



การสกัดและสมบัติของน้ำมันเหลือค้ำจากดินฟอกสีใช้แล้ว

ณัชชา ภริกรรยากุล และ อุทัย กลิ่นเกษร*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2562-5031 อีเมล: utai.k@ku.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.06.003

รับเมื่อ 18 สิงหาคม 2560 ตอบรับเมื่อ 25 ธันวาคม 2560 เผยแพร่ออนไลน์ 5 มิถุนายน 2561

© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ดินฟอกสีใช้แล้วเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันพืชสำหรับบริโภค เกิดขึ้นในขั้นตอนการฟอกสีน้ำมันดิบ เนื่องจากดินฟอกสีใช้แล้วมีน้ำมันเหลือค้ำอยู่ถึงร้อยละ 20-40 โดยน้ำหนัก การจัดการดินฟอกสีใช้แล้วโดยการฝังกลบหรือเผา อาจก่อให้เกิดอันตรายจากเพลิงลุกไหม้ และมลพิษอันเนื่องมาจากน้ำมันที่เหลือค้ำอยู่ รวมถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ การสกัดน้ำมันเหลือค้ำออกจากดินฟอกสีใช้แล้วก่อนการจัดการ จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่มีความสนใจเพื่อลดปัญหาดังกล่าว จากงานวิจัยที่มีก่อนหน้าการสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่นิยมที่สุดในการสกัดน้ำมันเหลือค้ำออกจากดินฟอกสีใช้แล้ว บทความวิชาการฉบับนี้นำเสนอผลของปัจจัยต่างๆ ในการสกัดต่อประสิทธิภาพและสมบัติของน้ำมันเหลือค้ำที่สกัดได้ เพื่อเป็นแนวทางในการสกัดน้ำมันเหลือค้ำออกจากดินฟอกสีใช้แล้วด้วยตัวทำละลายให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

คำสำคัญ: ดินฟอกสีใช้แล้ว, น้ำมันเหลือค้ำ, การสกัดด้วยตัวทำละลาย, ปัจจัยการสกัด

Extraction and Characterization of Residual Oil from Spent Bleaching Earth

Natcha Pilakjanyakul and Utai Klinkesorn*

Department of Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0-2562-5031, E-mail: utai.k@ku.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.06.003

Received 18 August 2017; Accepted 25 December 2017; Published online: 5 June 2018

© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Spent Bleaching Earth (SBE) is an industrial waste of edible vegetable oil production generated from bleaching process of crude oil. As spent bleaching earth contains between 20–40% oil by weight, its disposal by landfill or incineration may cause the dangers of fire and pollution. In addition, the combustion of residual oil in spent bleaching earth leads to the emission of greenhouse gases into the atmosphere. Extraction of residual oil from spent bleaching earth before disposal thus becomes a promising approach and issue of interest to eliminate these problems. From previous research, solvent extraction is the most popular method for extraction of the residual oil. This paper therefore reviews factors that affect the extraction efficiency and properties of extracted oil. The information contained in this review would serve as a guideline with the greatest capacity for the mentioned procedure.

Keywords: Spent Bleaching Earth, Residual Oil, Solvent Extraction, Extraction Factors



1. บทนำ

น้ำมันพืชเป็นน้ำมันที่แยกหรือสกัดจากส่วนต่างๆ ของพืชน้ำมันด้วยกระบวนการบีบอัด (Pressing Process) และการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) เพื่อให้ได้น้ำมันดิบออกมา น้ำมันดิบที่สกัดได้ยังไม่เหมาะกับการบริโภค เนื่องจากมีสิ่งที่ไม่เหมาะกับการบริโภคเจือปนอยู่ เช่น ฟอสโฟลิพิด รงควัตถุ กรดไขมันอิสระ โลหะหนัก และกลีเซอรอลที่ไม่พึงประสงค์ เป็นต้น [1] จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดสิ่งเจือปนเหล่านี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันให้สามารถบริโภคได้ โดยอาศัยกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Refining Process) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการกำจัดสารเหนียวหรือกัม (Degumming) การกำจัดกรดไขมันอิสระหรือปรับสภาพน้ำมันให้เป็นกลาง (Neutralization) การฟอกสี (Bleaching) และการกำจัดกลิ่น (Deodorization) ตามลำดับ

ดินฟอกสีใช้แล้ว (Spent Bleaching Earth) เป็นของเหลือทิ้งที่สำคัญจากกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ในขั้นตอนของการฟอกสี ซึ่งมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีดำ มีปริมาณน้ำมันเหลือค้าง (Residual Oil) ประมาณร้อยละ 20 ถึง 40 โดยน้ำหนัก [2] ดินฟอกสีใช้แล้วมักจะกำจัดโดยใช้วิธีการฝังกลบหรือเผา ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายจากเพลิงลุกไหม้ และมลพิษอันเนื่องมาจากน้ำมันที่เหลือค้างอยู่ รวมถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ [3] นอกจากนี้การกำจัดดินฟอกสีใช้แล้ว มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สูง ทั้งในด้านของการขนส่ง และการดำเนินการ รวมถึงยังไม่สามารถกำจัดดินฟอกสีใช้แล้วได้ทั้งหมด ปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่ศึกษาการสกัดน้ำมันเหลือค้างออกจากดินฟอกสีใช้แล้ว และนำดินฟอกสีสกัดน้ำมันที่ได้ไปจัดการต่อ เช่น นำไปเป็นอาหารสัตว์ [4], [5] นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง [6] ผสมกับดินทำเป็นปุ๋ย [3], [7] และเป็นวัสดุในการก่อสร้าง [8], [9] เป็นต้น ส่วนน้ำมันเหลือค้างที่สกัดได้สามารถนำไปใช้ผลิตไบโอดีเซล [10], [11] เชื้อเพลิงชีวภาพ [12], [13] และน้ำมันหล่อลื่น [14] ซึ่งเป็นการจัดการดินฟอกสีใช้แล้วที่มีประสิทธิภาพ และยังเป็น การเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้งจากโรงงานทำบริสุทธิ์น้ำมันด้วย

