

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟ

Feasibility Study of Biodiesel Production from Waste Coffee Grounds Oil

โชคชัย เหมือนมาส^{1*} และรวมพร นิคม¹

Chokchai Mueanmas^{1*} and Ruamporn Nikhom¹

บทคัดย่อ

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีศักยภาพในการที่จะนำมาใช้แทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล เนื่องจากมีข้อดีทั้งในแง่ของการผลิตได้ง่าย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่วัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันปาล์ม ยังเป็นน้ำมันที่ใช้สำหรับการบริโภค การที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานในปริมาณมาก อาจส่งผลให้เกิดการขาดแคลนในแง่ของการบริโภคได้ อีกทั้งยังส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นด้วย ดังนั้น การหาวัตถุดิบใหม่เพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีเป้าหมายที่จะหาแหล่งวัตถุดิบอื่น ๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันปาล์มได้ โดยกากกาแฟ ซึ่งเป็นชีวมวลเหลือทิ้งที่มีความเป็นไปได้ในการที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเชื้อเพลิง เนื่องจากผลการทดลองเบื้องต้นในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟพบว่า กากกาแฟมีปริมาณน้ำมัน และกรดไขมันอิสระประมาณ 12.2% และ 16.5% โดยน้ำหนัก อีกทั้ง เมื่อศึกษาผลของปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน พบว่าสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ถึง 85% และสามารถผลิตเมทิลเอสเตอร์ได้ถึง 90.20% ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน ดังนั้น น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ จึงมีศักยภาพในการที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล

คำสำคัญ: กากกาแฟ, น้ำมันสกัดจากกากกาแฟ, กรดไขมันอิสระ, การทำปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน, ไบโอดีเซล

Abstract

Biodiesel is the potential fuel to substitute for fossil fuel, which is easy to produce and freindly for environment. Common feedstock (i.e. palm oil) used in the biodiesel production can also be consumed as a human food. When the large-scale of biodiesel is produced, it may result in a shortage of edible oil and also increase the production cost. Therefore, a new resource for the biodiesel production is an attractive choice. The aim of this paper is to study the feasibility of using the extracted oil from waste coffee grounds (WCG) as the new feedstock for the biodiesel production. The preliminary results showed that the amount of extracted oil from WCG was 12.2%wt in the presence of free fatty acid (FFA) 16.5%wt. Moreover, 85% of FFA was reduced by esterification reaction and 90.20% of methyl ester was produced by transesterification reaction. Therefore, WCG was potential feedstock for the biodiesel production.

Keywords: Waste Coffee Grounds, Extracted Oil from Waste Coffee Grounds, Free Fatty Acid, Two-Step Reaction, Biodiesel

¹อ.ดร., หลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

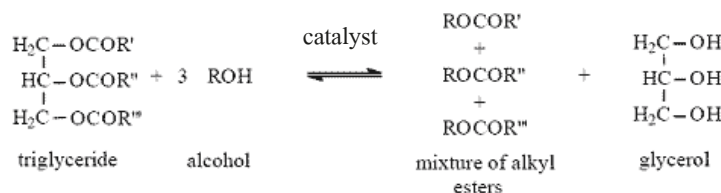
¹ Lecturer, Dr., Energy Engineering Program, Faculty of Engineering, Thaksin University, Phatthalung, 93210

*Corresponding author: Tel.: 074-609600 ต่อ 3602-3. E-mail address: cmueanmas@hotmail.com

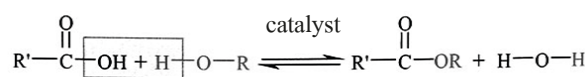
บทนำ

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ เช่น น้ำมันจากพืช หรือไขมันจากสัตว์ ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ในสถานะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรด หรือเบส ด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) จะได้ผลิตผลเป็น เอสเทอร์ (Ester) ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ (Biodegradable) และไม่มีพิษ (Nontoxic) ดังนั้นจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับยานพาหนะได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์แต่อย่างใด องค์ประกอบของออกซิเจนที่มีอยู่ในไบโอดีเซลจะส่งผลให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล ทำให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดน้อยลง ช่วยลดมลพิษทางอากาศ อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ไบโอดีเซลจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบัน ยังคงมีต้นทุนที่สูง โดยต้นทุนส่วนใหญ่เกิดจากราคาของน้ำมันพืชที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 66 [1] ของต้นทุนในการผลิตทั้งหมด จึงส่งผลให้ราคาขายของไบโอดีเซลไม่สามารถที่จะแข่งขันในเชิงธุรกิจกับน้ำมันปิโตรเลียมได้

