

การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์

วุฒิชัย รสชาติ^{1,2*} สันติ ผิวผ่อง² กนกวรรณ ณะใจ² และ อมรรัตน์ แห่งทอง³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลชนิดกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (FAME) โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน น้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปฏิกิริยากับสารเมทานอล (CH_3OH) และใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่าการใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลสามารถให้ความร้อนกับสารผสมอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ $55 \pm 3^\circ\text{C}$ และพบว่าปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่า %FAME สูงถึง $97.7\% (\pm 1\%)$ โดยใช้เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (NMR) และเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (GC) ในการวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ ปริมาณร้อยละผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ (%yield) มีค่าเท่ากับร้อยละ 85 ± 3 คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานหลัก ASTM D6751 และ EN14214 ที่เป็นเกณฑ์มาตรฐานสากล ดังนั้นการใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลนี้ สามารถลดต้นทุนในส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต้องให้ความร้อนแก่สารผสมด้วยการใช้ความร้อนจากแหล่งพลังงานดวงอาทิตย์ ถือเป็นนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับการใช้งานในภาคครัวเรือนและวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็กเพื่อการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลไว้ใช้เองได้ในราคาต้นทุนที่ประหยัด

คำสำคัญ : น้ำมันไบโอดีเซล, น้ำมันปาล์มโอเลอิน, น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว, เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์

¹ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

² ศูนย์ความเป็นเลิศด้านพลังงานทางเลือก มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

³ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: roschat1@gmail.com รับเมื่อ 19 ธันวาคม 2560 ตอบรับเมื่อ 17 เมษายน 2561

Biodiesel production by using the prototype solar reactor

Wuttichai Roschat^{1,2*}, Sunti Phewphong², Kanokwan Najai² and Amonrat Thangthong³

Abstract

This work presents the biodiesel production as a fatty acid methyl ester (FAME) by using the prototype solar reactor via the transesterification reaction. Palm olein oil and waste cooking oil were used as a reactant which was attacked with methanol (CH_3OH) in the presence of sodium hydroxide (NaOH) as catalysts. The results found that the prototype solar reactor could be heated the reaction mixture of $55 \pm 3^\circ\text{C}$ and the reaction completed at 1 h. %FAME of the obtained biodiesel product was achieved 97.7% ($\pm 1\%$) which was analyzed by nuclear magnetic resonance spectroscopy (NMR) and gas chromatography spectroscopy (GC) technique, and yield of biodiesel product was 85% ($\pm 3\%$). The main physicochemical properties of the obtained biodiesel meet all the ASTM D6751 and EN14214 standard specifications. Therefore, the use of prototype solar reactor for biodiesel production is the one way to reduce the requirement energy from electricity supply for heating the reaction mixture by the use substitute energy from solar energy source. This research is a simple innovation and technology which suitable for households and small community enterprises to produce the low-cost biodiesel fuel as a cheap energy sources.

Keywords : Biodiesel, Palm oil, Waste cooking oil, Prototype solar reactor

¹ Program of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, Thailand.

² Biomass Energy Research Laboratory, Center of Excellence on Alternative Energy, Research and Development Institution, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, Thailand.

³ Program of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, Thailand.

* Corresponding author, E-mail: roschat1@gmail.com Received 19 December 2017, Accepted 17 April 2018

1. บทนำ

พลังงานถือได้ว่าเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นอีกประเทศหนึ่งที่ต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ เนื่องจากความต้องการบริโภคพลังงานของประชากรที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ สังคม และภาคอุตสาหกรรม โดยพลังงานปิโตรเลียมถือได้ว่าเป็นพลังงานหลักที่มีใช้มากที่สุดทั้งทางด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การคมนาคมขนส่ง และเป็นแหล่งพลังงานหลักที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า อย่างไรก็ตามผลกระทบจากการใช้แหล่งพลังงานจากปิโตรเลียมที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก ภัยพิบัติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น รวมทั้งความผันผวนด้านราคาส่งผลกระทบต่อความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศไทยอย่างมาก ด้วยเหตุนี้นโยบายด้านพลังงานของประเทศไทยจึงเป็นอีกหนึ่งในนโยบายที่สำคัญในการบริหารและจัดการระบบพลังงานโดยรวมของประเทศไทยให้มีความมั่นคงและมีเสถียรภาพต่อการพัฒนาประเทศ [1]

