สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายร่วมกับคลื่นเสียงความถี่สูงเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

Optimization of Coffee Oil Extraction from Spent Coffee Grounds by Using Solvent and Ultrasound-Assisted Extraction as a Biodiesel Feedstock

สาลินี ศรีวงษ์ชัย[1*] ชวกร โป้ซิ้ว[1] อรพรรณ ใจสมุทร[2] และรุจิรัตน์ กิจเลิศพรไพโรจน์[3]

Salinee Sriwongchai[1*] Chawagorn Posiw[1] Orapun Jaisamut[2] and Rujirat Kitleartpornpairoat[3]

[1]สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว 27160

[2]คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว 27160

[3]ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

[1] Natural Resources and Environment Program, Faculty of Science and Social Sciences, Burapha University Sakaeo Campus, Sakaeo 27160

[2]Faculty of Science and Social Sciences, Burapha University Sakaeo Campus, Sakaeo 27160

[3]Center for Scientific and Technological Equipment, Suranaree University of Technology 30000

***Corresponding author; E-mail:** salinee@buu.ac.th

Received: 26 June 2019 | Revised: 26 July 2019 | Accepted: 30 August 2019

บทคัดย่อ

กากกาแฟเป็นวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตกาแฟสำเร็จรูปหรือจากร้านกาแฟสด ประกอบด้วยสารสำคัญหลายชนิด ได้แก่ โพลีแซคคาไรด์ โปรตีน ไขมัน คาเฟอีน สารประกอบฟีนอลและแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นพลังงานชีวภาพได้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายร่วมกับคลื่นเสียงความถี่สูง (50/60 เฮิรตซ์) และตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมันที่สกัดได้ เพื่อใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล โดยศึกษาชนิดของตัวทำละลาย (เฮกเซน คลอโรฟอร์ม เอทานอลและเมทานอล) อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อตัวทำละลาย (1:1, 1:2, 1:3, 1:4 และ 1:5) ระยะเวลา (15, 30, 45 และ 60 นาที) และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด (30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส) ผลจากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟคือเฮกเซนที่อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อตัวทำละลาย 1:5 ระยะเวลา 15 นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงสุดร้อยละ 9.47 โดยน้ำหนักแห้ง และน้ำมันที่สกัดได้มีความหนืด 51.20 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ความหนาแน่น 0.9420 กิโลกรัมต่อลิตร และกรดไขมันอิสระร้อยละ 3.28 น้ำมันจากกากกาแฟมีคุณสมบัติเพียงพอและน่าจะนำไปใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซลได้

คำสำคัญ : น้ำมันจากกากกาแฟ ตัวทำละลาย คลื่นเสียงความถี่สูง การสกัด ไบโอดีเซล

Abstract

Spent coffee grounds (SCG) is the biomass residues of the coffee industry and coffee shop containing many important compounds such as polysaccharides, proteins, fats, caffeine, phenolic compounds and minerals that make them as a promising feedstock for biofuel. This study aimed to investigate the optimal conditions of oil extraction from the spent coffee ground by solvent and ultrasound-assisted extraction (50/60 Hz) and some physical and chemical properties of extracted oil as a biodiesel feedstock. The experiment was carried out to examine the type of solvents (hexane, chloroform, ethanol and methanol), spent coffee grounds to solvent ratio (1:1, 1:2, 1:3, 1:4 and 1:5), extraction time (15, 30, 45 and 60 min) and extraction temperature (30, 40 and 50 °C). The optimal conditions were hexane, spent coffee grounds to solvent ratio of 1:5, extraction time of 15 min and extraction temperature at 30 °C, and the highest extracted oil yield was 9.47 % (wt./wt.), and kinetic viscosity of 51.20 $mm^2 s^{-1}$, density of 0.9420 $kg l^{-1}$ and free fatty acid of 3.28 %. The extracted oil from spent coffee grounds has enough qualification and a potential to be used as biodiesel feedstock.