2. ดินฟอกสี (Bleaching Earth)

โดยทั่วไปวิธีการที่ใช้ในการฟอกสีน้ำมันดิบมีอยู่สามวิธี ได้แก่ การฟอกสีด้วยความร้อน (Heat Bleaching) การออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation) และการดูดซับ (Adsorption) สำหรับวิธีการฟอกสีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันบริโภค คือ การฟอกสีด้วยวิธีการดูดซับ [15] โดยสารดูดซับที่นิยมใช้ คือ ดินฟอกสี [16]–[18] ซึ่งมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว ได้จากแร่ดินเบนโทไนท์ (Bentonites) ประกอบด้วยแร่อะลูมิเนียมซิลิเกตไฮเดรต (Hydrated Aluminum Silicate) หรือแรมมอนต์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite) เป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมา ได้แก่ อะลูมิเนียม ซิลิโคน และออกซิเจน เป็นต้น [19], [20] ดินฟอกสีมีความสามารถในการดูดซับรงควัตถุในน้ำมันได้ดี โดยไม่ทำให้คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลง และมีราคาถูก เหมาะสำหรับการใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม [21], [22] นอกจากนี้ที่ใช้ในการกำจัดสารให้สีแล้ว ดินฟอกสียังสามารถกำจัดสิ่งเจือปนอื่นๆ เช่น สบู่ ฟอสโฟลิพิด โลหะหนัก และสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นต้น [18], [23]

2.1 ชนิดของดินฟอกสี

ดินฟอกสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์มีอยู่สองชนิด ได้แก่ 1) ดินฟอกสีธรรมชาติ (Natural Earth) คือ ดินที่ไม่ผ่านการปรับสภาพใดๆ ตามธรรมชาติ นิยมนำมาใช้เป็นสารดูดซับเพราะมีความสามารถในการดูดซับรงควัตถุและสิ่งเจือปน เนื่องจากมีความจำเพาะของพื้นผิวสูง [24] 2) ดินฟอกสีที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด (Acid-Activated Earth) เป็นดินฟอกสีที่ผ่านการปรับสภาพให้มีความเป็นกรด โดยกรดที่นิยมใช้ได้แก่ กรดซัลฟิวริก และกรดไฮโดรคลอริก เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับ [25] การกระตุ้นด้วยกรดเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของดินฟอกสีโดยการกำจัดไอออนขนาดใหญ่ เช่น K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} และ Na^+ แล้วแทนที่ด้วย H^+ [26] ทำให้โครงสร้าง และสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินฟอกสีเกิดการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ความจำเพาะของพื้นผิวสูงขึ้น และจำนวนรูพรุนเพิ่มมากขึ้น เป็นการเพิ่มความสามารถใน

การดูดซับของดินฟอกสี ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะรูพรุน และปฏิกิริยาทางเคมีที่พื้นผิวจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของ ดินฟอกสีให้สามารถดูดซับอนุภาคของรงควัตถุ และสิ่งเจือปน ได้ดียิ่งขึ้น [27] ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันบริโภค มักนิยมใช้ดินฟอกสีที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดในการฟอกสีไขมัน สัตว์และน้ำมันพืช [24] จากงานวิจัยของ Valenzuela-Diaz และ Souza-Santos [28] รายงานว่า การเพิ่มขึ้นของความจำเพาะของพื้นผิว และจำนวนรูพรุนจะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับสารให้สี และสิ่งเจือปน เช่น ฟอสโฟลิพิด และโลหะหนักได้ดียิ่งขึ้น

2.2 กลไกการดูดซับ

ในระหว่างขั้นตอนการฟอกสี น้ำมันที่ผ่านการกำจัด สารเหนียวและกรดไขมันอิสระจะถูกนำมาผสมกับดินฟอกสี ซึ่งทำหน้าที่ในการดูดซับอนุภาคของสิ่งเจือปนไว้ภายในรูพรุน จากนั้นดินฟอกสีจะถูกแยกออกจากน้ำมันด้วยวิธีการกรอง เพื่อนำไปกำจัดต่อไป ในขั้นตอนการฟอกสีน้ำมันจะมีการใช้ ดินฟอกสีประมาณร้อยละ 0.5 ถึง 2.0 ของน้ำหนักน้ำมันดิบ [29] ทั้งนี้การใช้ดินฟอกสีในปริมาณที่มากจะทำให้เกิดการ สูญเสียน้ำมันมากขึ้นเนื่องจากน้ำมันจะถูกดูดซับไปด้วย ขั้นตอนการฟอกสีจะทำที่อุณหภูมิ 60 ถึง 100 องศาเซลเซียส ภายใต้ระบบสูญญากาศเพื่อเป็นการป้องกันการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิในการฟอกสีสูงเกินกว่า 120 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน เพิ่มขึ้น และโครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน จะเปลี่ยนไป ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและ พอลิเมอร์เซชัน [30] กลไกการดูดซับของดินฟอกสีมีอยู่ด้วยกัน 3 กลไก ได้แก่ 1) กลไกการดูดซับทางกายภาพ (Physical Adsorption) เป็นการดูดซับรงควัตถุไว้ที่พื้นผิวของดินฟอกสี โดยอาศัยแรงดึงดูดแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) ระหว่าง อนุภาคของดินฟอกสีกับรงควัตถุ 2) กลไกการดูดซับทางเคมี (Chemical Adsorption) เป็นการอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีของ การเกิดพันธะโควาเลนต์ หรือพันธะไอออนิก ระหว่างพื้นผิว ดินฟอกสีกับสารประกอบอื่นๆ ในน้ำมัน 3) กลไกการดักจับ โมเลกุล (Molecular Entrapment) อนุภาคของสิ่งเจือปน

