เข้มข้น 0.50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขวัวเท่ากับ 6:1 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที ซึ่งจะได้ร้อยละของการเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร์สูงถึงร้อยละ 97.1

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล ไขวัว ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เมทิลเอสเตอร์

Abstract

In this research, factors affecting biodiesel production from beef fats via base catalyzed transesterification processes were investigated. Factors including types and amount of catalysts, molar ratio of methanol to beef tallow, temperature and reaction time were tested using percentage of conversion to biodiesel (methyl esters) as criteria for determining influence of the tested parameters. Results showed that highest conversion

---

*ที่อยู่ติดต่อ. โทรศัพท์: 0 232 68000 ext. 6235, 6249 โทรสาร: 0 232 68804 E-mail address: usarat.th@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

of triglycerides to methyl esters were obtained when sodium hydroxide (NaOH) was used as catalyst, followed by potassium hydroxide (KOH). While information on conversion (%) were not available when calcium hydroxide ($Ca(OH)_2$) was used as catalyst. Optimum conditions for base catalyzed transesterification of beef tallow were as follows: 0.5 wt% of NaOH, molar ratio of methanol to tallow at 6:1, reaction temperature and time at 45 $^{\circ}$C and 45 minutes, respectively. At this optimum condition, the conversion to methyl esters was 97.1%.

Keywords: biodiesel, beef tallow, transesterification, methyl esters

1. บทนำ

ไบโอดีเซลจัดเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่รัฐบาล โดยกระทรวงพลังงานมีนโยบายส่งเสริมการผลิตและการใช้เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียมตามมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 28 มกราคม 2552 [1] ผลจากการดำเนินนโยบายดังกล่าว ทำให้ปริมาณความต้องการใช้ไบโอดีเซลภายในประเทศมีค่าสูงขึ้น ไบโอดีเซลคือเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) ของสารประกอบจำพวกไตรเอซิลกลีเซอรอลหรือไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ เช่นเมทานอลหรือเอทานอล จนกระทั่งได้สารประกอบจำพวกอัลคิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน (fatty acid alkyl esters, FAAE) ที่มีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันดีเซล [2] ซึ่งไม่เพียงสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำโดยไม่จำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องยนต์แล้ว ที่สำคัญคือมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารต่างๆ ที่มีโอกาสก่อให้เกิดมะเร็ง ที่สำคัญคือ polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons (nPAHs) ยังมีปริมาณต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการเผาไหม้น้ำมันดีเซล [3-6] ทำให้ไบโอดีเซลถูกจัดเป็นเชื้อเพลิงสะอาด ทั้งนี้การผลิตไบโอดีเซลนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย เพื่อลดเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาและเพิ่มปริมาณร้อยละของอัลคิลเอสเตอร์ที่ได้จากปฏิกิริยา [5,7] ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่สำคัญคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) จัดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้มากสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากให้ค่าผลผลิตที่สูง [8] ใช้เวลาที่สั้นกว่าในการทำปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่สมมูลกันได้ถึงประมาณ 4,000 เท่า [5, 9] นอกจากนี้เบสมีค่ากัดกร่อนต่อเครื่องมืออุตสาหกรรมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [8] ดังนั้นจึงสามารถใช้ถังปฏิกรณ์ที่เป็นเหล็กคาร์บอนซึ่งมีราคาถูกกว่า [9]

วัตถุดิบที่นำมาผลิตไบโอดีเซลมีอยู่ 2 ประเภทหลักได้แก่ พืชน้ำมัน (ทั้งประเภทที่สามารถนำน้ำมันไปบริโภคได้เช่น น้ำมันปาล์ม และไม่สามารถนำไปบริโภคได้อย่างเช่น สบู่ดำ) และน้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้ว ทำให้การผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันขึ้นอยู่กับผลิตผลทางการเกษตรเป็นสำคัญ ซึ่งทำให้ปัญหาการแย่งชิงวัตถุดิบระหว่างอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมด้านพลังงานทดแทน หรือปัญหาการแย่งชิงพื้นที่การเพาะปลูกระหว่างพืชน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลกับพืชน้ำมันที่ใช้เป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์จัดเป็นประเด็นที่ต้องมีการบริหารจัดการอย่างเหมาะสม [10-13] ประกอบกับร้อยละ 70-90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลเป็นค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบ [14-15] ด้วยเหตุนี้การค้นคว้าหาวัตถุดิบอื่นๆ ที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตไบโอดีเซลจึงเป็นแนวทางหนึ่งของการเพิ่มวัตถุดิบทางเลือกสำหรับการผลิตไบโอดีเซลให้มีความหลากหลายขึ้น ไขมันวัวจัดเป็นวัตถุดิบทางเลือกประเภทหนึ่งที่มีศักยภาพสำหรับการผลิตไบโอดีเซลได้ [16-18] เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย ราคาในท้องตลาดมีแนวโน้มถูกลง และมีปริมาณเหลือทิ้งมากขึ้น เป็นผลมาจากการนำไปใช้ประกอบอาหารและความต้องการบริโภคไขมันนั้นมีปริมาณน้อยลง [16,19] งานวิจัยฉบับนี้จึงได้จัดทำขึ้น เพื่อรายงานการใช้ประโยชน์ของไขมันวัวในการผลิตไบโอดีเซล พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละของการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอ-ริฟิเคชันในสภาวะที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2. วิธีการทดลอง