Keywords: Spend coffee ground oil, Solvent extraction, Ultrasound, Extraction, Biodiesel

บทนำ

จากการที่จำนวนประชากรโลกเพิ่มสูงขึ้นและการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมทำให้มีความต้องการในการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วโลกเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่แหล่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีสำรองอยู่เริ่มขาดแคลน หลายประเทศได้มีการมองหาแหล่งพลังงานที่สามารถจะนำมาเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล “ไบโอดีเซล” เป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลและเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ หรือน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ที่ผ่านการใช้งานแล้วมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรดหรือเบสด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น (transesterification) ได้ผลิตผลเป็นเอสเทอร์ (ester) ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล [1] แต่ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพ (biodegradable) ไม่มีพิษ (nontoxic) เป็นพลังงานสะอาดที่ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับยานพาหนะได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์แต่อย่างใด [2] ถึงแม้ว่าไบโอดีเซลจะมีแหล่งวัตถุดิบเพื่อการผลิตที่หลากหลาย แต่ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการอุปโภคไบโอดีเซลของประชากรทั่วโลก เพื่อตอบสนองต่อความต้องการ ลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดความขัดแย้งระหว่างการนำพืชอาหารมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล [3] การค้นคว้าและแสวงหาแหล่งวัตถุดิบในการผลิตไบโอ

ดีเซลราคาถูกจึงนับว่าเป็นสิ่งที่ท้าทายและหลายประเทศกำลังให้ความสนใจในยุคปัจจุบัน

"กากกาแฟ" (spent coffee ground; SCG) เป็นวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตกาแฟสำเร็จรูปหรือจากร้านกาแฟสด กากกาแฟประกอบไปด้วยสารสำคัญหลายชนิดที่ยังคงเหลืออยู่ เช่น โพลีแซคคาไรด์ กรดไขมัน โปรตีน คาเฟอีน สารประกอบฟีนอลและแร่ธาตุต่างๆ [4] และยังพบว่ากากกาแฟมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 10-15 โดยน้ำหนักแห้ง [5] ซึ่งปริมาณน้ำมันที่พบจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของกาแฟ เช่น กากกาแฟสายพันธุ์อะราบิก้า (*Coffea arabica*) มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 12-18 ส่วนกากกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า (*Coffea canephora var. robusta*) มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 9-14 [6] เป็นต้น นอกจากนี้ ปริมาณน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟยังขึ้นอยู่กับวิธีการชงกาแฟ (brewing method) ชนิดของตัวทำละลาย [7, 8] และกระบวนการที่ใช้ในการสกัด [9] โดยน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟร้อยละ 80-90 ประกอบไปด้วยสารกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระ [5, 6] จากการรายงานของ Somnuk และคณะ [5] พบว่ากากกาแฟสายพันธุ์อะราบิก้าที่ผ่านเครื่องชงแบบเอสเพรสโซ (espresso brewing) และนำมาสกัดน้ำมันด้วย เฮกเซนร่วมกับเครื่องสกัดน้ำมันแบบหมุนวน (circular process) มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 14.7 โดยน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ Rocha และคณะ [9] รายงานว่ากากกาแฟสายพันธุ์อะราบิก้ามีน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 12 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อสกัดด้วยเฮกเซนร่วมกับคลื่นเสียงความถี่สูง ซึ่งน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟมีองค์ประกอบของกรดไขมันคล้ายคลึงกับน้ำมันที่สกัดได้จากปาล์มน้ำมัน และสามารถนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ [8] ปัจจุบันมีความพยายามศึกษาการใช้ประโยชน์จากกากกาแฟเพื่อเพิ่มมูลค่าในหลายลักษณะ เช่น การนำกากกาแฟไปทำสปา ผลิตสบู่ ใช้เพื่อเป็นสีย้อมผ้า [8] ผลิตปุ๋ย ใช้เป็นวัสดุเพาะเห็ดและผลิตเป็นแผ่นไม้อัด (particle board) [6] เป็นต้น รวมไปถึงการใช้ประโยชน์จากกากกาแฟเพื่อเป็นพลังงานทดแทนในการผลิตไบโอดีเซลซึ่งได้รับความสนใจในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ด้วยคุณสมบัติของน้ำมันที่สกัดได้ ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีแล้ว กากกาแฟยังเป็นวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งที่ไม่ได้นำมาบริโภค (non-food) จึงช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองในการผลิตไบโอดีเซลซึ่งเป็นพืชอาหารได้อีกทางหนึ่ง [4] และช่วยลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกากกาแฟเหลือทิ้งและตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้ คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงประโยชน์ของกากกาแฟซึ่งเป็นวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งที่สามารถหาได้ง่ายในยุคปัจจุบัน จึงได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายร่วมกับคลื่นเสียงความถี่สูง ซึ่งการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยวิธีการนี้เป็นวิธีที่สามารถสกัดน้ำมันจากตัวอย่างที่มีความชื้นได้ ใช้ตัวทำละลายน้อย เวลาในการสกัดสั้นและประหยัดพลังงานมากกว่าวิธีการสกัดน้ำมันแบบซอกห์เลต (soxhlet extraction) หรือวิธีการสกัดน้ำมันแบบคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤติยวดยิ่ง (supercritical carbon dioxide extraction) [9] และทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟถึงความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับการ

