การวิเคราะห์ปริมาณโลหะในกลีเซอรีนที่ได้จากการสกัดแยกด้วยตัวทำละลาย โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ

Analyzing the Amount of Metal in Glycerin from the Acid-Catalyzed Solvent Extraction Process Cooperating with a Rotary Evaporator

บทความวิจัย

พัดชา เพิ่มพิพัฒน์
Patcha Permpipat
ส่วนการศึกษา กองวิชาเคมี โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จ.นครนายก ประเทศไทย 26000
Department of Chemistry, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon Nayok, Thailand 26000
E-mail: Patcha.ph@crma.ac.th

บทคัดย่อ

ไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งการผลิตไบโอดีเซลจะได้กลีเซอรีนดิบเป็นผลพลอยได้เสมอ หากสามารถเพิ่มมูลค่าของกลีเซอรีนดิบจะส่งผลให้ต้นทุนของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลถูกลง กลีเซอรีนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ นอกจากจะพิจารณาร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรีนแล้ว ปริมาณโลหะในกลีเซอรีนถือเป็นปัจจัยที่สำคัญเช่นเดียวกัน เพราะหากกลีเซอรีนที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐาน แต่มีปริมาณโลหะปนเปื้อนสูง การนำกลีเซอรีนดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ก็จะถูกจำกัดลง ดังนั้น วิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณโลหะโพแทสเซียม (K) โซเดียม (Na) เหล็ก (Fe) และตะกั่ว (Pb) ในกลีเซอรีนดิบก่อนและหลังผ่านกระบวนการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดซัลฟิวริก 8 M และกรดฟอสฟอริก 8 M เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการกลั่นแบบสุญญากาศ

วันที่รับบทความ: 2 พ.ย.65 วันที่ แก้ไขบทความ: 16 ธ.ค.65 วันที่ตอบรับบทความ: 19 ธ.ค.65

ผลการวิจัยพบว่า ก่อนผ่านกระบวนการสกัดแยกกลีเซอรีนดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว มีโพแทสเซียม (K) 3.2% โซเดียม (Na) 0.02% เหล็ก (Fe) 29.4 mg/kg และตะกั่ว (Pb) น้อยกว่า 2.5 mg/kg ตามลำดับ และเมื่อนำมาสกัดแยกโดยใช้กรดซัลฟิวริก 8 M จะได้กลีเซอรีนที่มีค่าร้อยละความบริสุทธิ์เท่ากับ 89.7 ± 0.01 มีปริมาณโลหะลดลง คือ โพแทสเซียม (K) 0.03% โซเดียม (Na) 0.002% เหล็ก (Fe) 2.8 mg/kg และตะกั่ว (Pb) น้อยกว่า 2.0 mg/kg ตามลำดับ สำหรับการสกัดแยกโดยใช้กรดฟอสฟอริก 8 M จะได้กลีเซอรีนที่มีค่าร้อยละความบริสุทธิ์เท่ากับ 87.7 ± 0.01 มีปริมาณโลหะลดลง คือ โพแทสเซียม (K) 0.04% โซเดียม (Na) 0.004% เหล็ก (Fe) น้อยกว่า 2.5 mg/kg และตะกั่ว (Pb) น้อยกว่า 2.0 mg/kg ตามลำดับ ซึ่งโลหะในกลีเซอรีนดิบมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญและมีปริมาณโลหะเป็นไปตามมาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด ดังนั้น การสกัดแยกกลีเซอรีน โดยวิธีการดังกล่าวช่วยลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลและส่งเสริมให้ชุมชนสนใจการผลิตไบโอดีเซลมากขึ้น และทำให้เกิดความมั่นคงด้านพลังงานในชุมชนและประเทศชาติ

คำสำคัญ: โลหะในกลีเซอรีน, การสกัดแยก, ตัวเร่งปฏิกิริยา

Abstract

Biodiesel can be used as a renewable energy in biodiesel production, crude glycerin is always a by-product. So, if we are able to increase the value of such crude glycerin, the cost of the biodiesel production process will be cheaper. Besides the percentage of glycerin purity, the percent of contaminated metal in the extracted glycerin is also important. If the extracted glycerin has a high percent of purity and a high percent of contaminated metal, the extracted glycerin cannot be used as a reactant in many industries. Therefore, the purpose of the research is to study the metal content of potassium (K), sodium (Na), iron (Fe) and lead (Pb) in crude glycerin before and after the extraction process using 8 M sulfuric acid. and 8 M phosphoric acid in combination with a rotary evaporator.

From the result, crude glycerin, a by-product of biodiesel production from using oil, contained potassium (K) 3.2%, sodium (Na) 0.02%, iron (Fe) 29.4 mg/kg and lead (Pb) less than 2.5 mg/kg According to the research results, the extracted glycerin by using sulfuric acid 8M had 89.7 ± 0.01% of the purity with potassium (K) 0.03%, sodium (Na) 0.002%, iron (Fe) 2.8 mg/kg and lead (Pb) less than 2.0 mg/kg while the extracted glycerin by using phosphoric acid 8 M had 87.7 ± 0.01% of the purity with potassium (K) 0.04%, sodium (Na) 0.004%, iron (Fe) less than 2.5 mg/kg and lead (Pb) less than 2.0 mg/kg, respectively. The amount of contaminated metal had been reduced significantly and the number of heavy metals is in accordance under the standards of the Ministry of Industry. Therefore, the extraction of glycerin by this method will help to reduce the cost of biodiesel production and encourage communities to be more interested in biodiesel production which will make the energy sustainable in the community and the nation.