2.1 การสกัดน้ำมันจากไขมันวัว

ไขมันที่ใช้ในการศึกษาเป็นไขมันวัวที่ซื้อจากตลาดสด นำมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ และเจียว (rendering) ในกระทะไฟฟ้าที่ให้ความร้อนอ่อนๆ นาน 30 นาที แยกกากออกจากน้ำมัน วัดปริมาณน้ำมันที่ได้จากการเจียว จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางและตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง แบ่งตัวอย่างส่วนหนึ่งไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ปริมาณกรดไขมันอิสระตามวิธี ASTM D 664 และปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบด้วยวิธี AOAC(2005) 996.06 จากนั้นถ่ายตัวอย่างส่วนที่เหลือลงในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท นำไปแช่ในตู้เย็น ก่อนนำไปใช้ในการทดลองต่อไป ซึ่งน้ำมันดังกล่าวจะแข็งตัวเป็นไขสีขาวนวล เรียกว่า ไขวัว (beef tallows)

2.2 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

ปัจจัยที่ทำการศึกษาในขั้นตอนนี้ประกอบด้วยชนิดของเบสที่ใช้เป็นตัวเร่ง ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขวัว อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยขั้นตอนการผลิตมีรายละเอียดของวิธีการเป็นดังนี้คือ ชั่งไขวัวในปริมาณที่ต้องการใส่ลงในขวดก้นกลมสามคอ ติดตั้งอุปกรณ์ชุดรีฟลักซ์ โดยต่อขวดก้นกลมสามคอเข้ากับคอนเดนเซอร์ นำไปอุ่นที่อุณหภูมิที่ต้องการทดสอบประมาณ 10 นาที เตรียมเมทานอลในอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขวัวตามที่กำหนด ชั่งเบสที่ทำการศึกษาในปริมาณที่ต้องการ และนำไปละลายในเมทานอลที่เตรียมไว้จนเป็นเนื้อเดียวกัน เทสารละลายที่เตรียมได้ลงไปในขวดก้นกลมที่อุ่นน้ำมันไว้ ทำการกวนผสมด้วยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที จนอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาได้ตามที่กำหนดไว้ จะเริ่มจับเวลาการทำปฏิกิริยาตามที่ต้องการทดสอบ เมื่อทำปฏิกิริยาจนครบกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ เทผลิตภัณฑ์ลงในกรวยแยกและตั้งทิ้งไว้ 1 คืน ไขแยกกลีเซอรอลที่อยู่ชั้นล่างออก ให้เหลือแต่ชั้นบนซึ่งเป็นเมทิลเอสเตอร์หรือไบโอดีเซล นำไปล้างด้วยน้ำต้มเดือด จนกระทั่งน้ำที่ล้างมีค่าพีเอชเท่ากับค่าที่วัดได้ของน้ำตอนก่อนล้าง ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้น และนำชั้นไบโอดีเซลที่ได้ไปเติมแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต เพื่อดูดน้ำที่ยังแยกออกมาไม่หมดในชั้นน้ำมัน จากนั้นกรองเพื่อแยกโซเดียมซัลเฟตออก นำไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณร้อยละการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซล (เมทิลเอสเตอร์) โดยเทคนิค ^{1}H Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy (^{1}H-NMR) [20] โดยใช้ $CDCl_3$ เป็นตัวทำละลาย และมีสูตรในการคำนวณตามสมการ (1)

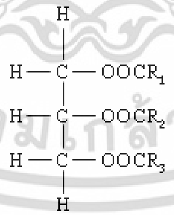
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Conversion\ to\ Methyl\ Esters\ (\%) = \frac{100\times(2\times Peak\ area\ of - OCH_3)}{3\times Peak\ area\ of \propto - CH_2} \quad (1)$$