ผลิตไบโอดีเซล ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปต่อยอดและพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลจากกากกาแฟได้ในอนาคต

วัสดุและวิธีการศึกษา

1. วัสดุและสารเคมี

กากกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า (*C. canephora var. robusta*) จากร้านโมโน คาเฟ่ (Mono Café) ซึ่งเป็นร้านจำหน่ายกาแฟสดในอำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว (ประเทศไทย) นำมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นและป้องกันการเน่าเสียที่เกิดจากจุลินทรีย์ [9] ในการศึกษาเตรียมตัวอย่างกากกาแฟครั้งเดียวและใช้ตลอดการศึกษา ตัวทำละลายที่ใช้ในการศึกษาเป็นตัวทำละลายเกรดวิเคราะห์ (analytical reagent grade) ได้แก่ เฮกเซนร้อยละ 99.0 เมทานอลร้อยละ 99.0 เอทานอลร้อยละ 99.5 และคลอโรฟอร์มร้อยละ 99.0 (Ajax FineChem Laboratory Chemicals Co. Ltd.)

2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายร่วมกับคลื่นเสียงความถี่สูง

ชั่งตัวอย่างกากกาแฟที่ผ่านการอบแห้งแล้ว 5.0 กรัม ใส่ในหลอดทดลองฝาเกลียวขนาด 25 x 150 มิลลิเมตร (ปริมาตร 55 มิลลิลิตร) เติมตัวทำละลายได้แก่ เฮกเซน เมทานอล เอทานอลและคลอโรฟอร์ม ปริมาตร 20.0 มิลลิลิตร เพื่อให้อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:4 [10] ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร (vortex mixer) รุ่น Vortex Mixer Genie 2 ยี่ห้อ Scientific Industries และนำไปใส่ในอ่างส่งคลื่นความถี่สูง (sonicator bath) รุ่น Elmasnic S60/H ยี่ห้อ Elma ที่ 50/60 เฮิรตซ์ (Hz) อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที จากนั้นปรับอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อตัวทำละลาย ดังนี้ 1:1 (กากกาแฟ 5.0 กรัม ต่อเฮกเซน 5.0 มิลลิลิตร)1:2 (กากกาแฟ 5.0 กรัม ต่อเฮกเซน 10.0 มิลลิลิตร)1:3 (กากกาแฟ 5.0 กรัม ต่อเฮกเซน 15.0 มิลลิลิตร) [11] 1:4 (กากกาแฟ 5.0 กรัม ต่อเฮกเซน 20.0 มิลลิลิตร) [10] และ 1:5 (กากกาแฟ 5.0 กรัม ต่อเฮกเซน 25.0 มิลลิลิตร) [11] ปรับระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมัน ดังนี้ 15, 30, 45 และ 60 นาที และปรับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมัน ดังนี้ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สารละลายกากกาแฟที่ผ่านการสกัดน้ำมันแล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรอง W.&R. Balston Ltd. Genuine Whatman No.1 และนำสารละลายที่ผ่านการกรองไปอบที่อุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อระเหยตัวทำละลายและน้ำที่ยังคงเหลืออยู่ [9] ชั่งน้ำหนัก บันทึกปริมาณน้ำมันที่สกัดได้และนำวิเคราะห์หาร้อยละทั้งหมดของน้ำมัน

3. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้จากตัวอย่างกากกาแฟ นำมาคำนวณเพื่อหาร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้ตามสูตรการคำนวณของ Phimsen และคณะ [14] ดังนี้

$$\%\text{ของน้ำมันที่สกัดได้} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้}}{\text{น้ำหนักแห้งของกากกาแฟ}} \times 100$$

4. การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid; FFA) ตามวิธีของ AOAC Ca 5a-40 [12] โดยนำน้ำมันที่สกัดได้จากตัวอย่างกากกาแฟที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (1-10 กรัม) มาเติมสารละลายแอลกอฮอล์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และหยดสารละลาย

อินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน 3-5 หยด เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล (N) จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูถาวร บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้แล้วนำไปคำนวณหาร้อยละของกรดไขมันอิสระตามสูตรการคำนวณ ดังนี้

% FFA = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร) X ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล) X 25.6 /น้ำหนักตัวอย่างของน้ำมัน (กรัม)

วิเคราะห์ความหนืดของน้ำมันด้วยเครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer รุ่น DV-1 และวิเคราะห์ความหนาแน่นด้วยขวดพิคโนมิเตอร์ที่มีปริมาตร 10 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนักที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส [13]

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทุกการทดลองทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และนำข้อมูลทั้งหมดวิเคราะห์ทางสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของชุดการทดลองในแต่ละพารามิเตอร์ด้วยวิธีตูกี (Turkey's Honestly Significant Difference; HSD)

ผลการศึกษา

1. สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายร่วมกับคลื่นเสียงความถี่สูง

จากการศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟร่วมกับคลื่นเสียงความถี่สูงโดยใช้ตัวทำละลาย ได้แก่ เฮกเซน เมทานอล เอทานอลและคลอโรฟอร์ม พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่สกัดน้ำมันจากกากกาแฟได้สูงสุดร้อยละ 8.76 โดยน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ คลอโรฟอร์มร้อยละ 7.08 โดยน้ำหนักแห้ง เอทานอลร้อยละ 5.67 โดยน้ำหนักแห้ง และเมทานอลร้อยละ 2.16 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Figure 1A)

จากการศึกษาอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายร่วมกับคลื่นเสียงความถี่สูง โดยใช้กากกาแฟต่อเฮกเซนต่างกัน ดังนี้ 1:1, 1:2,1:3, 1:4 และ 1:5 พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากการสกัดด้วยอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อเฮกเซนต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยที่อัตราส่วน 1:5 เป็นอัตราส่วนที่สกัดน้ำมันได้สูงสุดร้อยละ 9.45 โดยน้ำหนักแห้ง รองลงมาคืออัตราส่วน 1:4 ร้อยละ 8.71 โดยน้ำหนักแห้ง อัตราส่วน 1:3 ร้อยละ 6.00 โดยน้ำหนักแห้ง และอัตราส่วน 1:2 ร้อยละ 2.59 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนที่อัตราส่วน 1:1 ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ (Figure 1B)

จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายร่วมกับคลื่นเสียงความถี่สูง โดยใช้อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อเฮกเซน 1:5 เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปใส่ในอ่างส่งคลื่นความถี่สูงที่ 50/60 เฮิรตซ์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการสกัด 15, 30, 45 และ 60 นาที พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้โดยใช้ระยะเวลาในการสกัดต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ระยะเวลา 15 นาที เป็นระยะเวลาที่