ดังนั้น จึงได้มีการทดลองกันอย่างกว้างขวางเพื่อแสวงหาวัตถุดิบชนิดใหม่ในการนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล พบว่า ในกากกาแฟนั้นมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งน่าจะมีศักยภาพในการที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อทดแทนน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ อีกทั้งกากกาแฟเป็นผลพลอยได้ที่มีอยู่อย่างเหลือเฟือ แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันที่ไม่ใช้น้ำมันสำหรับการบริโภค ส่วนใหญ่แล้วจะมีกรดไขมันอิสระในปริมาณที่สูงเกินกว่า 1% ซึ่งไม่สามารถที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (ปฏิกิริยาที่ 1) ได้โดยตรง เนื่องจากกรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสจนเกิดเป็นสบู่ [2] จำเป็นต้องลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้ต่ำกว่า 1% ด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (ปฏิกิริยาที่ 2) เสียก่อน จึงจะสามารถนำไปผลิตไบโอดีเซลได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุน และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล



ปฏิกิริยาที่ 1 ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน



ปฏิกิริยาที่ 2 เอสเทอริฟิเคชัน

วิธีการวิจัย

วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบหลักสำหรับการศึกษาครั้งนี้ เป็นกากกาแฟจากร้าน Southern Coffee สาขาเทศบาลโก้ไต่เต๋ สครศรีธรรมราช ทำการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย AR เกรด 5 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน (Hexane) ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether) เอทิลอะซิเตต (Ethyl Acetate) เบนซีน (Benzene) และไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) ทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เมทานอล (Methanol) และกรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid) วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระโดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของกากกาแฟ

ปริมาณความชื้นของกากกาแฟทำการวิเคราะห์โดย ชั่งตัวอย่างกากกาแฟประมาณ 10 กรัม ให้น้ำหนักแน่นอน ในภาชนะที่ผ่านการอบจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง [3-4] ทิ้งให้เย็น ในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก และคำนวณปริมาณความชื้นโดยน้ำหนักฐานเปียก (Wet Basis) ตามสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100 \quad (1)$$

การศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

กากกาแฟที่ผ่านการสกัดด้วยเครื่องชงกาแฟ นำมาทำการอบเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการสกัดน้ำมันโดยชั่งกากกาแฟแห้งหนักประมาณ 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมหักตัวละลาย 50 มิลลิลิตร กวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงทำการกรองด้วยกระดาษกรองเพื่อแยกส่วนของสารละลายออกจากกากกาแฟ แล้วนำส่วนของสารละลายที่กรองได้ไปกลั่นแยกด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดันเพื่อให้ได้น้ำมันจากกากกาแฟ แล้วคำนวณร้อยละของผลได้ตามสมการที่ (2)

$$\text{ร้อยละผลได้ของน้ำมันจากกากกาแฟ} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักของกากกาแฟแห้ง (กรัม)}} \times 100 \quad (2)$$

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระตามมาตรฐาน AOCS Ca 5a-40 [5] ทำได้โดยชั่งตัวอย่างน้ำมันให้น้ำหนักแน่นอน 1-10 g ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml เติมแอลกอฮอล์ที่มีสภาพเป็นกลาง 50 ml ลงในตัวอย่าง เขย่าอย่างแรงให้ตัวอย่างละลายในแอลกอฮอล์ และเติมฟีนอล์ฟทาเลอินจำนวน 2-3 หยด แล้วทำการไทเทรตสารละลายตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรจนกระทั่งได้สีชมพูถาวร คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระตามสมการที่ (3)

$$\% \text{FFA (by weight)} = \frac{V \times C \times 26.75}{m} \quad (3)$$

โดยที่ V คือ ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ (mL) C คือ ความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้ (mol/L) m คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (g) และ 26.75 คือ ร้อยละ โดยน้ำหนักเฉลี่ยของกรดไขมันในน้ำมันจากกากกาแฟ

การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ ทำการศึกษาโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) Agilent 6890 ที่มี Flame Ionization Detector (FID) เพื่อหาสัดส่วนปริมาณของกรดไขมันแต่ละชนิด โดยใช้คอลัมน์ชนิด Select Biodiesel for FAME ที่มีความยาว 30 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร และมีความหนาของฟิล์มเคลือบ 0.25 ไมโครเมตร ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมีอัตราการไหลของก๊าซฮีเลียม ก๊าซไฮโดรเจน อากาศ และก๊าซไนโตรเจน เท่ากับ 1.0 30 300 และ 25 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ และมีค่า Split ratio เท่ากับ 50:1 โดยอุณหภูมิของ Injector และ Detector เท่ากับ 290°C และ 300°C ตามลำดับ สภาวะอุณหภูมิของ Oven เริ่มต้นที่ 210°C และคงที่ที่อุณหภูมิ 210°C เป็นเวลา 12 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 20°C ต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 250°C และคงที่ที่อุณหภูมิ 250°C เป็นเวลา 8 นาที

การศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน จะใช้เป็นปฏิกิริยาการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ และมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์ ในสภาวะที่มีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยการทำปฏิกิริยาจะชั่งน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 16.5% ลงในขวดก้นกลม ปริมาณ 20 กรัม แล้วให้ความร้อนด้วย Hot Plate และกวนสารด้วย Magnetic Stirrer จนได้อุณหภูมิ 60°C จากนั้นเติมเมทานอลที่อัตราส่วนเชิงโมลเท่ากับ 5 10 และ 15 ของกรดไขมันอิสระ และเติมกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 10% โดยมวลของกรดไขมันอิสระ โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 75 นาที จากนั้นเทสารที่ได้ลงในกรวยแยก ทำการล้างด้วยน้ำร้อนจนเป็นกลาง แล้วจึงนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120°C เพื่อกำจัดน้ำ จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อศึกษาอิทธิพลจากอัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่อัตราส่วน 4 5.5 และ 7 โดยมีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ในสภาวะอุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที แล้วจึงทำผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน และคำนวณร้อยละของผลได้ (%yield) ตามสมการที่ (4)

$$\text{ร้อยละผลได้ (\%yield)} = \frac{\text{ผลได้จริง}}{\text{ผลได้ตามทฤษฎี}} \times 100 \quad (4)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ลักษณะทางกายภาพของกากกาแฟ

กากกาแฟที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการศึกษาจะมีส่วนผสมที่ประกอบด้วยกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า (Robusta) และ อะราบิก้า (Arabica) ซึ่งลักษณะของกากกาแฟที่ผ่านการสกัดด้วยเครื่องชงกาแฟ จะเป็นผงหยาบ สีน้ำตาลดำ และมีกลิ่นฉุน (ภาพที่ 1 (ก)) เมื่อผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายจะพบว่าสีของกากกาแฟจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (ภาพที่ 1 (ข))



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของกากกาแฟ (ก) ก่อนการสกัดแยกน้ำมัน (ข) หลังการสกัดแยกน้ำมัน

การศึกษาปริมาณความชื้นในกากกาแฟ

การศึกษาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากกาแฟ โดยการอบตัวอย่างด้วยตู้อบไฟฟ้า ผลที่ได้เป็นดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า เปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากกาแฟมีค่าเท่ากับ 58.30% ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Haile และคณะ [3] แต่จะมีค่าแตกต่างจากงานวิจัยของ Ammerlaan และคณะ [6] และ Caetano และคณะ [7] โดยปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่จะเป็นผลสืบเนื่องมาจากขั้นตอนของการสกัดกาแฟโดยใช้น้ำร้อนด้วยเครื่องชงกาแฟ ซึ่งกระบวนการสกัดกาแฟด้วยเครื่องชงกาแฟนั้นจะต้องมีการใช้ความดันช่วยในขั้นตอนของการสกัด ดังนั้น ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่จึงแปรผกผันกับความดันที่ใช้ใน