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 องค์ประกอบของน้ำมันที่เจียวได้จากไขมันวัว

น้ำมันที่เจียวได้จากไขมันวัวมีปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, FFA) เป็นส่วนประกอบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.34% คิดเป็นค่าความเป็นกรดเท่ากับ 0.72 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ (Fatty Acid Composition) ในน้ำมันที่เจียวได้จากไขมันวัว โดยห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography) พบว่าไขวัวมีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงถึงร้อยละ 69.9 (ตารางที่ 1) โดยมีกรดปาล์มมิติก (Plamitic acid; C16:0) ในสัดส่วนสูงที่สุด (ร้อยละ 32.74) รองลงไปคือกรดสเตียริก (stearic acid, C18:0) ในสัดส่วนร้อยละ 25.93 สอดคล้องกับการศึกษาของวันทนีย์ [21] ที่รายงานว่าไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้องเช่นวัวและโคมีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบสูงถึง 60-90% ทำให้ไขมันวัวไม่เหมาะสมที่จะนำมาบริโภคเนื่องจากเมื่อรับประทานเข้าไปแล้วจะส่งผลต่อไขมันในกระแสเลือด รวมทั้งไปเพิ่มโคเลสเตอรอลชนิดเลว (LDL) ในร่างกาย ส่งผลให้เกิดโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น [22-23] และเมื่อนำข้อมูลองค์ประกอบของกรดไขมันไปใช้คำนวณมวลโมเลกุลโดยเฉลี่ยของหมู่อัลคิลของกรดไขมัน ซึ่งแสดงโดยสัญลักษณ์ R_1, R_2 และ R_3 ในรูปที่ 1 พบว่า R แต่ละตัวมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 222.8 กรัมต่อโมล และเมื่อนำไปรวมกับมวลโมเลกุลในส่วนหัวของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่ง 1 โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน 6 อะตอม ไฮโดรเจน 5 อะตอม และออกซิเจน 6 อะตอม (รูปที่ 1) จะได้ว่ามวลโมเลกุลโดยเฉลี่ยของไขวัวมีค่าเท่ากับ 841.5



รูปที่ 1. โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1. องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันที่เจียวได้จากไขมันวัว

ชนิด-ชื่อของกรดไขมัน		มวลโมเลกุลของกรดไขมัน (g/mol)	%composition
C8:0	Caprylic acid	144	0.06
C12:0	Lauric acid	200	0.39
C13:0	Tridecanoic acid	214	0.02
C14:0	Myristic acid	228	8.78
C14:1	Myristoleic acid	226	0.68
C15:0	Pentadecanoic acid	242	0.63
C15:1	Cis-10-Pentadecenoic acid	240	0.17
C16:0	Palmitic acid	256	32.74
C16:1 n-7	Palmitoleic acid	254	1.62
C17:0	Heptadecanoic acid	270	1.16
C17:1	Cis-10-Heptadecenoic acid	268	0.33
C18:0	Stearic acid	284	25.93
C18:1 n-9	Oleic acid	282	24.93
C18:1 n-7	Cis-Vaccenic acid	282	0.97
C18:2 n-6	Linoleic acid	280	0.79
C18:2t9t12	Linoelaidic acid	280	0.13
C18:3 n-3	α-Linolenic acid	278	0.09
C18:3 n-6	Cis-6,9,12-Octadecatrienoic acid	278	0.11
C18:4 n-3	Moroctic acid	276	0.12
C20:0	Arachidic acid	312	0.16
C20:1 n-9	Cis-11-Eicosenoic acid	310	0.07
C20:2 n-6	Cis-11,14-Eicosadienoic acid	308	0.02
C20:3 n-6	Cis-8,11,14-Eicosatrienoic acid	306	0.02
C22:0	Behenic acid	340	0.03

3.2 ผลของชนิดและปริมาณเบส

ปริมาณร้อยละของการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซล (เมทิลเอสเตอร์) ที่ได้จากการใช้เบส 3 ชนิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะมีค่าร้อยละการเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร์สูงกว่าเมื่อใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้พบว่าไบโอดีเซลที่เตรียมได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดมีค่าความเป็นกรดเป็นไปตามข้อกำหนดคุณสมบัติของไบโอดีเซลตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2556 ในขณะที่ไม่พบการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gryglewicz [24] ซึ่งไม่สามารถผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำได้เมื่อใช้ $Ca(OH)_2$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากความสามารถในการดูดความชื้นที่ดีของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