จะถูกจับไว้ภายในโครงสร้างของดินฟอกสีที่มีลักษณะเป็น รูพรุน [31], [32] นอกเหนือจากกลไกดังกล่าวแล้ว ปัจจัย สำคัญที่มีผลต่อสมบัติการดูดซับของดินฟอกสี คือ การที่ โครงสร้างของพื้นผิวดินฟอกสีมีลักษณะเป็นชั้นๆ ซ้อนทับกัน การมีขนาดอนุภาคขนาดเล็กทำให้มีพื้นที่ผิวดูดซับมาก และ ความจำเพาะของพื้นผิวที่มีต่ออนุภาคของสารโดยการสร้าง พันธะทางเคมีกับสารที่ต้องการดูดซับ เป็นต้น [33], [34]

2.3 การจัดการดินฟอกสีใช้แล้ว

ดินฟอกสีใช้แล้วเป็นของเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นจาก อุตสาหกรรมการทำให้น้ำมันพืชบริสุทธิ์ในขั้นตอนของการ ฟอกสีน้ำมันดิบดังกล่าวข้างต้น ดินฟอกสีใช้แล้วจะมีค่า พีเอชประมาณ 3.8 ถึง 4.2 และมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ ค่อนข้างสูง [30] ดินฟอกสีที่ผ่านการใช้งานจะมีปริมาณน้ำมัน เหลือค้ำอยู่ประมาณร้อยละ 20 ถึง 40 ของน้ำหนักดินฟอกสี [2] โดยทั่วไปนั้นโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันมักใช้วิธีการกำจัดดินฟอกสีใช้แล้วด้วยการฝังกลบ ซึ่งอาจก่อให้เกิด อันตรายจากไฟไหม้ ที่ผ่านมารองงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมัน มักใช้วิธีการรดน้ำลงบนดินฟอกสีใช้แล้วให้เปียกชุ่ม เพื่อ ป้องกันการเกิดประกายไฟของน้ำมันที่ถูกดูดซับไว้จนทำให้เกิด เปลิงลุกไหม้ ส่งผลให้เกิดมลภาวะทางอากาศจากกลิ่นเหม็นหืน ของน้ำมัน และสภาพแวดล้อมรอบข้าง เนื่องจากคราบน้ำมัน ที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำข้างเคียง ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ในน้ำ และประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้แหล่งน้ำ [35] ปัจจุบันวิธีการ ที่นิยมใช้จัดการกับดินฟอกสีใช้แล้ว คือ การสกัดน้ำมัน เหลือค้ำออกจากดินฟอกสี ก่อนที่จะนำดินฟอกสีสกัดน้ำมัน และน้ำมันตกค้างที่สกัดได้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

3. การสกัดน้ำมันเหลือค้ำจากดินฟอกสีใช้แล้ว

วิธีการสกัดน้ำมันเหลือค้ำจากดินฟอกสีใช้แล้ว มีอยู่ ด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ การสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical Fluid Extraction) การสกัดด้วยเอนไซม์ (Enzyme-Assisted Aqueous Extraction) และการสกัด ด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดี และข้อเสียแตกต่างกัน (ตารางที่ 1) โดยวิธีการสกัดด้วยของไหล



ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียของแต่ละวิธีการสกัดน้ำมันเหลือค้ำจากดินฟอกสีใช้แล้ว

วิธีการสกัด	ข้อดี	ข้อเสีย
สกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด	<ul style="list-style-type: none"> - สกัดน้ำมันได้ถึง 95% - สามารถใช้สกัดสารที่สลายตัวได้ง่ายจากความร้อน - ตัวทำละลายที่ใช้มีความปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม - ใช้เวลาในการสกัดน้อย 	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่สามารถสกัดแบบต่อเนื่องได้ - ไม่สามารถกำจัดแรงควัตุประเภตเบต้าแคโรทีนในน้ำมันได้ - ผู้ใช้ต้องมีความเชี่ยวชาญ - ใช้เงินทุนสูง
สกัดด้วยเอนไซม์	<ul style="list-style-type: none"> - สกัดน้ำมันได้ถึง 90% - มีความปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม - มีความจำเพาะสูง ใช้พลังงานต่ำ 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้เวลานานในการเกิดปฏิกิริยา - เป็นวิธีการที่สลับซับซ้อน - เอนไซม์ที่ใช้มีราคาค่อนข้างสูง
สกัดด้วยตัวทำละลาย	<ul style="list-style-type: none"> - สกัดน้ำมันได้ถึง 99% - สามารถนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ได้ - เป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน 	<ul style="list-style-type: none"> - ตัวทำละลายเป็นอันตราย และมีความเป็นพิษสูง - น้ำมันที่สกัดได้มีกรดไขมันอิสระสูง

วิกฤตยิ่งยวด สามารถสกัดน้ำมันได้ถึงร้อยละ 95 [36] เป็นวิธีการที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มักนิยมใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นของไหลวิกฤต แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดในด้านของการลงทุนที่สูง จึงเหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเงินทุนสูง ส่วนการสกัดด้วยเอนไซม์วิธีนี้สามารถสกัดน้ำมันได้ถึงร้อยละ 90 [37] แต่มีข้อจำกัด คือ เป็นวิธีการที่สลับซับซ้อน ใช้เวลานานในการเกิดปฏิกิริยา และเอนไซม์ที่ใช้มีราคาค่อนข้างสูง เป็นต้น สำหรับการสกัดด้วยตัวทำละลาย ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ สามารถสกัดน้ำมันได้ถึงร้อยละ 99 โดยน้ำหนักของน้ำมันทั้งหมด [37] มักใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย วิธีนี้เป็นวิธีที่สกัดน้ำมันเหลือค้ำได้สูง มีคุณภาพและสะดวกกว่าวิธีการอื่นๆ [38] จากงานวิจัยของ Huang และ Chang [39] ได้ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันเหลือค้ำออกจากดินฟอกสีใช้แล้ว จากโรงงานผลิตน้ำมันถั่วเหลืองผ่านกรรมวิธี โดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย พบว่าสามารถสกัดน้ำมันเหลือค้ำออกมาได้ถึงร้อยละ 21 ของน้ำหนักดินฟอกสีใช้แล้ว นอกจากนี้ Loh *et al.* [40] ยังได้ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันเหลือค้ำออกจากดินฟอกสีใช้แล้ว จากโรงงานอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันปาล์ม โดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย และการสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด พบว่าวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายให้ปริมาณน้ำมันเหลือค้ำที่