ขั้นตอนการสกัด กล่าวคือ ถ้าเครื่องชงกาแฟใช้แรงดันสูงในการสกัดกาแฟปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ก็จะน้อย และในทางกลับกันถ้าเครื่องชงกาแฟมีแรงดันต่ำก็จะส่งผลให้ปริมาณความชื้นมีเหลืออยู่มาก ซึ่งปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในกากกาแฟจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลายอีกด้วย [8]

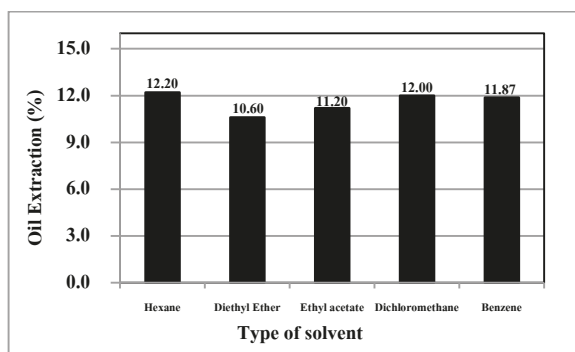
ตารางที่ 1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากกาแฟ

ความชื้น (%)			
จากการทดลอง	Haile และคณะ [4]	Ammerlaan และคณะ [6]	Caetano และคณะ [7]
58.30	57.60	40.50	65.70

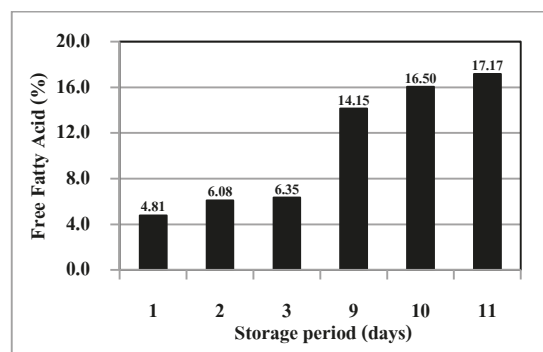
การศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

ปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นถึงประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ คือ ชนิดของตัวทำละลาย เนื่องจากการเลือกชนิดของตัวทำละลายเป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการสกัด ซึ่งตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดควรมีสมบัติเช่นเดียวกับตัวถูกละลาย ไม่ควรเป็นพิษและราคาไม่แพง ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดสารในห้องปฏิบัติการจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ Hexane Diethyl ether Ethyl acetate Dichloromethane และ Benzene มาใช้ในการศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ ซึ่งผลที่ได้เป็นดังภาพที่ 2

จากการศึกษาประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ผลที่ได้พบว่าร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้ด้วยตัวทำละลาย Hexane มีค่ามากที่สุด เนื่องจากตัวทำละลายทั้งหมดที่เลือกใช้ในการศึกษา Hexane เป็นสารที่มีค่าความเป็นขั้วต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับโมเลกุลของน้ำมันที่มีค่าความเป็นขั้วต่ำด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Al-Hamamre และคณะ [6]



ภาพที่ 2 แสดงร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟต่อตัวทำละลายชนิดต่างๆ



ภาพที่ 3 แสดงร้อยละของกรดไขมันอิสระในน้ำมันจากกากกาแฟต่อระยะเวลาการเก็บกากกาแฟเปียกก่อนการอบ

การศึกษาปริมาณน้ำในน้ำมันกากกาแฟ

ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันกากกาแฟที่ได้จากการสกัด ซึ่งมาจากปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในกากกาแฟนั้น จะสามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในขั้นตอนการอบไล่ความชื้น นั่นคือ ถ้าประสิทธิภาพในการอบสูง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันกากกาแฟก็จะน้อย แต่ในทางกลับกันถ้าประสิทธิภาพในการอบต่ำก็จะส่งผลให้มีปริมาณน้ำในน้ำมันกากกาแฟสูง ซึ่งปริมาณน้ำที่มีอยู่นี้จะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้ร้อยละของผลได้ของผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันลดลง [9-11] จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ พบว่ามีปริมาณน้ำเท่ากับ 0.24% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อยในการที่จะส่งผลเสียต่อการเกิดปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Park และคณะ [12]

การศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันกากกาแฟ

ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญมากปัจจัยหนึ่งสำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยปริมาณกรดไขมันอิสระที่สูงกว่า 1% จะลดประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยา [13-14] กล่าวคือ กรดไขมันที่มีอยู่จะเกิดปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสบู่ จนทำให้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาภายในระบบมีปริมาณน้อยลงทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ อีกทั้งปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นก็จะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการแยกชั้นของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นอีกด้วย โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันกากกาแฟ เป็นดังแสดงในตารางที่ 2

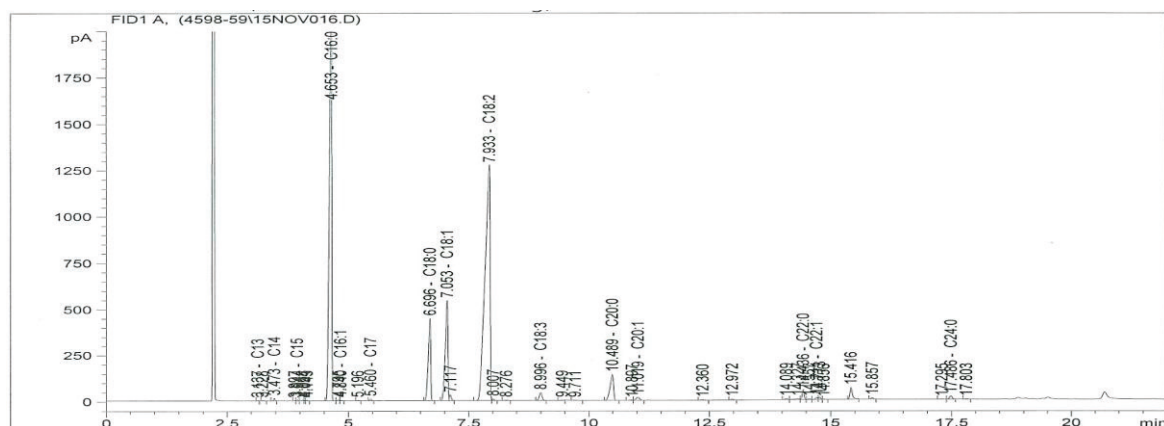
นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันกากกาแฟที่ระยะเวลาต่างๆ กันของการเก็บกากกาแฟสดก่อนการอบไล่ความชื้น พบว่าปริมาณกรดไขมันที่ได้เป็นไปตามภาพที่ 3 จากกราฟจะเห็นว่าปริมาณกรดไขมันอิสระจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนวันที่เก็บกากกาแฟสดเพิ่มมากขึ้น โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชนั้น ได้แก่ ความชื้น ความร้อน ออกซิเจนในอากาศ แสงสว่าง และระยะเวลา ดังนั้นจึงควรเก็บวัตถุดิบหรือน้ำมันในภาชนะที่ปราศจากความชื้น อากาศ และที่บดแสงจะช่วยลดการเกิดปริมาณกรดไขมันอิสระให้น้อยลง [17]

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

% กรดไขมันอิสระ				
จากการทดลอง		Al-Hamamre	Haile [15]	Pichai and
กากกาแฟที่เก็บในตู้เย็น 1 วัน	กากกาแฟที่เก็บในตู้เย็น 10 วัน	และคณะ [6]		Krit [16]
4.81	16.50	3.65	4.90	0.41

การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟด้วยเทคนิค GC-FID พบว่าน้ำมันที่สกัดได้ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว เท่ากับ 46.05% และ 53.95% ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีมากที่สุดคือน้ำมันกากกาแฟคือ Linoleic acid (C18:2) รองลงมาคือ Palmitic acid (C16:0) และประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำมันกากกาแฟด้วยเทคนิค GC-FID พบว่ามีปริมาณของกรดไขมันที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Melo และคณะ [18] และ Vardon และคณะ [19]