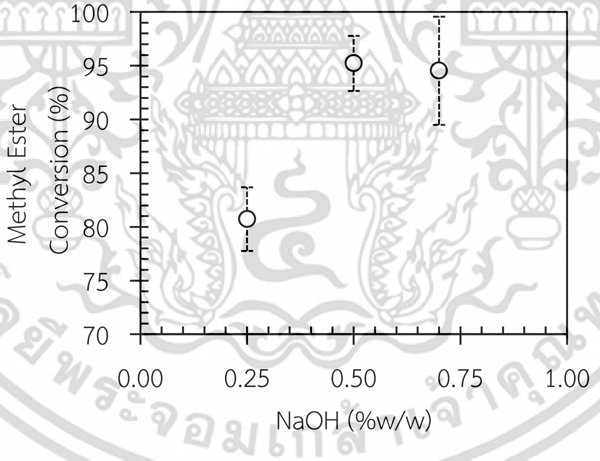
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งความชื้นดังกล่าวจะไปเร่งให้เกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันระหว่างกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันกับเบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดสบู่ขึ้น

ตารางที่ 2.ปริมาณร้อยละการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลของไขวัวเมื่อใช้เบส 3 ชนิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ได้

ชนิดของเบส	ร้อยละการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซล	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)
NaOH	95.47 ± 7.48	0.25 ± 0.07
KOH	88.41 ± 8.81	0.30 ± 0.13
$Ca(OH)_2$	N/A[†]	N/A[†]

[†]ไม่มีข้อมูล เนื่องจากไม่พบการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเตอร์กับกลีเซอรอล

รูปที่ 2 แสดงผลของการเพิ่มปริมาณ NaOH ต่อร้อยละของการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลที่ได้ เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขวัวเท่ากับ 6:1 อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่าปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 80.7±3.0 เป็นร้อยละ 95.2±2.6 เมื่อเพิ่มร้อยละโดยน้ำหนักของ NaOH จาก 0.25 เป็น 0.50 แต่เมื่อร้อยละโดยน้ำหนักของ NaOH มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.7 พบว่าร้อยละของการเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร์ที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันกับเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



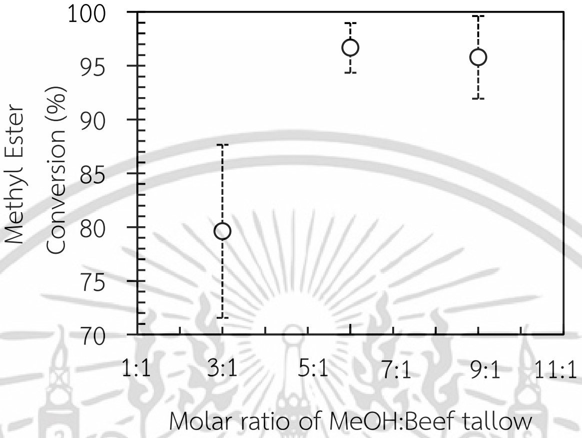
รูปที่ 2. ผลของปริมาณ NaOH ต่อร้อยละการเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร์จากไขวัวโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

3.3 ผลของปริมาณเมทานอล

ปริมาณของเมทานอลมีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 3 การเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขวัวจาก 3:1 เป็น 6:1 ทำให้ได้ไบโอดีเซลที่มีร้อยละของเมทิลเอสเตอร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 79.6±8.1 เป็นร้อยละ 96.7±2.3 อย่างไรก็ตามพบว่าค่าดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย (95.8±3.8) เมื่อเพิ่มอัตราส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

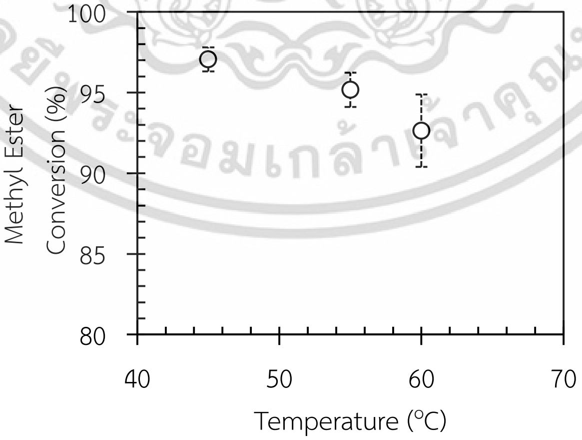
โดยโมลของเมทานอลต่อไขวัวเป็น 9:1 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณเมทานอลที่มากขึ้นในระบบ เพิ่มการละลายของกลีเซอรอลในเมทานอล ทำให้สมดุลของปฏิกิริยาเกิดย้อนกลับไปทางซ้ายมือ ส่งผลให้ได้ไบโอดีเซลน้อยลง