Keywords: Metal in glycerin, Extraction, Catalyst

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันทั่วโลกเกิดวิกฤตความผันผวนทางด้านเศรษฐกิจและพลังงาน โดยความต้องการด้านพลังงานเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทุกปี โดยเฉพาะพลังงานฟอสซิลที่จัดเป็นพลังงานหลัก เช่น น้ำมันและก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันพลังงานดังกล่าว มีราคาค่อนข้างสูง และเป็นต้นเหตุของการเกิดภาวะวิกฤตทางด้านพลังงานในหลาย ๆ ประเทศ ตัวอย่างเช่น ประเทศในแถบทวีปยุโรป ซึ่งต้องอาศัยก๊าซธรรมชาติที่นำเข้าจากประเทศรัสเซียเป็นหลักในการผลิตพลังงาน โดยแต่เดิมนั้นแต่ละประเทศในยุโรปไม่ได้มีการวางแผนเกี่ยวกับพลังงานทางเลือกสำรองไว้ เมื่อมีการขาดแคลนหรือเกิดวิกฤตเกี่ยวกับพลังงานหลักของประเทศ จึงทำให้เกิดปัญหาด้านความมั่นคงตามมาอย่างไม่คาดคิด เพื่อการสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานที่อาจจะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพด้านความมั่นคงของประเทศจึงมีความจำเป็นมากขึ้นในปัจจุบัน ดังนั้น ทุกประเทศต่างพยายามคิดค้นและเสาะหาพลังงานทางเลือกในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อนำมาใช้ทดแทนพลังงานในรูปแบบเก่า ๆ ที่นานวันจะมีแต่ลดน้อยลงไปเรื่อย ๆ แต่ความต้องการของผู้บริโภคเพิ่มสูงขึ้น สำหรับประเทศไทยไบโอดีเซลถือเป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนที่น่าสนใจ แต่ในปัจจุบันยังไม่มีการส่งเสริมให้ชุมชนผลิตและใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่สูง เพราะเป็นการนำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มาเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิต ซึ่งการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแต่ละครั้งจะได้กลีเซอรีนดิบเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมร้อยละ 10 หรือกล่าวโดยสังเขป คือ ในการผลิตไบโอดีเซล 10 กิโลกรัม จะได้กลีเซอรอลหรือกลีเซอรีนดิบ 1 กิโลกรัม (Pal & Chaurasia, 2016) โดยกลีเซอรีนดิบส่วนใหญ่จะถูกนำไปเผาเพื่อให้พลังงานซึ่งแก๊สจากการเผาอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ในทางกลับกันหากนำกลีเซอรีนดิบมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จะได้กลีเซอรีนออกมา กลีเซอรีนจัดเป็นสารโพลีไฮดริกแอลกอฮอล์ (Polyhydric Alcohol) ที่มีสูตรเคมี $C_3H_8O_3$ เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ จึงมีคุณสมบัติละลายน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดี มีรสหวาน และมีความคงตัวสูงในสภาวะปกติของการใช้งานและการเก็บรักษา ดังนั้น กลีเซอรีนที่มีความบริสุทธิ์สูงจึงจัดเป็นวัตถุดิบทางอุตสาหกรรมที่สำคัญและถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารเคมีอื่น ๆ เช่น ใช้เป็นส่วนผสมหรือเป็นตัวช่วยในกระบวนการผลิตเครื่องสำอางผลิตภัณฑ์ในห้องน้ำและสุขอนามัย อาหาร ยาสีฟัน ยาสระผม และอุตสาหกรรมสบู่ เป็นต้น (Muniru et al., 2016) นอกจากนี้ กลีเซอรีนบริสุทธิ์ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีก เช่น เป็นตัวทำละลายสารละลาย (Favier, Pla & Gómez, 2018) สารเพิ่มความหวานในอาหาร และสารหล่อลื่น และใช้เป็นส่วนผสมหรือเป็นตัวช่วยในกระบวนการผลิตไฮโดรเจน (Bagnato, Iulianelli, Sanna, & Basille, 2017) ในปัจจุบันนี้ กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกำลังได้รับความสนใจมากยิ่งขึ้น ซึ่งหากใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแล้ว ปัญหาเกี่ยวกับโลหะปนเปื้อนจะมีน้อย แต่ก็จะทำให้ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลดังกล่าวค่อนข้างสูง ดังนั้น เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลและเป็นไปตามหลักแนวคิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าในอนาคต คือลดขยะและสิ่งที่ไม่มีมูลค่าให้เหลือศูนย์ หรือ Zero Waste ซึ่งนอกจากจะมุ่งเน้นการไม่ทำให้เกิดขยะแล้ว ยังมองขยะเป็นทรัพยากรที่มีมูลค่าสามารถนำมาผ่านกระบวนการบางอย่างเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้หลักแนวคิด 5Rs คือ Redesign Reduce Reuse Recycle และ Recover (ปวีณา พาณิชยพิเชฐ, 2563)