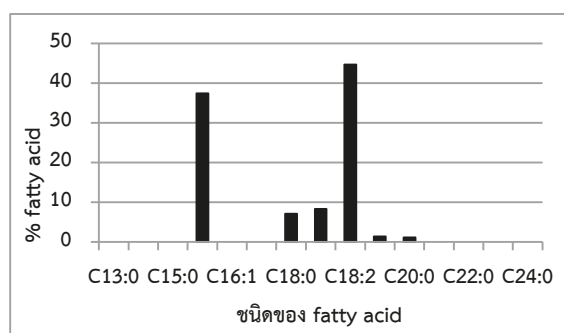


ภาพที่ 4 แสดงโครมาโทแกรมของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

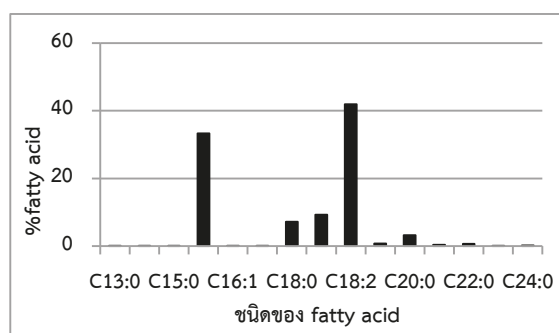
เมื่อนำ %Fatty acid ของน้ำมันจากกากกาแฟที่วิเคราะห์ได้ของงานวิจัยอื่น ๆ และของงานวิจัยชิ้นนี้มาเขียนกราฟ เพื่อแสดง Fatty Acid Profile เทียบกับองค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม พบว่า องค์ประกอบของน้ำมันทั้งสองชนิดมีความใกล้เคียงกันดังแสดงในภาพที่ 5 (ก) – 5 (ง)

การศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

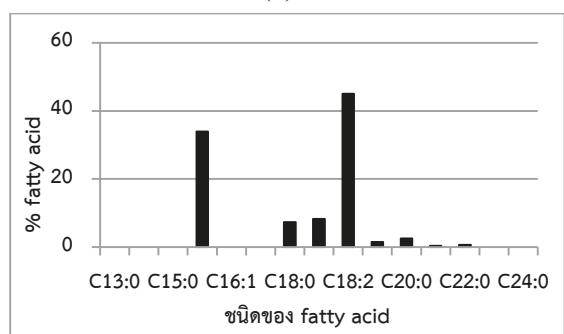
จากการศึกษาเบื้องต้นในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 10% โดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 75 นาที ผลที่ได้เป็นดังแสดงในภาพที่ 6 พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อ %FFA ที่ 5 10 และ 15 จะส่งผลให้ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่มีปริมาณเท่ากับ 3.40 2.68 และ 2.37 ตามลำดับ จากนั้นจึงนำเอาน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟที่ผ่านกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันจนกรดไขมันอิสระเหลือเพียง 2.37% มาทำการศึกษาด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ปริมาณเชิงมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันเท่ากับ 1% และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที ผลที่ได้เป็นดังแสดงในภาพที่ 7 พบว่า เมื่ออัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 7 จะส่งผลให้ปริมาณของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจาก 88.20% เป็น 90.20% ซึ่งจากผลการทดลองของทั้งสองปฏิกิริยาจะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของเมทานอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นจะทำให้โอกาสที่โมเลกุลของ เมทานอลจะเกิดการชนกับโมเลกุลของน้ำมันจนเกิดปฏิกิริยานั้นมีมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นเช่นกัน และเมื่อพิจารณาร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลพบว่าจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลเพิ่มขึ้น เป็นผลสืบเนื่องมาจากปริมาณเมทานอลที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณเมทานอลที่เหลืออยู่ในชั้นของไบโอดีเซล และกลีเซอรอลภายหลังจากการทำปฏิกิริยามีปริมาณมากตามไปด้วย ทำให้มีประสิทธิภาพต่ำในการแยกชั้น จึงทำให้เกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Samnang และคณะ [21]



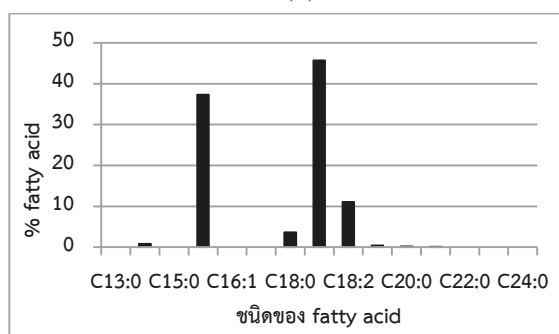
(ก)