มากกว่าวิธีการสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด แสดงว่าวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายมีประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันเหลือค้ำได้ดีกว่า

4. การสกัดด้วยตัวทำละลาย

4.1 หลักการสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีการแยกสารที่ต้องการออกจากสารอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งตัวอย่างที่ใช้สกัดอาจอยู่ในรูปของของแข็งหรือสารละลายผสมก็ได้ การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นการอาศัยสมบัติการละลายของสารในตัวทำละลายที่แตกต่างกัน สามารถทำได้โดยการนำตัวอย่างที่ต้องการสกัดผสมกับตัวทำละลายแล้วเขย่าหรือให้ความร้อน เพื่อแยกสารที่ต้องการออกจากตัวอย่าง จากนั้นทำการแยกตัวทำละลายที่ใช่ออกจากสารละลายด้วยวิธีการระเหยหรือการกรอง ทั้งนี้หากตัวอย่างที่ต้องการสกัดเป็นของแข็ง การบดตัวอย่างจะเป็นการช่วยให้สามารถสกัดสารที่ต้องการออกมาได้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวอย่างกับตัวทำละลายมากขึ้น การสกัดหรือการแยกสารโดยใช้สมบัติการละลายของสารในตัวทำละลาย จำเป็นที่จะต้องมีการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้สามารถสกัดสารที่ต้องการออกมาได้ในปริมาณมากและมีคุณภาพ โดยตัวทำละลายที่ใช้ควรมี

คุณสมบัติดังนี้ 1) สามารถละลายสารที่ต้องการสกัดได้โดยไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับตัวอย่าง 2) ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด 3) ตัวทำละลายจะต้องไม่ละลายสารอื่นที่ไม่ต้องการออกมา โดยจะต้องมีสิ่งเจือปนออกมาน้อยที่สุด 4) ตัวทำละลายที่ใช้ต้องมีจุดเดือดต่ำ 5) ต้องสามารถแยกตัวทำละลายออกจากสารละลายได้ง่าย โดยวิธีการที่นิยมใช้ เช่น การกรอง การระเหย เป็นต้น 6) ตัวทำละลายที่ใช้ต้องหาซื้อได้ง่าย และมีราคาถูก

4.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสกัดน้ำมันเหลืองค้ำจากดินฟอกสีใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย

4.2.1 ชนิดของตัวทำละลายและระยะเวลาในการสกัด
ชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภท ได้แก่ 1) ตัวทำละลายมีขั้ว (Polar Solvent) เหมาะสำหรับใช้สกัดสารให้สีในน้ำมัน และสารประกอบที่มีขั้ว เช่น ฟอสโฟลิพิด และกรดไขมันอิสระ ตัวอย่างของตัวทำละลายมีขั้ว เช่น เมทานอล เอทานอล และอะซิโตน เป็นต้น 2) ตัวทำละลายไม่มีขั้ว (Nonpolar Solvent) เหมาะสำหรับใช้ในการสกัดไตรกลีเซอไรด์ และสารประกอบที่ไม่มีขั้วในน้ำมัน ตัวอย่างของตัวทำละลายไม่มีขั้ว เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ และเฮกเซน เป็นต้น จากงานวิจัยของ Lee *et al.* [41] ได้ทำการสกัดน้ำมันเหลืองค้ำจากดินฟอกสีใช้แล้ว โดยใช้ตัวทำละลายมีขั้วและไม่มีขั้วในการสกัด และศึกษาผลกระทบของระยะเวลาในการสกัด พบว่าปริมาณน้ำมันเหลืองค้ำที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายไม่มีขั้วได้แก่ ปิโตรเลียมอีเทอร์ เพนเทน เฮกเซน และเฮปเทน จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาเริ่มต้นของการสกัด จนเมื่อผ่านไป 40 นาที น้ำมันเหลืองค้ำที่สกัดได้จะมีปริมาณคงที่ ในขณะที่การสกัดด้วยตัวทำละลายมีขั้ว ได้แก่ เมทานอล เอทานอล และไอโซโพรพานอล พบว่าเมื่อใช้เอทานอลและไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลาย การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมันเหลืองค้ำที่สกัดได้จะเป็นไปอย่างช้าๆ ในช่วง 20 นาทีของการสกัด จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 100 นาที สำหรับเมทานอล พบว่าปริมาณน้ำมันเหลืองค้ำที่สกัดได้จะมีปริมาณต่ำที่สุด แสดงถึงความสามารถ