น้ำมันไบโอดีเซล (biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน เช่น น้ำมันพืช น้ำมันที่ใช้แล้ว ไขมันสัตว์หรือจากสาหร่ายน้ำมัน น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกและเชื้อเพลิงทดแทนที่สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมดีเซลได้โดยตรงโดยไม่ต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ดีเซลแต่อย่างใด เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลมีคุณสมบัติการเผาไหม้และการให้พลังงานเหมือนกับน้ำมันปิโตรเลียมดีเซลอย่างมาก [2-4] น้ำมันไบโอดีเซลเป็นสารเคมีประเภทอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid alkyl ester) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเคมีของสารไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ที่มีอยู่มากในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์กับ

สารแอลกอฮอล์โมเลกุลขนาดเล็ก ได้แก่ สารเมทานอล (CH_3OH) และสารเอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) โดยนิยมใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทด่าง เช่น สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ สารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เรียกปฏิกิริยานี้ว่า “ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน” (Transesterification reaction) เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะได้สารกลีเซอรอล (glycerol) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by-product) น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้สามารถนำไปเติมกับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรงหรืออาจทำการผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ เช่น น้ำมันไบโอดีเซลผสมกับกับน้ำมันดีเซลร้อยละ 3 (B3) ร้อยละ 5 (B5) หรือร้อยละ 10 (B10) เป็นต้น [5-8]

การผลิตและการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในปัจจุบันมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ โดยในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลสามารถแบ่งระดับการผลิตออกเป็น 2 ระดับ ประกอบด้วยระดับการผลิตเพื่อใช้ในครัวเรือนหรือชุมชน (วิสาหกิจชุมชน) และระดับการผลิตในระดับโรงงานอุตสาหกรรม ทั้งสองระดับการผลิตมีการใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกันทั้งนี้ในการผลิตระดับวิสาหกิจชุมชนจะใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนมากนักและคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีความเหมาะสมกับที่จะนำไปใช้กับเครื่องจักรกลทางการเกษตร (เครื่องยนต์รอบต่ำ) และรถยนต์ที่เป็นเครื่องยนต์เก่ามากกว่าที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์รุ่นใหม่ที่เป็นเครื่องยนต์แบบคอมมอนเรล (common rail engine) ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนทำให้บางกรณีการเกิดปฏิกิริยายังไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังพบว่าความต้องการใช้พลังงานน้ำมันดีเซลของภาคการเกษตรนั้นมีความความต้องการที่สูงขึ้นเนื่องจากการนำเครื่องจักรกลทางการ

เกษตรกรมาใช้มากขึ้น อย่างไรก็ตามด้วยปัจจัยด้านต้นทุนการผลิตของน้ำมันไบโอดีเซลที่สูงและความผันผวนของราคาน้ำมันปิโตรเลียม ทำให้กำลังการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในระดับวิสาหกิจชุมชนหรือการผลิตใช้ภายในครัวเรือนลดลง ดังนั้นการออกแบบเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสม มีประสิทธิภาพการผลิตที่สูง และต้นทุนการผลิตที่ต่ำจะช่วยให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้อย่างมาก ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานที่สะอาดและเป็นแหล่งพลังงานยั่งยืนได้อีกทางหนึ่ง

ในกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในระดับวิสาหกิจชุมชนในปัจจุบัน พบว่าการใช้ถังปฏิกรณ์ให้ความร้อนโดยใช้พลังงานจากกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ถึงปฏิกรณ์ดังกล่าวมีอุณหภูมิประมาณ 60-70°C ในการกระตุ้นสารตั้งต้นให้สามารถเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้อย่างสมบูรณ์ [9-11] ทั้งนี้ต้นทุนด้านค่าไฟฟ้านับเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลโดยตรงต่อราคาน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ อีกประการที่สำคัญคือราคาของชุดถังปฏิกรณ์ที่มีราคาแพง โดยชุดถังปฏิกรณ์ขนาด 120 ลิตร ราคาประมาณ 135,000-150,000 บาท ซึ่งเป็นราคาต้นทุนการผลิตที่ค่อนข้างสูงมาก ประกอบกับขนาดถังที่มีขนาดใหญ่ซึ่งถังปฏิกรณ์ที่มีจำหน่ายทั่วไปขนาดเล็กสุดอยู่ประมาณ 50 ลิตร ทำให้ในกระบวนการผลิตแต่ละครั้งต้องมีน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่เป็นสารตั้งต้นจำนวนมากพอต่อการผลิตจึงจะคุ้มทุนในการผลิตแต่ละรอบด้วยเหตุดังกล่าวนี้ เกษตรกรที่มีความต้องการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อใช้เองไม่สามารถทำได้ เนื่องจากด้วยราคาของชุดถังปฏิกรณ์และวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตที่มีจำนวนจำกัด เมื่อกำหนดความต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้พบว่ามีความใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