สกัดน้ำมันได้สูงสุดร้อยละ 9.47 โดยน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ ระยะเวลา 45 นาที ร้อยละ 9.40 โดยน้ำหนักแห้ง ระยะเวลา 30 นาที ร้อยละ 9.39 โดยน้ำหนักแห้ง และระยะเวลา 60 นาที ร้อยละ 9.44 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Figure 1C)

จากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายร่วมกับคลื่นเสียงความถี่สูง โดยใช้อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อเฮกเซน 1:5 เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปใส่ในอ่างส่งคลื่นความถี่สูงที่ 50/60 เฮิรตซ์ ระยะเวลาในการสกัด 15 นาที ที่อุณหภูมิต่างกัน ดังนี้ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ที่อุณหภูมิต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สกัดน้ำมันได้สูงสุดร้อยละ 9.47 โดยน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ร้อยละ 9.28 โดยน้ำหนักแห้ง และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสร้อยละ 9.18 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Figure 1D)

2. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟ

จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟเมื่อสกัดด้วยเฮกเซนที่อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:5 ระยะเวลาในการสกัด 15 นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ร่วมกับคลื่นเสียงความถี่สูงที่ 50/60 เฮิรตซ์ ถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล พบว่าน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟมีความหนืดเท่ากับ 51.20 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ความหนาแน่นเท่ากับ 0.9420 กิโลกรัมต่อลิตร และกรดไขมันอิสระเท่ากับร้อยละ 3.28 (Table 1)

อภิปรายผล

ผลจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายร่วมกับคลื่นเสียงความถี่สูงเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล โดยศึกษาชนิดของตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อตัวทำละลาย ระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ พบว่าชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟต่างกันให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่สกัดน้ำมันได้สูงสุด รองลงมาคือคลอโรฟอร์ม เอทานอลและเมทานอล ตามลำดับ การที่เฮกเซนสกัดน้ำมันจากกากกาแฟได้ปริมาณสูงสุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเฮกเซนเป็นตัวทำละลายในกลุ่มสารที่ไม่มีขั้ว จึงใช้สกัดสารไม่มีขั้วหรือไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) อย่างน้ำมันจากกากกาแฟได้ ซึ่งเฮกเซนสามารถแทรกตัวและสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของกากกาแฟ ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นเรียกว่า “แรงแวนเดอร์วาลล์ หรือ Van der Waals force” [9] และเมื่อเปรียบเทียบสภาพขั้วของชนิดของตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิดที่ใช้ในการศึกษาพบว่าเฮกเซนมีสภาพขั้วต่ำสุด รองลงมาคือ คลอโรฟอร์ม เอทานอลและเมทานอล [15] ตามลำดับ และจากผลการศึกษาปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟสอดคล้องกับสภาพขั้วของชนิดของตัวทำละลาย จากการศึกษาอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อตัวทำละลายที่ต่างกัน พบว่าปริมาณของน้ำมันที่สกัดได้นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