ของเมทานอลในการเป็นตัวทำละลายน้ำมันที่ไม่ดี ทั้งนี้เมื่อดูที่เวลาสุดท้ายในการสกัดจะพบว่าปริมาณน้ำมันเหลืองค้ำที่สกัดจากตัวทำละลายมีขั้วจะให้ค่าที่สูงกว่าตัวทำละลายไม่มีขั้ว (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Zahrani และ Alhamed [42] ที่พบว่าปริมาณน้ำมันเหลืองค้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลาแรกของการสกัด และเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที ปริมาณน้ำมันเหลืองค้ำที่สกัดได้จะเริ่มคงที่ การใช้ตัวทำละลายมีขั้วในการสกัดจะให้ปริมาณน้ำมันเหลืองค้ำที่สกัดได้สูงกว่าการใช้ตัวทำละลายไม่มีขั้ว เนื่องจากตัวทำละลายมีขั้วจะมีความสามารถในการสกัดสารประกอบมีขั้วที่เจือปนอยู่ในน้ำมัน เช่น ฟอสโฟลิพิด โมโน-ไดกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ ออกมาได้ปริมาณมาก [39], [41] ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันค้ำที่สกัดได้มีค่าสูง ในขณะที่ตัวทำละลายไม่มีขั้วจะมีความสามารถในการสกัดสารประกอบมีขั้วดังกล่าวได้ต่ำ ทำให้ปริมาณน้ำมันค้ำที่สกัดได้จึงน้อยกว่า

4.2.2 อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อดินฟอกสีใช้แล้ว
Nursulihatimarsyila *et al.* [43] ได้ศึกษาอัตราส่วนของเฮกเซนต่อดินฟอกสีใช้แล้วที่อัตราส่วน 1 : 1, 3 : 1, 5 : 1 และ 7 : 1 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเฮกเซนจะทำให้ปริมาณน้ำมันเหลืองค้ำที่สกัดได้เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากในระหว่างการสกัด ความเข้มข้นของน้ำมันเหลืองค้ำที่สกัดได้ในสารละลายจะสูงขึ้น หากใช้อัตราส่วนตัวทำละลายต่อดินฟอกสีใช้แล้วต่ำ ความเข้มข้นของน้ำมันที่สกัดได้ในสารละลายที่สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของตัวทำละลายลดลง ส่งผลให้น้ำมันที่สกัดได้มีปริมาณน้อย [42]

อย่างไรก็ตาม Wang *et al.* [44] ที่ศึกษาผลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อดินฟอกสีใช้แล้วที่อัตราส่วน 0.6 : 1, 0.8 : 1, 1 : 1, 1.2 : 1, 1.5 : 1, 1.8 : 1 และ 2 : 1 โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ กลับพบว่าการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายจะส่งผลให้ปริมาณของน้ำมันเหลืองค้ำที่สกัดได้เพิ่มสูงขึ้นไปจนถึงระดับหนึ่ง หลังจากนั้นการเพิ่มปริมาณตัวทำละลายจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำมันเหลืองค้ำที่สกัดได้ (ตารางที่ 2) นั่นคืออัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อดินฟอกสีใช้แล้ว



ตารางที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำมันเหลือค้ำงที่สกัดได้

ปัจจัย	ชนิด/ค่าปัจจัย	ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ (%)	แหล่งที่มา	
ชนิดตัวทำละลายและระยะเวลา	ตัวทำละลายไม่มีขี้		[41]	
	เฮกเซนที่ 20 นาที	29		
	เฮกเซนที่ 40 นาที	36		
	เฮกเซนที่ 100 นาที	38		
	เฮกเซนที่ 160 นาที	38		
	ตัวทำละลายมีขี้			
	เอทานอลที่ 20 นาที	6		
	เอทานอลที่ 40 นาที	27		
	เอทานอลที่ 100 นาที	41		
	เอทานอลที่ 160 นาที	42		
	ตัวทำละลายไม่มีขี้			[42]
	ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่ 2 นาที	50		
	ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่ 5 นาที	59		
	ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่ 10 นาที	60		
	ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่ 40 นาที	60		
	ตัวทำละลายมีขี้			
เมทิลเอทิลคีโตนที่ 2 นาที	68			
เมทิลเอทิลคีโตนที่ 5 นาที	70			
เมทิลเอทิลคีโตนที่ 10 นาที	71			
เมทิลเอทิลคีโตนที่ 40 นาที	71			
อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายและดินฟอกสี ใช้แล้ว	1 : 1	33	[43]	
	3 : 1	60		
	5 : 1	62		
	7 : 1	90		
	0.6 : 1	82	[44]	
	0.8 : 1	94		
	1.0 : 1	98		
	1.2 : 1	97		
	2.0 : 1	98		
	อุณหภูมิ			
30°C	92			
50°C	98			
70°C	99			
	80°C	94		

ควรมีค่าที่เหมาะสมซึ่งขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ ด้วย ได้แก่ ชนิดของตัวทำละลาย ชนิดดินฟอกสี ชนิดน้ำมัน และสภาวะในการสกัด เป็นต้น

4.2.3 อุณหภูมิในการสกัด

เมื่ออุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นปริมาณน้ำมันเหลือค้ำง

ที่สกัดได้จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิในการสกัดเกินจุดเดือดของตัวทำละลาย ปริมาณน้ำมันเหลือค้ำงที่สกัดได้จะลดลง อันเนื่องมาจากปริมาณตัวทำละลายที่ลดลงจากการระเหย จากงานวิจัยของ Wang *et al.* [44] ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในการสกัดน้ำมันเหลือค้ำงจากดินฟอกสีใช้งานแล้ว

ที่อุณหภูมิ 30 ถึง 80 องศาเซลเซียส โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดให้สูงขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำมันเหลือค้ำที่สกัดได้เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย จนเมื่อถึงอุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดเดือดของปิโตรเลียมอีเทอร์ ปริมาณน้ำมันเหลือค้ำที่สกัดจะลดลงเนื่องจาก ณ อุณหภูมิจุดเดือด ตัวทำละลายจะเกิดการระเหย ส่งผลให้ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดลดลง ประสิทธิภาพในการสกัดจึงต่ำ เป็นผลให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ลดลง (ตารางที่ 2)