ดังนั้นการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลของงานวิจัยนี้ถือได้ว่าเป็นเครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบที่ขณะนักวิจัยได้ทำการวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อออกแบบถังปฏิกรณ์ให้มีประสิทธิภาพราคาประหยัด และสามารถใช้วัสดุที่มีอยู่ในครัวเรือนมาประดิษฐ์เป็นชุดถังปฏิกรณ์ดังกล่าวได้ รวมถึงสามารถออกแบบขนาดถังปฏิกรณ์ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานของเกษตรกรที่ต้องการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณต่าง ๆ สามารถลดต้นทุนในส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต้องให้ความร้อนแก่สารผสมด้วยการใช้ความร้อนจากแหล่งพลังงานดวงอาทิตย์ทดแทนเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ นอกจากนี้ยังมีกรออกแบบระบบการกวนสาร (stirrer) โดยใช้กระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ในการหมุนมอเตอร์แทนการใช้กระแสไฟฟ้าจากบ้านเรือน ซึ่งถือได้ว่าเป็นชุดถังปฏิกรณ์ที่ลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมาก เหมาะสมกับการใช้งานในภาคครัวเรือนและวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็กเพื่อทำการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลไว้ใช้เองได้ในราคาที่ประหยัดต่อไป

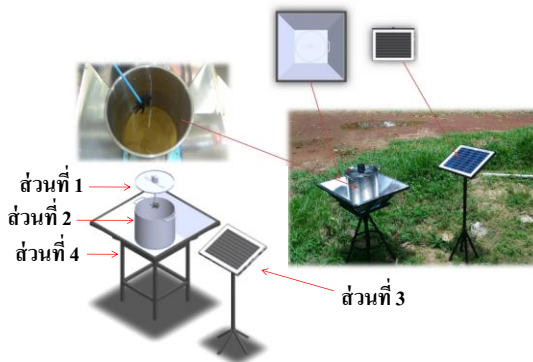
2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

2.1.1 ชุดเครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

ชุดเครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้ใช้พลังงานความร้อนจากการสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์และใช้พลังงานแสงอาทิตย์เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในการหมุนใบพัดเพื่อกวนสารผสม โดยชุดถังปฏิกรณ์ดังกล่าวดังกล่าวประกอบด้วยส่วนประกอบ

หลัก 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ชุดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ต่อกับชุดใบพัดเพื่อใช้ปั่นกวนสารผสม โดยต่อชุดอุปกรณ์ทั้งสองส่วนติดกับฝาปิดถังปฏิกรณ์ด้านบน ส่วนที่ 2 ตัวถังปฏิกรณ์ที่เป็นภาชนะโลหะอลูมิเนียมที่สามารถนำความร้อนได้ดี ส่วนที่ 3 ชุดแผงโซลาร์เซลล์ที่ต่อกระแสไฟฟ้าไปยังชุดมอเตอร์ไฟฟ้าใช้ในการหมุนใบพัดเพื่อกวนสารผสม และส่วนที่ 4 ชุดฐานรองรับตัวถังปฏิกรณ์ที่มีโลหะที่สามารถใช้สะท้อนแสงเพื่อให้ความร้อนแก่ตัวถังปฏิกรณ์ได้ดังแสดงในรูปที่ 1 ทั้งนี้จุดเด่นของชุดอุปกรณ์ดังกล่าวคือสามารถนำวัสดุที่มีในครัวเรือนมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและการประดิษฐ์ ทำให้ต้นทุนของชุดเครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์มีราคาถูก (ไม่เกิน 1,000 บาท) และขนาดของถังบรรจุสามารถปรับขนาดได้ตามต้องการขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตและปริมาณน้ำมันวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของชุดเครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ทำน้ำมันไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้

2.1.2 สารเคมี

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยมีสารเคมีดังนี้ น้ำมันปาล์ม โอเลอินและน้ำมันพืชที่ใช้แล้วถูกใช้เป็นสาร

ตั้งต้นที่มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย (density) เท่ากับ 0.9155 g/mL ค่ากรดไขมันอิสระ (FFAs) เท่ากับ 0.31 และ 2.20 mg KOH g⁻¹ of oil ตามลำดับ สารเมทานอล 99% (CH₃OH) ใช้เป็นสารเข้าทำปฏิกิริยา ใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยา คือสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