(ข)



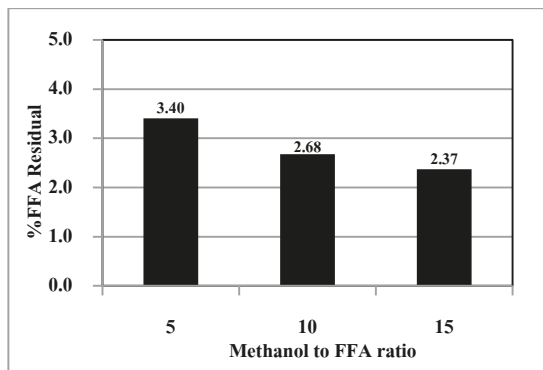
(ค)



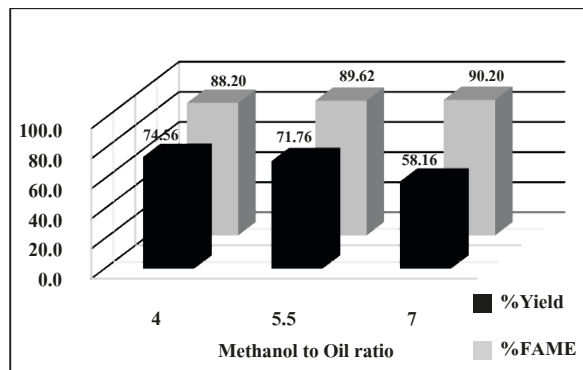
(ง)

ภาพที่ 5 แสดงลักษณะของ Fatty Acid Profile ของน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟ

(ก) Melo และคณะ [18] (ข) Vardon และคณะ [19] (ค) งานวิจัยชิ้นนี้ (ง) Fatty Acid Profile ของน้ำมันปาล์ม [20]



ภาพที่ 6 แสดงร้อยละของกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำมันจากกากกาแฟต่ออัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอล หลังจากผ่านการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่ 60°C เป็นเวลา 75 นาที และใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 10% โดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ



ภาพที่ 7 แสดงร้อยละของเมทิลเอสเทอร์และร้อยละของผลได้อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอล หลังจากผ่านการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 60 นาที และใช้ปริมาณเชิงมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันเท่ากับ 1%

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการใช้น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล พบว่า ปริมาณของน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับ 12.20% โดยน้ำหนัก และปริมาณของกรดไขมันอิสระจะแปรผันโดยตรงกับระยะเวลาการเก็บกากกาแฟสดก่อนการอบ โดยเมื่อเก็บกากกาแฟไว้ในตู้เย็นเป็นระยะเวลา 10 วันจะทำให้ปริมาณ FFA เพิ่มขึ้นเป็น 16.5% ดังนั้นจึงควรทำการอบกากกาแฟทันทีเพื่อยับยั้งการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระ อีกทั้งองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันที่สกัดได้ยังมีความคล้ายคลึงกับองค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม และเมื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าสามารถที่จะลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันจากกากกาแฟได้ถึง 85% และสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ถึง 90.20% ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ดังนั้น น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟจึงมีความเป็นไปได้ในการที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ประเภททุนพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณที่เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับทำงานวิจัยชิ้นนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Abdullah, M. and Koc, A. B. (2013). "Oil removal from waste coffee grounds using two-phase solvent extraction enhanced with ultrasonication", *Renewable Energy*. 50, 965-970.
- [2] Razak, N.H., Hashim, H., Yunus, A.N., Ghafar, F. and Zulkafli, N.I. (2016). "Effects of hygroscopic potash lye catalyst concentration on the waste chicken fat methyl ester production", *Journal of Engineering and Technology*. 7, 103-109.