จากแนวคิดที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงสนใจกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว เช่น น้ำมันจากการประกอบอาหาร เป็นต้น แต่ทั้งนี้น้ำมันที่ผ่านการใช้แล้วมีโอกาสปนเปื้อนสารโลหะ และจะส่งผลให้กลีเซอรีนดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลปนเปื้อนไปด้วย ดังนั้น เมื่อกลีเซอรีนดิบซึ่งเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นสำหรับการสกัดแยกกลีเซอรีนให้บริสุทธิ์ปนเปื้อนโลหะแล้ว แม้ว่ากระบวนการสกัดแยกจะเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรีนได้ แต่หากไม่สามารถลดปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนได้ การจะนำกลีเซอรีนที่ได้จากการสกัดแยกกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ก็จะถูกจำกัด เพราะตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ชื่อวัตถุห้ามใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอาง พ.ศ.2559 (2559) ได้กำหนดมาตรฐานปริมาณโลหะในเครื่องสำอางไว้ เช่น ตะกั่ว และสารประกอบของตะกั่ว (Pb) ไม่ควรมีเกิน 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตามมาตรฐานที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดไว้ คือ ในอาหารไม่ควรมีปริมาณตะกั่วเกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องจากหากร่างกายได้รับตะกั่วเกินมาตรฐานจะทำให้เกิดอาการปวดในช่องท้อง ปวดศีรษะ วิงเวียน โลหิตจาง และอาจรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้

การทำกลีเซอรีนดิบให้บริสุทธิ์โดยการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ สามารถเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรีนมากขึ้น แต่ยังไม่มีการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะปนเปื้อนในกลีเซอรีนที่ผ่านกระบวนการสกัดแยกดังกล่าวว่า มีปริมาณโลหะเป็นไปตามมาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดหรือไม่

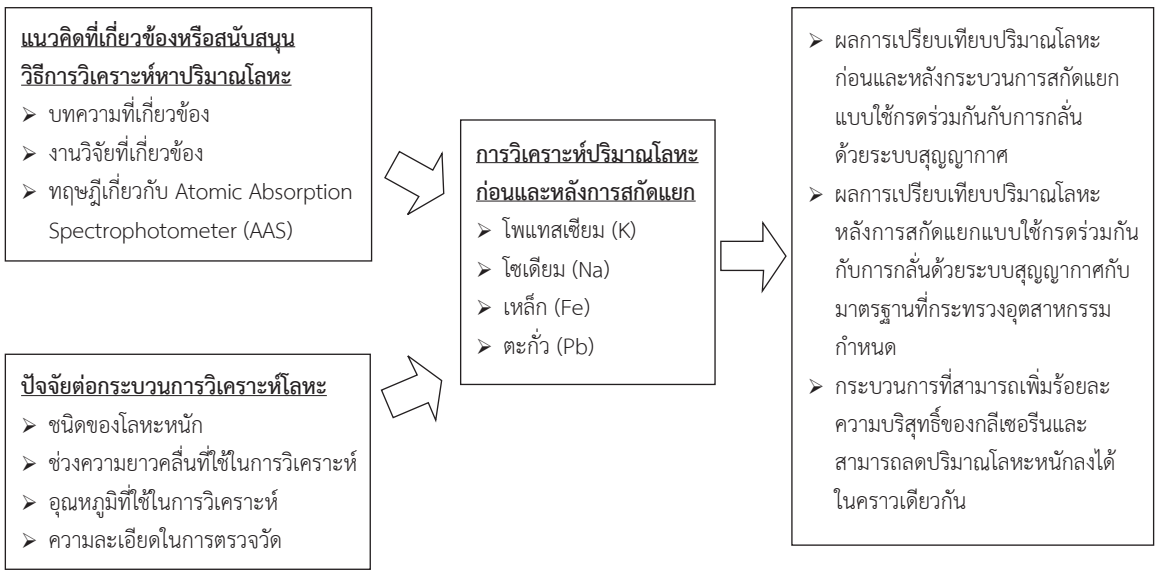
ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะในกลีเซอรีนที่ผ่านกระบวนการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ เพราะหากกระบวนการสกัดแยกนี้สามารถเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรีนและลดปริมาณโลหะได้ในคราวเดียวกัน ก็จะเป็นการส่งเสริมการผลิตและการใช้ไบโอดีเซล เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวไม่ได้ใช้เครื่องมือที่มีราคาสูงและซับซ้อน และสามารถถ่ายทอดองค์ความรู้ดังกล่าวสู่ชุมชน เพื่อนำไปสู่การรณรงค์เรื่องการนำน้ำมันใช้แล้ว ซึ่งเปรียบเสมือนขยะไร้ค่ามาผลิต ไบโอดีเซล และสามารถนำผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซล คือ กลีเซอรีนดิบมาผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อเพิ่มมูลค่าและนำกลับไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอุตสาหกรรมอื่น ตามหลักแนวคิดการใช้พลังงานแบบ zero waste ซึ่งจะทำให้เกิดความมั่นคงทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมในระดับชุมชนและประเทศในอนาคตต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาปริมาณโลหะปนเปื้อนในกลีเซอรีนก่อนและหลังผ่านกระบวนการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนในกลีเซอรีน ก่อนและหลังผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามแผนผังดังภาพที่ 1 ซึ่งมีการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