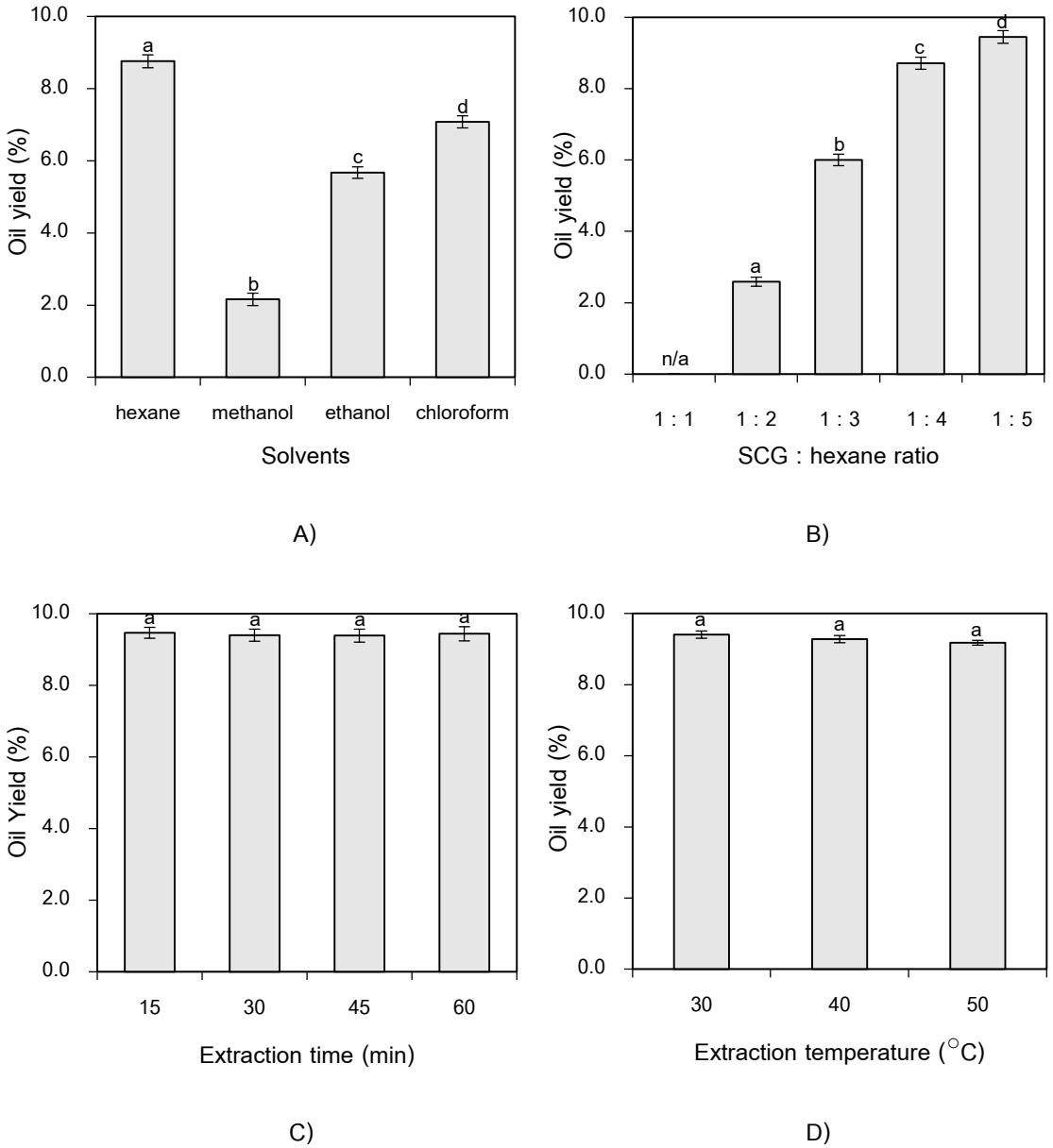

Figure 1. Extracted SCG oil yield (%); A) solvents (hexane, methanol, ethanol and chloroform); B) SCG : hexane ratio (1:1, 1:2, 1:3, 1:4 and 1:5); C) extraction time (15, 30, 45 and 60 min) and D) extraction temperature (30, 40 and 50°C). Data presented as mean value ± standard error (n = 3) and values followed by the same letter are statistically the same; different letters indicated significant differences ($P \leq 0.05$, Turkey's HSD test). n/a as not available.

Table 1. Some physical and chemical properties of extracted SCG oils and vegetable oils

Sources	Kinematic viscosity ($mm^2 s^{-1}$)	Density ($kg l^{-1}$)	Free fatty acid (wt%)	References
SCG (*C. canephora var. robusta*)	51.20*	0.9420	3.28	This study
SCG (*C. canephora var. robusta*/ *C. arabica*; 60/40)	50.99*	0.9170	3.90	อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์ และคณะ [13]
SCG (*C. arabica*)	-	0.6640	0.412	Somnuk และคณะ [5]
SCG (*C. arabica*)	55.6*	1.2075	6.14	Phimsen และคณะ [14]
Rapeseed	37.0**	0.9115	-	Barnwal และ Sharma [17]
Palm	39.6**	0.9180	-	Barnwal และ Sharma [17]
Soy bean	32.6**	0.9138	-	Barnwal และ Sharma [17]
Sunflower	33.9**	0.9161	-	Barnwal และ Sharma [17]
ดีเซล	3.06**	0.8550	-	Barnwal และ Sharma [17]