สาร methylheptadecanoate (C₁₇) ใช้เป็นสาร internal standard สารเฮปเทน (C₇H₁₆) ใช้เป็นสารตัวทำละลายในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิคด้วย GC อ้างอิงตามวิธีมาตรฐาน EN14214 (European Standard Methods) สำหรับการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล [5, 8, 12-13] สาร chloroform-d (CDCl₃) ที่มีสาร tetramethylsilane (TMS) ผสมอยู่ใช้เป็นตัวทำละลายและสารอ้างอิงในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิคด้วย ¹H-NMR และ ¹³C-NMR ตามลำดับ [4-5, 13]

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มจากชั่งสาร NaOH ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 23 กรัม (คิดเป็น 0.5 wt.% เทียบกับน้ำมัน) ผสมรวมกับสาร CH₃OH ปริมาตร 1,315 mL (คิดเป็นอัตราส่วน 6 : 1 mol เทียบกับน้ำมัน) กวนสารผสมให้ละลายใช้เวลา 10 นาที ความเร็วรอบการกวน 300 รอบต่อนาที (rpm) จากนั้นเทน้ำมันปาล์ม ปริมาตร 5,000 mL ผสมกับสารผสมดังกล่าวข้างต้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 2 เริ่มทำการจับเวลาและวัดอุณหภูมิสารผสมทุก ๆ 30 นาที จนครบ 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการดูดสารผสมปริมาณ 5 mL ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาตามที่กำหนด จากนั้นนำตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ไปประเหยสารเมทานอลส่วนเกินด้วยการอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์

นำตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์หา %FAME ด้วยเทคนิค ¹H-NMR และทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองรวมทั้งการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิค ¹³C-NMR เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองที่ได้ การคำนวณ %yield ของผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ ทำได้โดยเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดเทสารผสมออกจากถังปฏิกรณ์ ระเหยสารเมทานอลส่วนเกินออก แยกสารกลีเซอรอลด้วยกรวยแยก จากนั้นนำส่วนที่เป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้วัดปริมาตรและคำนวณปริมาณค่าร้อยละผลผลิต นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองได้รับวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพตามมาตรฐาน ASTM D6751 และ EN14214 ที่เป็นมาตรฐานสากล ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนสารตั้งต้นเป็นน้ำมันที่ใช้แล้ว โดยการทดลองแต่ละตัวอย่างน้ำมันวัตถุดิบ (น้ำมันปาล์ม โอเลอินและน้ำมันที่ใช้แล้ว) ทำการทดลองซ้ำ 3-4 ซ้ำ

3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

3.1 อุณหภูมิของปฏิกิริยาการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์

จากการทดลองการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า

ปฏิกิริยานี้มีอุณหภูมิเฉลี่ยของสารผสมอยู่ที่ 55±3°C ซึ่งเป็นความร้อนที่ได้จากการสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไปยังตัวถังปฏิกรณ์ จากอุณหภูมิดังกล่าวข้างต้นทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดได้ค่อนข้างรวดเร็วเนื่องจากความร้อนช่วงดังกล่าวค่อนข้างเหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยานี้ จากหลาย ๆ งานวิจัยที่ทำการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและทำปฏิกิริยาในระดับห้องปฏิบัติการ (lab scale) พบว่าปฏิกิริยาการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลนี้จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ดีในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 50-60°C [6, 11] ดังนั้นจากการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในการวิจัยนี้นอกจากจะเป็นการใช้ความร้อนจากแหล่งพลังงานทดแทนและพลังงานสะอาดอย่างดวงอาทิตย์แล้ว ยังเป็นการลดต้นทุนค่าไฟฟ้าในส่วนที่เป็นการให้ความร้อนแก่ปฏิกิริยาและถือได้ว่าเป็นการลดต้นทุนของกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลอีกทางหนึ่ง

3.2 ปริมาณค่าร้อยละผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้

ปริมาณค่าร้อยละผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ (%yield) ของงานวิจัยนี้คำนวณได้ตามสมการที่ (1)

$$\text{Yield of biodiesel (\%)} = \frac{\text{Grams of biodiesel product}}{\text{Grams of the oil used}} \times 100 \quad (1)$$