จารุวรรณ ดรเถื่อน และกนกอร นักบุญ (2561) ได้วิเคราะห์หาปริมาณเมทานอล เหล็ก ทองแดง และตะกั่วในไวน์เม่าที่จำหน่ายในท้องตลาดจำนวน 6 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีแบบเฟลม ไอออไนเซชัน ซึ่งใช้แคพิลลารี่คอลัมน์ชนิด RT-2560 พบว่า ปริมาณเมทานอล เหล็ก ทองแดง และตะกั่วในไวน์เม่ามีน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดคือ ปริมาณตะกั่วเท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร เหล็กเท่ากับ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และทองแดงเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

Porntiwa (2019) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณและสาเหตุของการปนเปื้อนโลหะในนาข้าว ซึ่งส่งผลให้เมล็ดข้าวที่ผลิตได้มีปริมาณโลหะปนเปื้อนอยู่ โดยการตรวจสอบจะนำดินและเมล็ดข้าวมาผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อให้ได้สารตัวอย่างและนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะ โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ผลการวิเคราะห์การเกิดขึ้นของโลหะในดินทางการเกษตรเรียงตามลำดับ ดังนี้ ตะกั่ว (Pb) > แมงกานีส (Mn) > สังกะสี (Zn) > ทองแดง (Cu) > นิเกิล (Ni) และในเมล็ดข้าวเรียงตามลำดับดังนี้ Zn > Mn > Cu > Ni ทั้งนี้ พบว่า ปริมาณ Pb และ Zn มีค่าการปนเปื้อนเกินมาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนด

Attard and Attard (2022) ได้ศึกษาการวิเคราะห์โลหะหนักในเครื่องสำอาง 16 ชนิด ที่แตกต่างกันโดยพบว่าลิปสติก อายแชโดว์ สีทาหน้า รองพื้นสำหรับแต่งหน้า และครีมปรับผิวให้ขาวขึ้น มักมีโลหะหนักในปริมาณสูง ทั้งนี้ องค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา (Food and Drung Administration: FDA) ได้กำหนดปริมาณสารหนู (AS) เท่ากับ 5 Part Per Million (ppm) ตะกั่ว (Pb) เท่ากับ 5 ppm และโลหะหนักอื่น ๆ เท่ากับ 20 ppm ตามลำดับ

จากผลการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น งานวิจัยนี้ ใช้เครื่อง AAS วิเคราะห์หาปริมาณโลหะในกลีเซอรีนบริสุทธิ์ที่ได้จากการสกัดแยกด้วยตัวทำละลาย โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ โดยนำกลีเซอรีนที่ผ่านการสกัดแยกมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ ซึ่งกลีเซอรีนดังกล่าวสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มที่หนึ่งเป็นกลีเซอรีน ที่ผ่านการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดซัลฟิวริก 8 M เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการกลั่นแบบสุญญากาศ 3 ตัวอย่าง และกลุ่มที่สองเป็นกลีเซอรีนที่ผ่านการสกัดแยกด้วยตัวทำละลาย โดยใช้กรดฟอสฟอริก 8 M 3 ตัวอย่าง โดยการวิเคราะห์จะเป็นการศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณโลหะ โพแทสเซียม โซเดียม เหล็ก และตะกั่ว ในกลีเซอรีนแต่ละกลุ่ม โดยจะวิเคราะห์ขั้นก่อนและหลังผ่านการสกัดแยกดังกล่าว และนำค่าที่ได้แต่ละกลุ่มตัวอย่างมาหาค่าเฉลี่ย ขั้นตอนการดำเนินงานมีรายละเอียด ดังนี้

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นของกลีเซอรีนดิบ ตัวอย่างกลีเซอรีนดิบที่นำมาศึกษาได้มาจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ของกรมอู่ทหารเรือ แขวงศิริราช เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร โดยได้นำตัวอย่าง กลีเซอรีนดิบดังกล่าวมาวิเคราะห์หาร้อยละของกลีเซอรีน ร้อยละของน้ำ ความหนาแน่น และปริมาณโลหะ ตามลำดับ

2. การนำกลีเซอรีนบริสุทธิ์ที่ได้จากการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 8 M และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 8 M เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะโดยใช้เครื่อง AAS

3. การเตรียมสารตัวอย่าง

ชั่งสารตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 20 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนกระทั่งสารทำปฏิกิริยาเสร็จสิ้น จากนั้นเติมกรดไนตริก (HNO_3) 10 มิลลิลิตร พร้อมให้ความร้อนจนปฏิกิริยาเสร็จสิ้น หลังจากนั้นเติมกรดไนตริก (HNO_3) อีก 10 มิลลิลิตร ปล่อยให้ทำปฏิกิริยาจนสารตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีใส และระเหยจนสารตัวอย่างเหลือประมาณ 1 มิลลิลิตร ต่อมาเติมน้ำปราศจากไอออน 20 มิลลิลิตร กรดไนตริก 2 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริก 3 มิลลิลิตร และนำไปอุ่นให้ร้อน 2-3 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น และนำสารตัวอย่างไปกรองและเก็บไว้ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ดังภาพที่ 2 ทำซ้ำ 3 ครั้ง จนครบทุกสารตัวอย่าง