* kinematic viscosity at $40^{\circ}C$ ($mm^2 s^{-1}$)

** kinematic viscosity at $38^{\circ}C$ ($mm^2 s^{-1}$)

ซึ่งปริมาณของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อเฮกเซนที่อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อเฮกเซนเท่ากับ 1:5 ให้ปริมาณน้ำมันจากกากกาแฟสูงสุด รองลงมาคือ อัตราส่วน 1:4, 1:3 และ 1:2 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้ อาจเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายส่งผลให้ปริมาณตัวทำละลายมากพอที่จะสกัดน้ำมันจากกากกาแฟได้ [13] นอกจากนี้ การเพิ่มตัวทำละลายทำให้น้ำมันจากกากกาแฟละลายในตัวทำละลายได้มากขึ้น และการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงเป็นการเพิ่มการละลายของน้ำมันจากกากกาแฟได้อีกทางหนึ่ง เนื่องจากกากกาแฟถูกทำลายโครงสร้างโดยปรากฏการณ์คาวิเทชั่น (cavitation phenomenon) [9] ระยะเวลาในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟที่ต่างกัน (15, 30, 45 และ 60 นาที) ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) อาจเป็นเพราะคลื่นเสียงความถี่สูงทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กและทำให้เฮกเซนเข้าไปยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลกับกากกาแฟได้เร็วขึ้น [16] ซึ่งจากผลการศึกษาระยะเวลาในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ 15 นาที (อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อเฮกเซนเท่ากับ 1:5) น่าที่จะเป็นระยะเวลาที่เกิดการสกัดน้ำมันอย่างสมบูรณ์ ดังนั้น ระยะเวลาในการสกัดที่เพิ่มขึ้นจึงไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟ สำหรับอุณหภูมิที่ต่างกัน (30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส) พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟเล็กน้อย อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ทำให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่อุณหภูมิสูงทำให้ความสามารถของคลื่นเสียงความถี่สูงทำงานได้ลดลง [9] และจากผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายร่วมกับคลื่นเสียงความถี่สูงที่สภาวะเหมาะสมในการสกัด พบว่าน้ำมันกากกาแฟมีความหนืด ความหนาแน่นและกรดไขมันใกล้เคียงกับการศึกษาของอาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์ และคณะ [13] และ Phimsen และคณะ [14] นอกจากนี้ คุณสมบัติของน้ำมันกากกาแฟยังมีความคล้ายคลึงกับน้ำมันพืช เช่น น้ำมันจากเมล็ดเรพ (rapeseed) น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันจากเมล็ดทานตะวันและยังคล้ายคลึงกับน้ำมันดีเซล [17] อีกด้วย (Table 1) ซึ่งน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟในการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซลได้ แต่ต้องผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นก่อน เนื่องจากกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟมีค่ามากกว่าร้อยละ 2 [14] ซึ่งอาจจะต้องใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะใช้กรดเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่น (esterification) เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นต่อไป [4]

โดยสรุป จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายร่วมกับคลื่นเสียงความถี่สูงที่ 50/60 เฮิรตซ์ เพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล โดยศึกษาชนิดของตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อตัวทำละลาย ระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟเป็นดังนี้ ตัวทำละลายที่เหมาะสมคือเฮกเซนที่อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อตัวทำ