- [3] Caetano, N. S., Silva, V. F. M. and Matab, T. M. (2012). "Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production", **Chemical Engineering Transactions**. 26, 267-272.
- [4] Haile, M., Asfaw, A. and Asfaw, N. (2013). "Investigation of Waste Coffee Ground as a Potential Raw Material for Biodiesel Production", **International Journal of Renewable Energy Research**. 3, 854-860.
- [5] AOCS official method Ca 5a-40, Available online at <https://scribd.com/>.
- [6] Ammerlaan, T., Barrière, V., Genest-Richard, P. and Rabow, S. (2012). **Tales of a Forgotten Bioresource: The Recycling of Spent Coffee Grounds**, Department of Bioresource Engineering McGill University Montréal, Canada.
- [7] Caetano, N. S., Silva, V. F. M., Melo, A. C. and Mata, T. M. (2013). "Potential of Spent Coffee Grounds for Biodiesel Production and Other Applications", **Chemical Engineering Transactions**. 35, 1063-1068.
- [8] อนรรฆมอร์ ศรีไสยเพชร และ มาโนชญ์ ถนอมวัฒน์. (2555). การพัฒนาวิธีการสกัดแยกและวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ. รายงานผลการวิจัย. 1-76, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [9] Zhang, H., Gao, J., Zhao, Z., Chen, G. Z., Wu, T. and He, F. (2016). "Esterification of fatty acids from waste cooking oil to biodiesel over a sulfonated resin/PVA composite", **Catalysis Science & Technology**. 6, 5590-5598.
- [10] Petchmala, A., Yujaroen, D., Shotipruk, A., Goto, M. and Sasaki, M. (2008). "Production Methyl Esters from Palm Fatty Acids in Supercritical Methanol", **Chiang Mai Journal Science**. 35, 23-28.
- [11] Liu, Y., Lotero, E. and Jr., J. G. G. (2006). "Effect of water on sulfuric acid catalyzed esterification", **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**. 245, 132-140.
- [12] Park, J.-Y., Wang, Z.-M., Kim, D.-K. and Lee, J.-S. (2010). "Effects of water on the esterification of free fatty acids by acid catalysts", **Renewable Energy**. 35, 614-618.
- [13] Chai, M., Tu, Q., Lu, M. and Yang, Y. J. (2014). "Esterification pretreatment of free fatty acid in biodiesel production, from laboratory to industry", **Fuel Processing Technology**. 125, 106-113.
- [14] Kombe, G. G., Temu, A. K., Rajabu, H. M. and Mrema, G. D. (2015). "High Free Fatty Acid (FFA) Feedstock Pre-Treatment Method for Biodiesel Production", **In Second International Conference on Advances in Engineering and Technology**. 176-182.
- [15] Haile, M. (2014). "Integrated valorization of spent coffee grounds to biofuels", **Biofuel Research Journal**. 1, 65-69.
- [16] Pichai, E. and Krit, S. (2015). "OPTIMIZATION OF SOLID-TO-SOLVENT RATIO AND TIME FOR OIL EXTRACTION PROCESS FROM SPENT COFFEE GROUNDS USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY", **ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences**. 10, 7049-7052.
- [17] อธิยา คงชื่น รัตนชัย ไพรินทร์ แก้วกันยา สุธประเสริฐ และวารุณี ลิ้มม้น. (2014). "การศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ในขณะการเก็บรักษา", **Agricultural Science Journal**. 45, 261-264.
- [18] Melo, M. M. R. d., Barbosa, H. M. A., Passos, C. P. and Silva, C. M. (2014). "Supercritical fluid extraction of spent coffee grounds: Measurement of extraction curves, oil characterization and economic analysis", **The Journal of Supercritical Fluids**. 86, 150-159.
- [19] Vardon, D. R., Moser, B. R., Zheng, W., Witkin, K., Evangelista, R. L., Strathmann, T. J., Rajagopalan, K. and Sharma, B. K. (2013). "Complete utilization of spent coffee grounds to produce biodiesel, bio-oil, and biochar", **ACS Sustainable Chemistry and Engineering** 1. 1286-1294.

- [20] Roschat, W., Siritanon, T., Yoosuk, B. and Promarak, V. (2016). "Biodiesel production from palm oil using hydrated lime-derived CaO as a low-cost basic heterogeneous catalyst", **Energy Conversion and Management**. 108, 459-467.
- [21] Samniang, A., Tipachan, C. and Kajorncheappun-ngam, S. (2014). "Comparison of biodiesel production from crude *Jatropha* oil and *Krating* oil by supercritical methanol transesterification", **Renewable Energy**. 68, 351-355.