5. สมบัติและคุณภาพของน้ำมันเหลือค้ำ

สมบัติที่สำคัญในการบ่งบอกคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากกระบวนการกลั่นบริสุทธิ์และการสกัดด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ สี (Color) ซึ่งเกิดจากรงควัตถุที่อยู่ในน้ำมันพืช เช่น คลอโรฟิลล์ และแคโรทีน ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid หรือ FFA) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันและไขมัน น้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระอยู่สูงมีแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ง่าย ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value หรือ PV) เป็นการวัดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างไขมันและออกซิเจน บ่งบอกถึงระดับของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเหม็นหืน จากงานวิจัยของ Lee *et al.* [41] ได้ทำการศึกษาชนิดของตัวทำละลายในการสกัด ต่อสมบัติและคุณภาพของน้ำมันเหลือค้ำจากดินฟอกสีใช้แล้ว พบว่า น้ำมันเหลือค้ำที่สกัดด้วยตัวทำละลายมีขี้ (เมทานอลและเอทานอล) จะมีสีดำคล้ำ มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง และไม่สามารถวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ได้เนื่องจากน้ำมันที่สกัดได้มีสีเข้ม ในขณะที่น้ำมันเหลือค้ำที่สกัดจากตัวทำละลายไม่มีขี้ (ปิโตรเลียมอีเทอร์และเฮกเซน) จะมีสีเหลือง มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Al-Zahrani และ Alhamed [42] ที่พบว่าน้ำมันเหลือค้ำที่สกัดด้วยตัวทำละลายมีขี้จะมีสีดำ ทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณกรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ได้ การใช้ตัวทำละลายที่มีขี้ในการสกัดจึงทำให้น้ำมันที่สกัดได้มีคุณภาพต่ำ การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันเหลือค้ำที่สกัดได้เปรียบ

เทียบกับน้ำมันดิบเริ่มต้น (ตารางที่ 3) พบว่าปริมาณของกรดไขมันอิสระ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่ 233 และ 269 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณสารจากการเกิดออกซิเดชันขั้นที่หนึ่งและขั้นที่สอง ตามลำดับของน้ำมันเหลือค้ำ มีค่าสูงกว่าน้ำมันดิบเริ่มต้น รวมทั้งค่า DOBI (Deterioration of Bleachability Index) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงคุณภาพและความสามารถในการกลั่นบริสุทธิ์ของน้ำมัน เป็นอัตราส่วนค่าดูดกลืนแสงของน้ำมันที่ความยาวคลื่น 446 นาโนเมตรต่อค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 269 นาโนเมตร โดยค่าดังกล่าวของน้ำมันเหลือค้ำที่สกัดได้ต่ำกว่าน้ำมันดิบ แสดงให้เห็นว่าหากนำน้ำมันเหลือค้ำไปกลั่นบริสุทธิ์ ประสิทธิภาพของกระบวนการจะต่ำกว่าน้ำมันดิบเริ่มต้น ส่วนค่าไอโอดีน (Iodine Value หรือ IV) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่ประกอบอยู่ในโมเลกุลของน้ำมันและไขมัน หากค่าไอโอดีนสูงจะแสดงว่าน้ำมันและไขมันมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่มาก และมีแนวโน้มที่จะเกิดกลิ่นเหม็นหืนได้ง่ายนั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างน้ำมันเหลือค้ำที่สกัดได้และน้ำมันดิบ [43] อย่างไรก็ตาม หากเปรียบเทียบสมบัติและคุณภาพของน้ำมันเหลือค้ำที่สกัดได้จากดินฟอกสีใช้แล้วกับน้ำมันผ่านกรรมวิธีหรือน้ำมันรีไฟน์ (Refined Oil) (ตารางที่ 3) พบว่า น้ำมันเหลือค้ำจะมีสีเข้มกว่า ความหนืดจะมีค่าสูงกว่า 2 เท่า เมื่อพิจารณาองค์ประกอบกรดไขมันพบว่า น้ำมันเหลือค้ำจะมีกรดไขมันอิ่มตัวถึงร้อยละ 80 ของกรดไขมันทั้งหมด ในขณะที่น้ำมันรีไฟน์มีกรดไขมันอิ่มตัวแค่ร้อยละ 15 ของกรดไขมันทั้งหมด เช่นเดียวกับค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันเหลือค้ำที่สูงกว่าน้ำมันรีไฟน์ [39]

6. สรุป

การสกัดน้ำมันเหลือค้ำออกจากดินฟอกสีใช้แล้ว โดยใช้ตัวทำละลายเป็นวิธีจัดการดินฟอกสีใช้แล้ววิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการสกัดน้ำมันเหลือค้ำจากดินฟอกสีใช้แล้วดังกล่าว มีปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัด รวมถึงคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้หลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของตัวทำละลาย ระยะเวลาในการสกัด อัตราส่วน

ตารางที่ 3 สมบัติและคุณภาพของน้ำมันดิบ น้ำมันรีไฟน์ และน้ำมันเหลือค้ำที่สกัดได้จากดินฟอกสีใช้แล้ว

สมบัติและคุณภาพ	น้ำมันปาล์มดิบ	น้ำมันปาล์มเหลือค้ำ	น้ำมันถั่วเหลืองรีไฟน์	น้ำมันถั่วเหลืองเหลือค้ำ
สี	ส้มแดง	น้ำตาลเข้ม	เหลือง	น้ำตาลเข้ม
ความหนืด	-	-	37.7	84-96
กรดไขมันอิสระ (%)	3.3	20.6	1	24.1
ค่าไอโอดีน	54.6	53.0	-	-
DOBI	2.8	0.1	-	-
E ^{1%} ₂₃₃	1.8	3.2	-	-
E ^{1%} ₂₆₉	0.8	1.5	-	-
องค์ประกอบกรดไขมัน (%)				
กรดไมริสติก (14 : 0)	1.2	1.1	0	0
กรดปาล์มติก (16 : 0)	42.6	43.4	11	57.9
กรดสเตียริก (18 : 0)	3.8	4.2	4	22.6
กรดโอเลอิก (18 : 1)	40.4	39.2	24	19.5
กรดลิโนเลอิก (18 : 2)	10.8	10.1	54	0
กรดลิโนเลนิก (18 : 3)	-	-	7	0
แหล่งที่มา	[43]	[43]	[39]	[39]