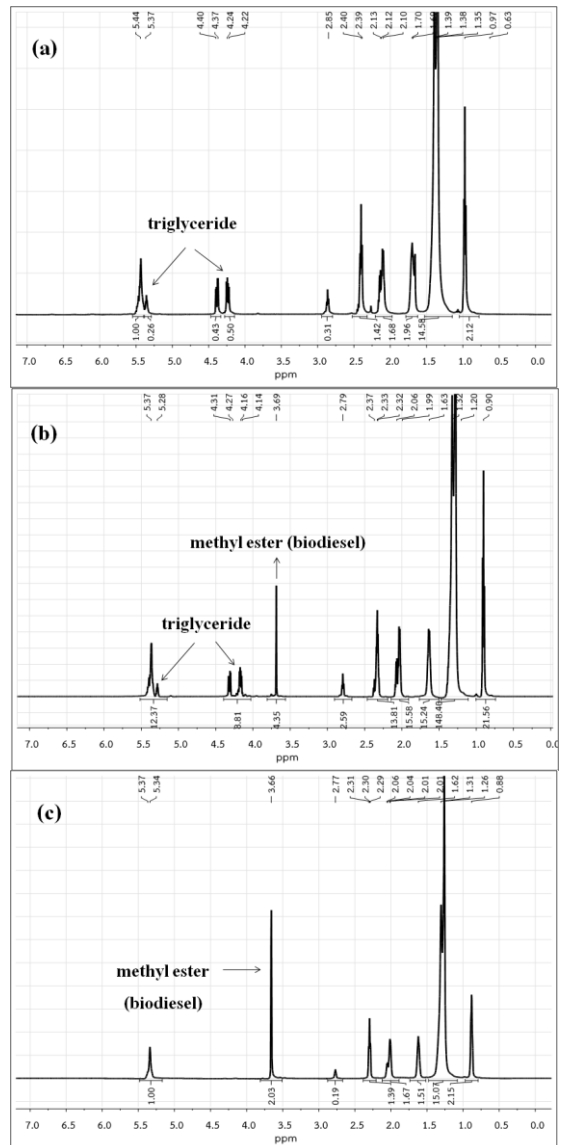
ผลการศึกษาพบว่าค่าร้อยละผลผลิตของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ (%yield) จากการใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 85 ± 3 ทั้งการใช้สารตั้งต้นเป็นน้ำมันปาล์ม โอเลอินและน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในปฏิกิริยาการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะได้ผลิตภัณฑ์หลัก (main product) เป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลและผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ (by-product) เป็นสารกลีเซอรอล จากหลายงานวิจัยที่มีการรายงานการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลพบว่าปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 80-85 [5, 14-15] ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาข้างต้นของงานวิจัยนี้

3.3 การวิเคราะห์และพิสูจน์เอกลักษณ์น้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิค NMR