ภาพที่ 2 การเตรียมสารตัวอย่างในตู้ดูดควัน

4. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะโดยใช้เครื่อง AAS แบบเทคนิค Fame (Air-Acetalene) ซึ่งมีการตั้งค่าเครื่องมือสำหรับการวัดความยาวคลื่นในช่วงที่เหมาะสมสำหรับโลหะหนักแต่ละชนิดที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 การตั้งค่าเครื่องมือก่อนการวิเคราะห์

สำหรับการตั้งค่าเพื่อวัดการดูดกลืนแสงของโลหะแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังนี้

- Fe วัดที่ความยาวคลื่น 248 นาโนเมตร
- Pb วัดที่ความยาวคลื่น 217 นาโนเมตร
- Na วัดที่ความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร
- K วัดที่ความยาวคลื่น 766.5 นาโนเมตร

วัดค่าสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ กลีเซอรีนดิบและสารกลีเซอรีนบริสุทธิ์ที่ผ่านการเตรียมสาร ตามลำดับ เพื่อหาปริมาณโลหะในสารตัวอย่างโดยทำการวัดค่า 3 ครั้งต่อ 1 สารที่จะวิเคราะห์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

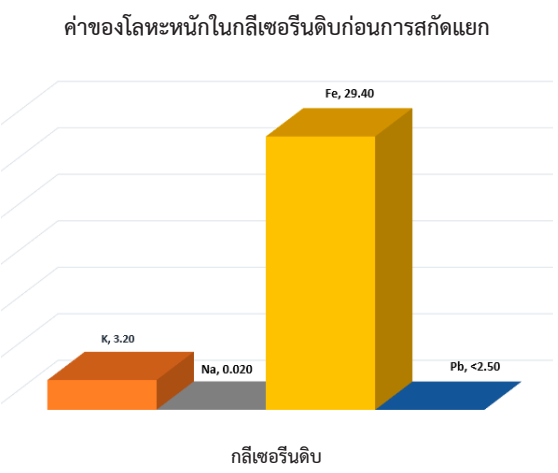
1. สารเคมีที่ใช้
   - กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 1 ลิตร
   - กรดไนตริก (HNO_3) 1 ลิตร
   - สารละลายมาตรฐานโลหะหนักแต่ละชนิด 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
   - สารละลายเปล่ามาตรฐาน กรด 1% (v/v)
   - แก๊สอะเซทิลีน
2. เครื่องมือที่ใช้
   - เครื่อง AAR PerkinElmer รุ่น AAanalyst 300
   - เครื่องชั่งน้ำหนักที่สามารถใช้ในการอ่านค่า 0.0001 g
   - เครื่องกำจัดไอออนในน้ำ
   - จานกระจกนาฬิกา
   - กระดาษกรอง เบอร์ 5
   - ปิเปตขนาด 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 10 มิลลิลิตร
   - ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะแต่ละชนิดในกลีเซอรีนดิบที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว โดยใช้เครื่องมือที่มีกำลังผลิตไบโอดีเซล 100 ลิตรต่อครั้งของกรมอู่ทหารเรือ ซึ่งเครื่องดังกล่าว ได้มีการแจกจ่ายไปทดลองใช้ตามส่วนราชการอื่น ๆ ด้วย กลีเซอรีนดิบดังกล่าวเมื่อนำมาวิเคราะห์ พบว่า มีปริมาณโพแทสเซียม (K) ร้อยละ 3.2 และโซเดียม (Na) ร้อยละ 0.02 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณเหล็ก (Fe) 29.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณตะกั่ว (Pb) น้อยกว่า 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ รายละเอียดดังตารางที่ 1 และภาพที่ 4

ตารางที่ 1 ข้อมูลวิเคราะห์โลหะในกลีเซอรีนดิบ

โลหะ	ปริมาณโลหะที่ตรวจพบในกลีเซอรีนก่อนการสกัดแยก			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
K (%)	3.190	3.200	3.210	3.200
Na (%)	0.021	0.020	0.019	0.020
Fe (mg/kg)	29.380	29.390	29.420	29.400
Pb (mg/kg)	< 2.500	< 2.500	< 2.500	< 2.500



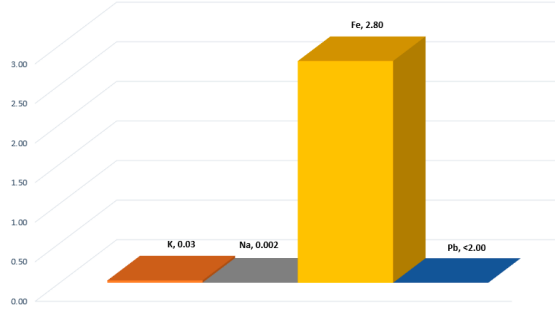
ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์โลหะในกลีเซอรีนดิบ

2. จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะในกลีเซอรีนบริสุทธิ์ที่ได้จากการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 8 M เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศมีปริมาณโพแทสเซียม (K) ร้อยละ 0.03 และโซเดียม (Na) ร้อยละ 0.002 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณเหล็ก (Fe) 2.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณตะกั่ว (Pb) น้อยกว่า 2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ รายละอียดดังตารางที่ 2 และภาพที่ 5

ตารางที่ 2 ข้อมูลวิเคราะห์โลหะในกลีเซอรีนบริสุทธิ์ที่ได้จากการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 8 M เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ

โลหะ	ปริมาณโลหะที่ตรวจพบในกลีเซอรีนหลังการสกัดแยก			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
K (%)	0.0295	0.0280	0.0320	0.0300
Na (%)	0.0018	0.0019	0.0021	0.0020
Fe (mg/kg)	2.8000	2.7900	2.8100	2.8000
Pb (mg/kg)	< 2.0000	< 2.0000	< 2.0000	< 2.0000

ค่าของโลหะหนักในกลีเซอรีนดิบหลังการสกัดแยกโดยกรดซัลฟุริก



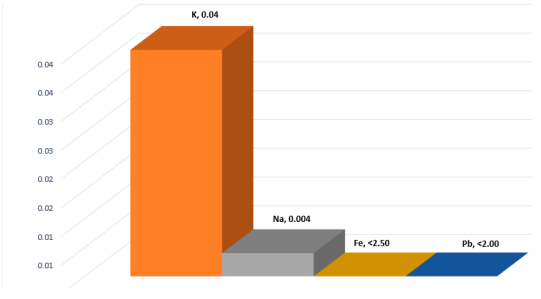
ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์โลหะในกลีเซอรีน บริสุทธิ์ที่ได้จากการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 8 M เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ

3. จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะในกลีเซอรีนบริสุทธิ์ที่ได้จากการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 8 M เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ พบว่า มีปริมาณโพแทสเซียม (K) ร้อยละ 0.04 และโซเดียม (Na) ร้อยละ 0.004 โดยมีน้ำหนัก และปริมาณเหล็ก (Fe) น้อยกว่า 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณตะกั่ว (Pb) น้อยกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ รายละเอียดดังตารางที่ 3 และภาพที่ 6

ตารางที่ 3 ข้อมูลวิเคราะห์โลหะในกลีเซอรีน บริสุทธิ์ที่ได้จากการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 8 M เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ

โลหะ	ปริมาณโลหะที่ตรวจพบในกลีเซอรีนหลังการสกัดแยก			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
K (%)	0.0380	0.0390	0.0410	0.0400
Na (%)	0.0038	0.0042	0.0041	0.0040
Fe (mg/kg)	< 2.5000	< 2.5000	< 2.5000	< 2.5000
Pb (mg/kg)	< 2.0000	< 2.0000	< 2.0000	< 2.0000

ค่าของโลหะหนักในกลีเซอรีนดิบหลังกายสกัดแยกในกรดฟอสฟอริก



ภาพที่ 6 ผลการวิเคราะห์โลหะในกลีเซอรีน บริสุทธิ์ที่ได้จากการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 8 M เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ

ทั้งนี้ ข้อมูลผลการวิเคราะห์โพแทสเซียม (K) โซเดียม (Na) เหล็ก (Fe) และ ตะกั่ว (Pb) ตามค่าการดูดกลืนแสงของโลหะในแต่ละช่วงความยาวคลื่น แสดงดังตารางที่ 4, 5, 6 และ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ข้อมูลการวิเคราะห์โพแทสเซียม (K)
Potassium (K) Atomic No. = 19
Flame type: Air/Acetylene

Wavelength	Slit (nm)	Conc. (mg/L)	Lamp Intensity
766.5	1.00	0.40	100.00
769.9	1.00	0.80	80.00
404.4	0.50	160.00	5.00

ตารางที่ 5 ข้อมูลการวิเคราะห์โซเดียม (Na)
Sodium (Na) Atomic No. = 11
Flame type: Air/Acetylene

Wavelength	Slit (nm)	Conc. (mg/L)	Lamp Intensity
589.0	0.50	0.40	100.00
769.9	0.20	0.60	60.00
404.4	0.20	150.00	2.00

ตารางที่ 6 ข้อมูลการวิเคราะห์เหล็ก (Fe)
Iron (Fe) Atomic No. = 26
Flame type: Air/Acetylene

Wavelength	Slit (nm)	Conc. (mg/L)	Lamp Intensity
248.3	0.20	2.50	15.00
372.0	0.20	25.00	100.00
386.0	0.20	40.00	50.00

ตารางที่ 7 ข้อมูลการวิเคราะห์ตะกั่ว (Pb)
Lead (Pb) Atomic No. = 82
Flame type: Air/Acetylene

Wavelength	Slit (nm)	Conc. (mg/L)	Lamp Intensity
217.0	1.00	5.00	20.00
283.3	0.50	10.00	100.00
264.1	0.50	200.00	30.00