ระหว่างตัวทำละลาย ต่อดินฟอกสีใช้แล้ว และอุณหภูมิในการสกัด เป็นต้น

การเลือกใช้สภาวะในการสกัดให้เหมาะสม จะทำให้น้ำมันเหลือค้ำที่สกัดได้มีสมบัติและคุณภาพที่ดี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย เช่น ใช้ผลิตน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องจักรในอุตสาหกรรมอาหาร หรือใช้ผลิตไบโอดีเซล เป็นต้น ทั้งนี้การจัดการและเก็บรักษาดินฟอกสีใช้แล้วส่งผลอย่างมากต่อสมบัติและคุณภาพของน้ำมันเหลือค้ำ หากอุตสาหกรรมมีการจัดการและเก็บรักษาดินฟอกสีใช้แล้วได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม น้ำมันเหลือค้ำที่สกัดได้ก็อาจมีคุณภาพดีพอสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าและลดปริมาณของเหลือทิ้ง รวมทั้งลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Y. Basiron, "Palm oil," in *Bailey's Industrial Oil*

and Fat Products Edible Oil and Fat Products: Oils and Oil Seeds, Y. H. Hui, ed. New York: John Wiley & Sons, 1996, pp. 271-375.

[2] W. Zschau, "Spent bleaching earth – Practical solutions," *INFORM*, vol. 5, no. 12, pp. 1375-1377, 1994.

[3] S. K. Loh, S. James, M. Ngatiman, K. Y. Cheong, Y. M. Choo, and W. S. Lim, "Enhancement of palm oil refinery waste – Spent bleaching earth (SBE) into bio organic fertilizer and their effects on crop biomass growth," *Industrial Crops and Products*, vol. 49, pp. 775-781, 2013.

[4] W. K. Ng, C. B. Koh, and Z. B. Din, "Palm oil - laden spent bleaching clay as a substitute for marine fish oil in the diets of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*," *Aquaculture Nutrition*,

- vol. 12, pp. 459–468, 2006.
- [5] N. Tippkötter, S. Wollny, K. Suck, U. Sohling, F. Ruf, and R. Ulber, “Recycling of spent oil bleaching earth as source of glycerol for the anaerobic production of acetone, butanol, and ethanol with *Clostridium diolis* and lipolytic *Clostridium lundense*,” *Engineering in Life Sciences*, vol. 14, pp. 425–432, 2014.
- [6] S. Suhartini, N. Hidayat, and S. Wijaya, “Physical properties characterization of fuel briquette made from spent bleaching earth,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, pp. 4209–4214, 2011.
- [7] K. Y. Cheong, S. K. Loh, and J. Salimon, “Effect of spent bleaching earth based bio organic fertilizer on growth, yield and quality of eggplants under field condition,” *AIP Conference Proceedings*, vol. 1571, pp. 744–748, 2014.
- [8] A. Beshara and C. R. Cheeseman, “Reuse of spent bleaching earth by polymerisation of residual organics,” *Waste Management*, vol. 34, pp. 1770–1774, 2014.
- [9] D. Eliche-Quesada and F. A. Corpas-Iglesias, “Utilisation of spent filtration earth or spent bleaching earth from the oil refinery industry in clay products,” *Ceramics International*, vol. 40, pp. 16677–16687, 2014.
- [10] R. Mat, O. S. Ling, A. Johari, and M. Mohamed, “In situ biodiesel production from residual oil recovered from spent bleaching earth,” *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, vol. 6, no. 1, pp. 53–57, 2011.
- [11] A S F. QRM, E. Gumbira-Sa’id, and A. Suryani, “Biodiesel production from residual palm oil contained in spent bleaching earth by in situ trans-esterification,” *EnvironmentAsia*, vol. 7, no. 2, pp. 30–35, 2014.
- [12] P. L. Boey, M. I. Saleh, N. Sapawe, S. Ganesan, G. P. Maniam, and D. M. H. Ali, “Pyrolysis of residual palm oil in spent bleaching clay by modified tubular furnace and analysis of the products by GC–MS,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 91, pp. 199–204, 2011.
- [13] L. Dwiarti, E. Ali, and E. Y. Park, “Enhancement of lipase catalyzed-fatty acid methyl esters production from waste activated bleaching earth by nullification of lipase Inhibitors,” *Bioresource Technology*, vol. 101, pp. 14–20, 2010.
- [14] S. K. Loh, Y. M. Choo, and A. N. Ma, “Residual oil from spent bleaching earth (SBE) for biodiesel and biolubricant applications,” *Malaysian palm oilboard (MPOB) information series 381*, MPOB TT no. 367, 2007.
- [15] N. A. Morad, M. K. A. Aziz, and R. M. Zain, “Process design in degumming and bleaching of palm oil,” M.S. thesis, Centre of Lipids Engineering and Applied Research, Universiti Teknologi Malaysia, 2001.
- [16] N.A.B. Joy, K. Richard, and N. J. Pierre, “Adsorption of palm oil carotene and free fatty acids onto acid activated cameroonian clays,” *Journal of Applied Sciences*, vol. 7, no. 17, pp. 2462–2467, 2007.
- [17] F. K. Hymore, “Effects of some additives on the performance of acid-activated clays in the bleaching of palm oil,” *Applied Clay Science*, vol. 10, pp. 379–385, 1996.
- [18] Y. Bayrak, “Adsorption isotherms in bleaching hazelnut oil,” *The Journal of the American Oil Chemists’ Society*, vol. 80, no. 11, pp. 1143–1146, 2003.