รูปที่ 3. ผลของปริมาณเมทานอลต่อร้อยละการเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร์จากไขวัวโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

3.4 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

การเพิ่มของอุณหภูมิที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไขวัวโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลทางลบต่อร้อยละการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4 ทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจาก 45 $^{\circ}$C เป็น 55 $^{\circ}$C และ 60 $^{\circ}$C ทำให้ร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ที่ได้มีแนวโน้มลดลงจากร้อยละ 97.1±0.7 เป็นร้อยละ 95.2±1.6 และ 92.6± 2.2 ตามลำดับ ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mendonca *et al.* [25] ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเมทานอลบางส่วนเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ส่งผลให้มีปริมาณของเมทานอลในเฟสของเหลวไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยา

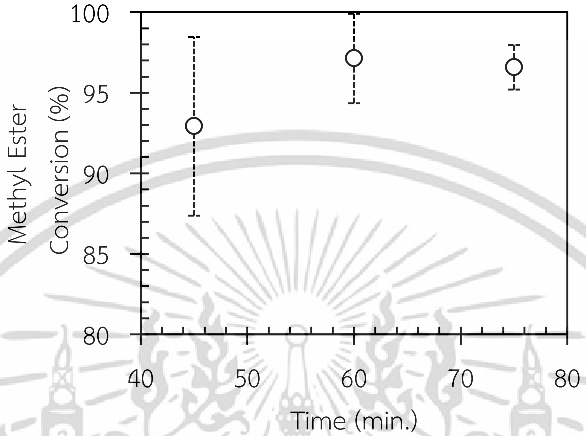


รูปที่ 4. ผลของอุณหภูมิต่อร้อยละการเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร์จากไขวัวโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของร้อยการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอ-ริฟิเคชันของไขวัวโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 5. ผลของระยะเวลาต่อร้อยละการเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร์จากไขวัวโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

จากรูปที่ 5 พบว่า เมื่อระยะเวลาในการทำปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 45 นาที เป็น 60 นาที ร้อยละการเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นเป็น 75 นาที ทำให้ร้อยละการเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร์มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากเมทิลเอสเตอร์บางส่วนอาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ส่งผลให้ปริมาณที่ได้มีค่าลดลง [16, 26]

4. สรุปผลการทดลอง

การผลิตไบโอดีเซลจากไขวัวด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ร้อยละการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซล (เมทิลเอสเตอร์) สูงกว่าเมื่อเทียบกับการใช้โพแทสเซียมไฮ-ดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ขณะที่ไม่พบการเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเตอร์เมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในงานวิจัยนี้พบว่าการผลิตไบโอดีเซลจากไขวัวโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะได้ร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ในปริมาณสูงถึงร้อยละ 97.1 เมื่อใช้ NaOH เข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขวัวเท่ากับ 6:1 อุณหภูมิและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส และ 60 นาที ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (References)

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2554. โครงการศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบต่อการใช้บี 20 แทนน้ำมันม่วงในเรือประมง : รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร. มูลนิธิเพื่อสถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. [Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. 2011. The Study of Feasibility & Impacts of Replacing Purple Diesel Oil with B20 for Fishing Trawlers: Executive Summary. Petroleum Institute of Thailand, Bangkok. (in Thai)]

[2] National Biodiesel Board. 2015. What is biodiesel? Source : http://www.biodiesel.org/what-is-biodiesel. Retrieved: June 13, 2015.

[3] U.S. Environmental Protection Agency. 2002. A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions: Draft Technical Report (EPA420-P-02-001). Office of Transportation and Air Quality, U.S. Environmental Protection Agency, USA.

[4] Miller, C.A. 2008. Characterizing Emissions from the Combustion of Biofuels (EPA/600/R-08/069). Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory, North Carolina, USA.

[5] Sivasamy, A., Cheah, K.Y., Fornasiero, P., Kemausuor, F., Zinoviev, S. and Miertus, S. 2009. Catalytic applications in the production of biodiesel from vegetable oils. *Chem. Sus. Chem.*, 2(4), 278-300.