ละลายเท่ากับ 1:5 ระยะเวลา 15 นาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงสุดร้อยละ 9.47 โดยน้ำหนักแห้ง และน้ำมันที่สกัดได้มีความหนืดเท่ากับ 51.20 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ความหนาแน่นเท่ากับ 0.9420 กิโลกรัมต่อลิตร และมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 3.28 น้ำมันจากกากกาแฟมีคุณสมบัติเพียงพอและน่าที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซลได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้วที่ได้อนุเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. โชคชัย เหมือนมาศ และรวมพล นิคม. 2560. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟ. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*. 20: 202-210.
2. สาลินี ศรีวงษ์ชัย. 2558. น้ำมันจุลินทรีย์วัตถุดิบใหม่เพื่อการผลิตไบโอดีเซล: ทางเลือกสำหรับพลังงานทดแทน. *วารสารวิทยาศาสตร์ แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี*. 12: 72-83.
3. Meng, X., Yang, J., Xua, X., Zhang, L., Nie, Q. and Xian, M. 2009. Biodiesel production from oleaginous microorganisms. *Renewable Energy*. 34: 1-5.
4. รพีพรรณ กองตูม. 2560. กากกาแฟ: มูลค่าเพิ่มและการใช้ประโยชน์. ในการประชุมวิชาการระดับชาติ "*ราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัยครั้งที่ 5* ". 342-350.
5. Somnuk, K., Eaelex, P. and Prateepchaikul, G. 2017. Optimization of coffee oil extraction from spent coffee grounds using four solvents and prototype-scale extraction using circulation process. *Agricultural and Natural Resources*. 51: 181-189.
6. Abdullah, M. and Bulent Koc, A. 2013. Oil removal from waste coffee grounds using two-phase solvent extraction enhance with ultrasonication. *Renewable Energy*. 50: 965-970.
7. Al-Hammre, Z., Forester, S., Hartmann, F., KrÖger, M. and Kaltschmitr. 2012. Oil extracted from spent coffee grounds as a renewable source for fatty acid methyl ester manufacturing. *Fuel*. 96: 70-76.
8. Park, J., Kim, B. and Lee, J. W. 2016. In-situ transesterification of wet spent coffee grounds for sustainable biodiesel production. *Bioresource Technology*. 221: 55-60.
9. Rocha, M. V. P., Matos, L. J. B. L. de, Lima, L. P. de, Figueiredo, P. M. da S., Lucena, L. L., Fernandes, F. A.N and Gonçalves, L. R. B. 2014. Ultrasound-assisted production of biodiesel and ethanol from spent coffee grounds.*Bioresource Technology*. 167: 343-348.
10. วรรณนพ มั่นคง รัตนชัย ไพรินทร์ และเก้ากันยา สุดประเสริฐ. 2557. การผลิตไบโอดีเซลจากกาก

กาแฟโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ของเปลือกปูเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.*วิทยาศาสตร์เกษตร*. 45: 577-580.

11. เจริญพร ถาวรประเสริฐ ธนัชชา สุวรรณวิภากร พิชัย เอี่ยวเล็ก และกฤช สมนึก. 2558. การศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายและระยะเวลาสกัด. *ในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 16*. 390-392.
12. American Oil Chemists' Society. 2013. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. *American Oil Chemists' Society*. Urbana: USA.
13. อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์ พัชราภรณ์ ดำนิล และอมรรัตน์ หงส์ผ้วย. 2561. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ (โรบัสต้า/อะราบิก้า) ด้วยเฮกเซน โดยใช้วิธีวิทยาพื้นผิวตอบสนอง. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 28: 799-811.
14. Phimsen, S., Kiatkittipong, W., Yamada, H., Tagawa, T., Kiatkittipong, K., Laosiripojana, N and Assabumrungrat, S. 2016. Oil extracted from spent coffee grounds for bio-hydrotreated diesel production. *Energy Conversion and Management.* 126: 1028-1036.
15. Wikipedia. Solvents. [online] available: https://th.wikipedia.org/wiki. 2561.
16. ธีร์ธวัช สิงหศิริ. 2558. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันไข่ไก่ โดยใช้อุลตราโซนิกในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 43: 738-748.
17. Barnwal, B. K. and Sherma, M. P. 2005. Prospects of biodiesel production from vegetable oil in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 9: 363-378.