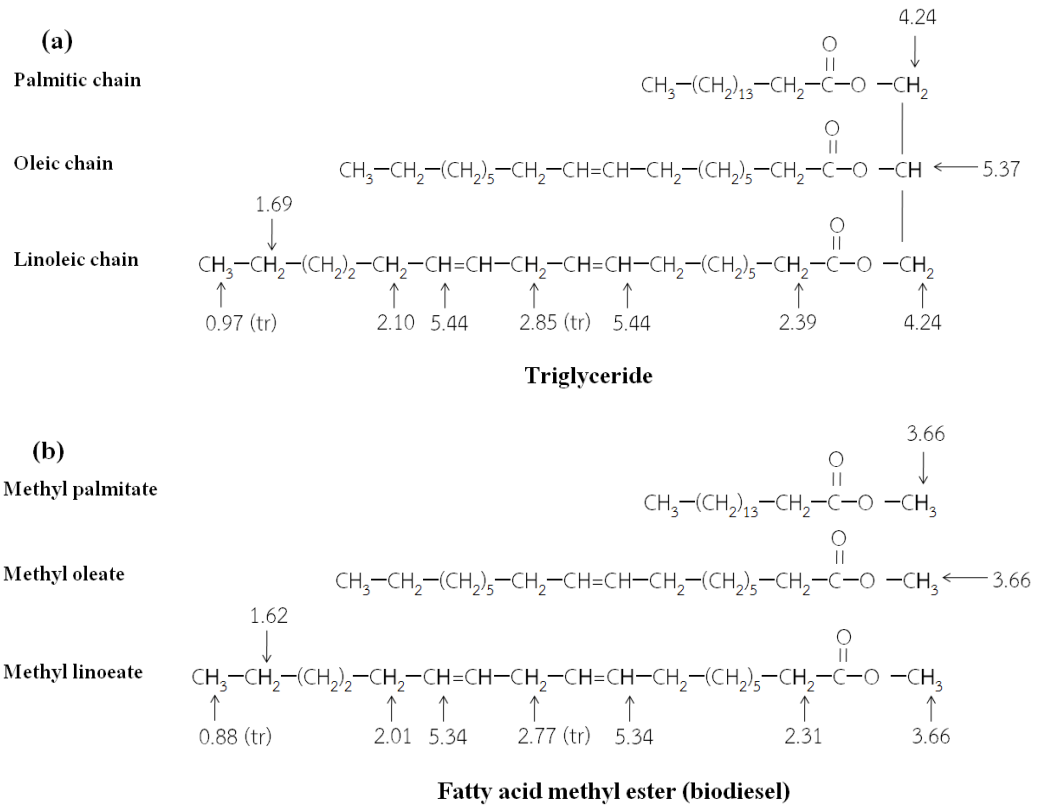
3.3.1 ¹H-NMR

¹H-NMR สเปกตรัมของน้ำมันปาล์ม โอเลอินและน้ำมันพืชที่ใช้แล้วที่เป็นสารตั้งต้นสำหรับใช้เตรียมน้ำมันไบโอดีเซล (รูปที่ 3 (a)) แสดงพีก methylene ethoxy proton ที่ค่า chemical shift 4.22 - 4.40 ppm พีก methine proton จะปรากฏที่ 5.37 ppm และพีก α-methylene proton จะปรากฏที่ 2.39 ppm ตามลำดับ พีกดังกล่าวข้างต้นเป็นพีกหลักในโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นของน้ำมันปาล์ม โอเลอินและน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว นอกจากนี้ยังปรากฏพีกของโปรตอนในสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมันอยู่ระหว่าง 0.63 - 2.85 ppm ดังแสดงในรูปที่ 4 (a) ที่เป็นสูตรโครงสร้างทางเคมีและค่า chemical shift ของโปรตอน (¹H) ในสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ดังกล่าว [1, 5, 13] proton ซึ่งเป็น

โครงสร้างหลักของสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ นอกจากนี้ยังไม่ปรากฏพีก methoxy proton ที่มีค่า chemical shift เท่ากับ 3.69 ppm เป็นของสารผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3 แสดงพีกตัวอย่าง ¹H-NMR ของ (a) สารตั้งต้นน้ำมันปาล์ม โอเลอิน (b) ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่เกิดยังไม่สมบูรณ์ และ (c) ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่เกิดสมบูรณ์



รูปที่ 4 แสดงสูตร โครงสร้างทางเคมีและค่า chemical shift ของโปรตอน (¹H) ในโครงสร้างของ (a) สารตั้งต้นน้ำมันปาล์ม โอเลอินและ (b) ผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลชนิดกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (FAME)

รูปที่ 3 (b) แสดงการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ยังไม่สมบูรณ์ พบว่าพีค ¹H-NMR สเปกตรัมของสารผสมที่เกิดขึ้นยังคงปรากฏพีคสารตั้งต้นที่มีค่า chemical shift ในช่วง 4.14 - 4.31 ppm ที่เป็นตำแหน่งของพีค methylene ethoxy proton และที่ค่า chemical shift 5.28 ppm เป็นตำแหน่งของพีค methine proton ที่เป็นโครงสร้างหลักของสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ และยังปรากฏพีค methoxy proton ที่มีค่า chemical shift เท่ากับ 3.69 ppm ที่เป็นของผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 4 (b) [5, 16-17]

สำหรับการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่สมบูรณ์จะปรากฏพีคหลักเฉพาะพีค methoxy proton ที่มีค่า chemical shift เท่ากับ 3.66 ppm ที่เป็นของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3 (c) และไม่ปรากฏพีคของสารตั้งต้นที่เป็นโครงสร้างของสารไตรกลีเซอไรด์ที่มีค่า chemical shift ในช่วง 4.14 - 4.31 ppm และ 5.28 ppm ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าสารตั้งต้นที่มีโครงสร้างเป็นสารไตรกลีเซอไรด์ถูกเปลี่ยนโครงสร้างไปเป็นสาร

ผลิตภัณฑ์กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (FAME) หรือน้ำมันไบโอดีเซลอย่างสมบูรณ์