สรุปและอภิปรายผล

โลหะบางชนิดเป็นสารที่เป็นอันตราย แม้ร่างกายจะได้รับในปริมาณเพียงเล็กน้อย เช่น ตะกั่ว จะทำให้เกิดอาการปวดในช่องท้อง ปวดศีรษะ วิงเวียน โลหิตจาง และอาจมีอาการรุนแรงถึงขั้นการเสียชีวิตได้ ดังนั้น การวิเคราะห์ปริมาณโลหะปนเปื้อนในกลีเซอรีนที่ผ่านการสกัดแยกด้วยวิธีการดังกล่าว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการก่อนที่จะนำกลีเซอรีนดังกล่าวกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้น หรือเป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมหลาย ๆ ด้าน ต่อไป เช่น อุตสาหกรรมยา อาหาร และเครื่องสำอาง

จากการศึกษางานวิจัยอื่น ๆ พบว่า กลีเซอรีนดิบที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดซัลฟิวริกหรือกรดฟอสฟอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ สามารถทำให้กลีเซอรีนที่ได้มีร้อยละความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น และในงานวิจัยนี้ได้นำกลีเซอรีนดังกล่าวมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักปนเปื้อน ซึ่งผลการวิเคราะห์มีรายละเอียด ดังนี้

1. การสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 8 M เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศนั้น นอกจากจะทำให้กลีเซอรีนมีร้อยละความบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้นแล้ว ยังสามารถลดปริมาณของโลหะลงได้ในคราวเดียวกัน คือ ปริมาณโพแทสเซียมลดลงจากร้อยละ 3.2 เป็นร้อยละ 0.03 โดยน้ำหนัก ปริมาณโซเดียมลดลงจากร้อยละ 0.02 เป็นร้อยละ 0.002 โดยน้ำหนักปริมาณเหล็กลดลงจาก 29.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 2.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณตะกั่วลดลงจากน้อยกว่า 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นน้อยกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2. การสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) 8 M เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศนั้น นอกจากจะทำให้กลีเซอรีนมีร้อยละความบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้นแล้วยังสามารถลดปริมาณของโลหะหนักลงได้ในคราวเดียวกัน คือ ปริมาณโพแทสเซียมลดลงจากร้อยละ 3.2 เป็นร้อยละ 0.04 โดยน้ำหนัก ปริมาณโซเดียมลดลงจากร้อยละ 0.02 เป็นร้อยละ 0.004 โดยน้ำหนัก ปริมาณเหล็กลดลงจาก 29.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นน้อยกว่า 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณตะกั่วลดลงจากน้อยกว่า 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็นน้อยกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่ากระบวนการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ เป็นกระบวนการที่สามารถเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรีนดิบ และสามารถลดปริมาณโลหะปนเปื้อนในกลีเซอรีนดังกล่าวลงจนมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดได้ในคราวเดียวกัน

3. การสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดซัลฟิวริกหรือกรดฟอสฟอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศ สามารถเพิ่มร้อยละความบริสุทธิ์ของกลีเซอรีน และลดปริมาณโลหะปนเปื้อนในกลีเซอรีนได้ในคราวเดียวกัน แต่หากคำนึงถึงความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและการสึกกร่อนของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต การใช้กรดฟอสฟอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและอุปกรณ์มากกว่ากรดซัลฟิวริก เนื่องจากกรดฟอสฟอริกเป็นกรดอ่อน และมีความรุนแรงในการกัดกร่อนน้อยกว่ากรดซัลฟิวริก

4. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะในกลีเซอรีน มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ชนิดของโลหะ เพราะโลหะต่างชนิดกันจะมีเงื่อนไขในการตั้งค่าบนเครื่องมือวิเคราะห์ที่แตกต่างกันไป เช่น การเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง (Hollow Cathode Lamp) ซึ่งจะมีโลหะที่ต้องการวิเคราะห์เคลือบอยู่ที่บริเวณขั้วของแหล่งกำเนิดแสงเป็นต้น ดังนั้น หากตั้งค่าบนเครื่องมือหรือใช้แหล่งกำเนิดแสงไม่เหมาะสมกับชนิดโลหะที่ต้องการวิเคราะห์ก็จะทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

4.2 ค่าความยาวคลื่นในการวิเคราะห์ของโลหะจะมีส่งผลต่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ เนื่องจากโลหะแต่ละชนิดจะดูดกลืนแสงในช่วงค่าความยาวคลื่นที่แตกต่างกันไป เช่น ตะกั่วควรจะตั้งค่าความยาวคลื่นอยู่ที่ 217 นาโนเมตร ดังนั้น การตั้งค่าความยาวคลื่นของโลหะที่ต้องการวิเคราะห์บนเครื่องมือจึงมีความสำคัญ ค่าการดูดกลืนแสงของโลหะจะแปรผันตรงกับค่าปริมาณโลหะที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง

4.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์มีผลต่อความถูกต้องของการวิเคราะห์ เนื่องจากในการวิเคราะห์โลหะโดยเครื่อง AAS แบบเทคนิค Fame จะใช้พลังงานความร้อนจากเปลวไฟสีน้ำเงินที่ได้จากการเผาก๊าซอะเซทิลีน ซึ่งโดยทั่วไป จะมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 1,000-1,600 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซอะเซทิลีนที่ใช้ ขณะนั้นโดยโลหะที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกเผาโดยเปลวไฟ

จนกระทั่งโลหะเหล่านั้น เปลี่ยนสถานะไปเป็นไอของโลหะ เพื่อให้เครื่องมือวิเคราะห์ในขั้นต่อไป ดังนั้น โลหะแต่ละชนิดจะใช้ความร้อนหรืออุณหภูมิที่แตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของจุดหลอมเหลว และจุดเดือดของโลหะนั้น

4.4 ค่าของความละเอียดสำหรับการตรวจวัดปริมาณโลหะแต่ละชนิดในกลีเซอรีนมีค่าแตกต่างกันไป โดยค่าความละเอียดของโลหะที่ตั้งไว้บนเครื่องมือวิเคราะห์จะอ้างอิงตามค่ามาตรฐานที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด ดังนั้น หากตั้งค่าความละเอียดในการตรวจวัดปริมาณโลหะไม่เหมาะสมกับชนิดของโลหะที่ต้องการวิเคราะห์ อาจทำให้ผลการตรวจวัดค่าปริมาณโลหะที่ได้มีความคลาดเคลื่อนหรือไม่ถูกต้อง

5. กระบวนการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศจะเป็นส่วนช่วยในการกระตุ้นและส่งเสริมการผลิตและการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้วในชุมชนและประเทศเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากวิธีการดังกล่าวสามารถเพิ่มมูลค่าของกลีเซอรีนดิบ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลลดต่ำลง และช่วยลดปัญหามลพิษที่เกิดจากการเผาทำลายกลีเซอรีนดิบดังเช่นที่ผ่านมา

6. การสกัดแยกด้วยตัวทำละลายโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับวิธีการกลั่นด้วยระบบสุญญากาศเป็นกระบวนการที่ส่งเสริมการใช้พลังงานในอนาคตอย่างคุ้มค่าตามแนวคิดแบบ Zero Waste คือ การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าโดยให้เหลือปริมาณขยะหรือสารตกค้างเหลือน้อยที่สุด เพื่อการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอันจะส่งผลให้เกิดความมั่นคงทางด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และเสถียรภาพด้านอื่น ๆ ของชุมชนและประเทศชาติต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นกระบวนการที่ดำเนินการในระดับห้องปฏิบัติการเบื้องต้น ดังนั้น หากจะมีการนำไปประยุกต์ใช้ในระดับชุมชน หรืออุตสาหกรรมควรจะต้องมีการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น ชนิดและแหล่งที่มาของน้ำมันใช้แล้ว ปริมาณกลีเซอรีนดิบที่จะนำมาผ่านขั้นตอนการสกัดแยกแต่ละครั้งและสัดส่วนกลีเซอรีนที่สกัดได้เทียบกับปริมาณกลีเซอรีนดิบก่อนจะนำมาผ่านขั้นตอนการสกัดแยก เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาในการดำเนินงานต่อไป

เอกสารอ้างอิง

จารุวรรณ ดรเถื่อน และกนกอร นักบุญ. (2561). การหาปริมาณเมทานอลและโลหะหนักบางชนิดในไวท์เม่า. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 48*(1 พิเศษ), 625-628.

“ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง ชื่อวัตถุที่ห้ามใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอาง พ.ศ.2559” (2559, 17 พฤษภาคม). *ราชกิจจานุเบกษา.* เล่ม 133 ตอนพิเศษ 114 ง.

ปวีณา พาณิชยพิเชฐ. (2563). *ลดโลกร้อนด้วย zero waste.* สืบค้นจาก https://ghgreduction.tgo.or.th/th/download-tver/68-tver-publications/1384-zero-waste.html

Attard, T., & Attard, E. (2022). Heavy Metals in Cosmetics. In Seleh, H. M., & Hassan, A. I. (Eds.), *Environmental Impact and Remediation of Heavy Metals.* London: IntechOpen Limited.

Bagnato, G., Iulianelli, A., Sanna, A., & Basile, A. (2017) Glycerol production and transformation: A critical review with particular emphasis on glycerol reforming reaction for producing hydrogen in conventional and membrane reactors. *Membrane, 7*(2).

Favier, I., Pla, D., & Gomer, M. (2018). Metal-based nanoparticles dispersed in glycerol: An efficient approach for catalysis. *Catalysis Today, 310,* 98-106.

Muniru, O. S., Ezeanyanaso, C. S., Fagbemigun T. K., Akubueze E. U., Oyewole O. A., Okunola O. J.,... Elemo G. N. (2016). Valorization of Biodiesel Production: Focus on Crude Glycerine Refining/ Purification. *Vth International Symposium on Fusion of Science & Technology* (p.293-397). New Delhi.

Pal, P. & Chaurasia, S. P. (2016). Characterization of Crude and Purified Glycerol from Biodiesel Production and Purification Techniques. *Vth International Symposium on "Fusion of Science & Technology* (p.293-397). New Delhi.

Satachon, P., Keawmoon, S., Rengsungnoen, P., Thummajitsakul, S., & Silprasit, K. (2019). Source and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Non-Certified Organic Rice Farming at Nakhon Nayok Province, Thailand. *Applied Environmental Research, 41*(3), 96-106.