- [19] W. T. Tsai, H. P. Chen, M. F. Hsieh, H. F. Sun, and S. F. Chien, "Regeneration of spent bleaching earth by pyrolysis in a rotary furnace," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 63, pp. 157–170, 2002.
- [20] M. Önal and Y. Sarıkaya, "Preparation and characterization of acid-activated bentonite powders," *Powder Technology*, vol. 172, pp. 14–18, 2007.
- [21] Y. Liu, J. Huang, and X. Wang, "Adsorption isotherms for bleaching soybean oil with activated attapulgite," *The Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 85, pp. 979–984, 2008.
- [22] C. A. Okwara and E. C. Osoka, "Caustic activation of local clays for palm oil bleaching," *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 1, no. 4, pp. 526–529, 2006.
- [23] G. Kaynak, M. Ersoz and H. Kara, "Investigation of the properties of oil at the bleaching unit of an oil refinery," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 280, pp. 131–138, 2004.
- [24] W. Zschau, "Bleaching of edible fats and oils," *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 103, pp. 505–508, 2001.
- [25] F. A. Norris, "Refining and bleaching," in *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, D. Swern, Ed., New York: John Wiley & Sons, 1982, pp. 253–314.
- [26] V. Kuuluvainen, P. Mäki-Avela, K. Eränen, A. Holappa, J. Hemming, H. Österholm, B. Toukoniitty, and D. Y. Murzin, "Extraction of spent bleaching earth in the production of renewable diesel," *Chemical Engineering & Technology*, vol. 38, no. 5, pp. 769–776, 2015.
- [27] F. Hussin, M. K. Aroua, and W. M. A. Wan Daud, "Textural characteristics, surface chemistry and activation of bleaching earth: A review," *Chemical Engineering Journal*, vol. 170, pp. 90–106, 2011.
- [28] F. R. Valenzuela Diaz and P. Souza Santos, "Studies on the acid activation of brazilian-smectite clays," *Química Nova*, vol. 24, no. 3, pp. 345–353, 2001.
- [29] D. R. Taylor and D. B. Jenkins, "Factors affecting the pyrophorosity of spent bleaching clay," *Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 67, no. 10, pp. 678–685, 1990.
- [30] T. Krzyśko-Łupicka, "Spent bleaching earth – Obtaining and directions of utilization," *Ecological Chemistry and Engineering A*, vol. 20, no. 6, pp. 643–651, 2013.
- [31] V. Gibon, W. D. Greyt, and M. Kellens, "Palm oil refining," *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 109, pp. 315–335, 2007.
- [32] R. Berbesi, "Achieving optimal bleaching performance," *Oil Mill Gazetteer*, vol. 112, pp. 2–6, 2006.
- [33] H. Ming, A. V. Lara Pizarro, and E. Y. Park, "Application of waste activated bleaching earth containing rapeseed oil on riboflavin production in the culture of *Ashbya gossypii*," *Biotechnology Progress*, vol. 19, no. 2, pp. 410–417, 2003.
- [34] S. Kojima, D. Du, M. Sato, and E. Y. Park, "Efficient production of fatty acid methyl ester from waste activated bleaching earth using diesel oil as organic solvent," *Journal of Bioscience and Bioengineering*, vol. 98, no. 6, pp. 420–424, 2004.
- [35] P. L. Boey, S. Ganesan, and G. P. Maniam, "Regeneration and reutilization of oil-laden

- spent bleaching clay via in situ transesterification and calcination,” *The Journal of the American Oil Chemists’ Society*, vol. 88, pp. 1247–1253, 2011.
- [36] J. L. Martinez, “Recovery of residual oils after mechanical press using supercritical fluid extraction,” *INFORM*, vol. 16, no. 10, pp. 612–613, 2005.
- [37] L. D. Do and D. A. Sabatini, “Aqueous extended-surfactant based method for vegetable oil extraction: Proof of concept,” *Journal of the American Oil Chemists’ Society*, vol. 87, pp. 1211–1220, 2010.
- [38] Y. A. S. Alhamed and A. A. Al-Zahrani, “Techno-economical evaluation of oil recovery and regeneration of spent bleaching clay,” *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, vol. 11, no. 2, pp. 115–126, 1999.
- [39] Y. P. Huang and J. I. Chang, “Biodiesel production from residual oils recovered from spent bleaching earth,” *Renewable Energy*, vol. 35, pp. 269–275, 2010.
- [40] S. K. Loh, S. F. Cheng, Y. M. Choo, and A. N. Ma, “A study of residual oils recovered from spent bleaching earth: Their characteristics and applications,” *American Journal of Applied Sciences*, vol. 3, no. 10, pp. 2063–2067, 2006.
- [41] C. G. Lee, C. E. Seng, and K. Y. Liew, “Solvent efficiency for oil extraction from spent bleaching clay,” *Journal of the American Oil Chemists’ Society*, vol. 77, no. 11, pp. 1219–1222, 2000.
- [42] A. A. Al-Zahrani and Y. A. Alhamed, “Oil removal from spent bleaching clay by solvent extraction,” *Journal of Environmental Science and Health Part A*, vol. 35, no. 9, pp. 1577–1590, 2000.
- [43] A. W. Nursulihatimarsyila, K. Y. Cheah, T. G. Chuah, W. L. Siew, and T. S. Y. Choong, “Deoiling and regeneration efficiencies of spent bleaching clay,” *American Journal of Applied Sciences*, vol. 7, no. 3, pp. 434–437, 2010.
- [44] Y. Z. Wang, H. L. Xu, L. Gao, M. M. Yan, H. L. Duan, and C. M. Song. “Regeneration of spent lubricant refining clays by solvent extraction,” *International Journal of Chemical Engineering*, vol. 2015, pp. 1–7, 2015.