การวิเคราะห์และพิสูจน์เอกลักษณ์น้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ นอกจากจะเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้านโครงสร้างของสารแล้วนั้น ยังสามารถใช้พื้นที่ได้ฟิคของโปรตอนในสเปกตรัมนำมาคำนวณเชิงปริมาณของผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2)

$$\% \text{FAME} = \left(\frac{2A_{\text{OCH}_3}}{3A_{\alpha\text{-CH}_2}} \right) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ %FAME เท่ากับร้อยละการเกิดเมทิลเอสเทอร์หรือผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซล $A_{\alpha\text{-CH}_2}$ คือพื้นที่ที่ได้ฟิคของเมทิลีนโปรตอนในโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ ($\alpha\text{-CH}_2$, 2.31 ppm, triplet) A_{OCH_3} คือพื้นที่ที่ได้ฟิคของโปรตอนในโครงสร้างของเมทิลเอสเทอร์ (-OCH_3 , 3.66 ppm, singlet) และค่าแฟกเตอร์ 2 และ 3 คือจำนวนโปรตอนที่สร้างพันธะกับแอลฟามะทิลีนคาร์บอน (α -methylene carbon; $\alpha\text{-CH}_2$) และเมทอกซิลคาร์บอน (methoxyl carbon; OCH_3) ตามลำดับ [4, 8]

ตัวอย่างการคำนวณ จากรูปที่ 3 (a) แสดงสเปกตรัมสารตั้งต้นน้ำมันปาล์มโอเลอิน จากสเปกตรัมดังกล่าวพบว่าไม่ปรากฏฟิคในตำแหน่ง 3.66 ppm ที่เป็นโปรตอนของเมทิลเอสเทอร์ แสดงว่าพื้นที่ที่ได้ฟิคของ A_{OCH_3} เท่ากับศูนย์ ดังนั้น %FAME เท่ากับ 0% ในขณะที่รูปที่ 3 (b) ปรากฏฟิคในตำแหน่ง 3.69 ppm ที่เป็นโปรตอนของเมทิลเอสเทอร์และมีพื้นที่ที่ได้ฟิคเท่ากับ 4.35 (A_{OCH_3}) และพบฟิคที่เป็นฟิคของเมทิลีน

โปรตอนในโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์และโครงสร้างเมทิลเอสเทอร์ที่ตำแหน่ง 2.32-2.37 ppm มีพื้นที่ที่ได้ฟิคเท่ากับ 13.81 ($A_{\alpha\text{-CH}_2}$) เมื่อแทนค่าในสมการที่ (2) ได้ค่า %FAME เท่ากับ 21% สอดคล้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างของสารผสมในเชิงคุณภาพที่บ่งชี้ว่ายังพบสารตั้งต้นที่เป็นโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์และมีโครงสร้างของสารเมทิลเอสเทอร์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ผสมกันอยู่ ดังนั้นรูปที่ 3 (b) จึงเป็นรูปที่แสดงตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ยังเกิดไม่สมบูรณ์

รูปที่ 3 (c) ปรากฏฟิคในตำแหน่ง 3.66 ppm ที่เป็นโปรตอนของเมทิลเอสเทอร์และมีพื้นที่ที่ได้ฟิคเท่ากับ 2.03 (A_{OCH_3}) และปรากฏฟิคที่เป็นฟิคของเมทิลีนโปรตอนในโครงสร้างเมทิลเอสเทอร์ที่ตำแหน่ง 2.29-2.31 ppm มีพื้นที่ที่ได้ฟิคเท่ากับ 1.39 ($A_{\alpha\text{-CH}_2}$) เมื่อแทนค่าในสมการที่ (2) ได้ค่า %FAME เท่ากับ 97.4% สอดคล้องกับการวิเคราะห์โครงสร้างของสารผสมในเชิงคุณภาพที่บ่งชี้ว่าไม่พบฟิคที่เป็นโครงสร้างหลักของสารไตรกลีเซอไรด์ ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้อย่างสมบูรณ์