[6] National Biodiesel Board. 2015. Biodiesel Emissions. Source : http://www.biodiesel.org/docs/ffs-basics/emissions-fact-sheet.pdf. Retrieved: June 13, 2015.

[7] Demirbas, A. 2005. Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic super critical methanol transesterification methods. *Progress in Energy Combustion Science*, 31(5-6), 466-487.

[8] ธีรยุทธ์ ธรรมวิจิตร. 2551. การหาสภาวะที่เหมาะสมทางสถิติสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. [Thamvijit, T. 2008. Statistical optimization for biodiesel production from *Jatropha curcas* oil using two-step catalyzed process. Master of Engineering, Chemical Engineering. The Graduate School, Kasetsart University. (in Thai)]

[9] Tongurai, C. 2011. Alkaline catalysis. Source : http://share.psu.ac.th/blog/eng-biodiesel/21487. Retrieved June 13, 2015.

[10] Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S. and Hawthorne, P. 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science*, 319 (5867), 1235-1238.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] Demirbas, A. 2009. Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management*. 50(1), 14-34.

[12] Enweremadu, C.C. and Mbarawa, M.M. 2009. Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oil--A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2205-2224.

[13] Escobar, J.C., Lora, E.S., Venturini, O.J., Yanez, E.E., Castillo, E.F. and Almazan, O. 2009. Biofuels: Environment, technology and food security. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1275-1287.

[14] Charoenchaitrakool, M. and Thienmethangkoon, J. 2011. Statistical optimization for biodiesel production from waste frying oil through two-step catalyzed process. *Fuel Processing Technology*, 92(1), 112-118.

[15] Martinez, S.L., Romero, R., Natividad, R. and Gonzalez, J. 2014. Optimization of biodiesel production from sunflower oil by transesterification using Na_2O/NaX and methanol. *Catalysis Today*, 220-222, 12-20.

[16] Ma, F., Clements, L.D. and Hanna, M.A. 1998. The effects of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow. *Transactions of the ASAE*, 41, 1261-1264.

[17] da Cunha, M.E., Krause, L.C., Moraes, M.S.A., Faccini, C.S., Jacques, R.A., Almeida, S.R., Rodrigues, M.R.A. and Caramão, E.B. 2009. Beef tallow biodiesel produced in a pilot scale. *Fuel Processing Technology*, 90(4), 570-575.

[18] Leung, D.Y.C., Wu, X. and Leung, M.K.H. 2010. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, 87(4), 1083-1095.

[19] Bhatti, H. N., Hanif, M. A., Qasim, M. and Rehman, A.-u., 2008. Biodiesel production from waste tallow. *Fuel*, 87(13-14), 2961-2966.

[20] ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพร และสายรุ้ง ซาวสุภา. 2555. เทคนิคการตรวจวัดปริมาณเมทิลเอสเตอร์ในไบโอดีเซล. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, 21(2), 66-74. [Rungrojchaipon, P. and Saowsupa, S. 2001. Techniques for determination of methyl ester in biodiesel. *Journal of Science Ladkrabang*, 21(2), 66-74. (in Thai)]

[21] วันทนีย์ พลวิเศษ. 2549. ขบวนการเปลี่ยนแปลงของไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้อง. *วารสารเกษตรพระวรุณ*, 3(1), 45-50. [Polviset, W. 2006. Fat synthesis in ruminants. *Prawarun Agricultural Journal,* 3(1), 45-50. (in Thai)]

[22] Williams, C.M. 2000. Dietary fatty acids and human health. *Annales De Zootechnie*, 49, 165-180.

[23] Doyle, E.M. 2004. Saturated Fat And Beef Fat As Related To Human Health. Food Research Institute, University of Wisconsin Madison, Wisconsin, USA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[24] Gryglewicz, S. 1999. Rapeseed oil methyl esters preparation using heterogenous catalysts. *Bioresource Technology*, 70(3), 249-253.

[25] Mendonca, D. R., Andrade, H. M. C., Guimaraes, P.R.B., Vianna, R.F., Meneghetti, S.M.P., Pontes, L.A.M. and Teixeira, L.S.G. 2011. Application of full factorial design and Doehlert matrix for the optimisation of beef tallow methanolysis via homogeneous catalysis. *Fuel Processing Technology*, 92(3), 342-348.

[26] Eevera, T., Rajendran, K. and Saradha, S. 2009. Biodiesel production process optimization and characterization to assess the suitability of the product for varied environmental conditions. *Renewable Energy*, 34(3), 762-765.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้