3.3.2 $^{13}\text{C-NMR}$

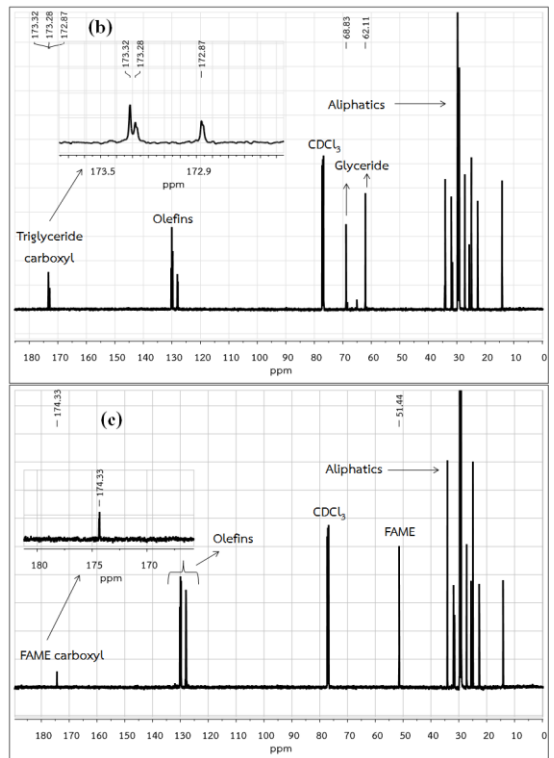
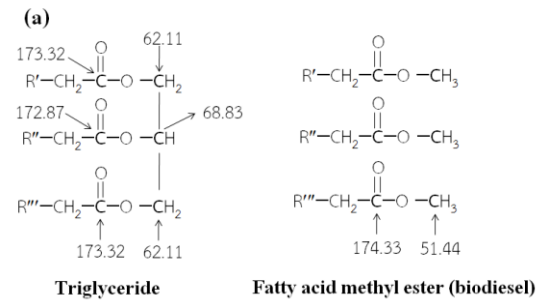
จากการวิเคราะห์และพิสูจน์เอกลักษณ์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณวิเคราะห์ เพื่อให้ข้อมูลผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือ

มากยิ่งขึ้น การวิเคราะห์และพิสูจน์เอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ด้วยเทคนิค $^{13}\text{C-NMR}$ จึงเป็นอีกข้อมูลหนึ่งที่มีความสำคัญของงานวิจัยนี้

รูปที่ 5 (a) แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีและค่า chemical shift ของคาร์บอน (^{13}C) ในโครงสร้างของสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์และน้ำมันไบโอดีเซล พบว่าคาร์บอนอะตอมของหมู่คาร์บอนิล (carbonyl carbon atom: $\text{C}=\text{O}$) ของสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ด้านนอกสุดของโครงสร้างทั้งสองข้าง (terminal carbonyl carbon atom) มีค่า chemical shift เท่ากับ 173.32 ppm และคาร์บอนอะตอมของหมู่คาร์บอนิลของสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ด้านในสุดของโครงสร้าง (central carbonyl carbon atom) มีค่า chemical shift เท่ากับ 172.87 ppm ตามลำดับ [5]

นอกจากนี้ยังพบคาร์บอนอะตอมของหมู่เมทิลิน-เมทอกซีที่สร้างพันธะกับหมู่คาร์บอนิลที่อยู่ด้านนอกสุดของโครงสร้างทั้งสองข้าง (methylene methoxy carbon atom; $-\text{OCH}_2-$) มีค่า chemical shift เท่ากับ 62.11 ppm และยังปรากฏฟิสิกของคาร์บอนอะตอมหมู่มีโทนเมทอกซี (methine methoxy carbon atom; $-\text{OCH}-$) ที่สร้างพันธะกับหมู่คาร์บอนิลที่อยู่ด้านในสุดของโครงสร้างมีค่า chemical shift เท่ากับ 68.83 ppm (รูปที่ 5 (b)) ตำแหน่งคาร์บอนอะตอมดังกล่าวข้างต้นถือเป็นโครงแกนหลักของโครงสร้างของสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ (the glyceride backbone of triglyceride) [5, 18]

ในขณะที่เมื่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดสมบูรณ์ โครงแกนหลักของโครงสร้างของสารตั้งต้น



รูปที่ 5 แสดง (a) สูตรโครงสร้างทางเคมีและค่า chemical shift ของคาร์บอน (^{13}C) ในโครงสร้างของสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์และน้ำมันไบโอดีเซล (b) แสดงฟิสิกตัวอย่างคาร์บอน ($^{13}\text{C-NMR}$) ของสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ และ (c) แสดงฟิสิกตัวอย่างคาร์บอน ($^{13}\text{C-NMR}$) ของผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลที่เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสมบูรณ์

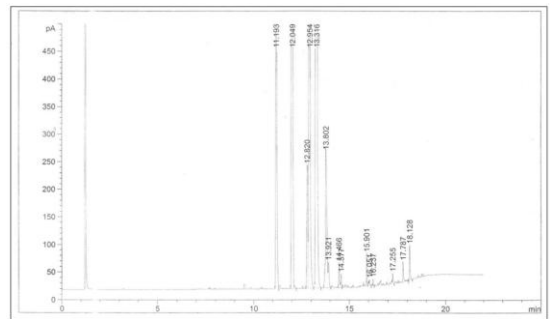
ไตรกลีเซอไรด์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารเมทิลเอสเทอร์จะปรากฏฟิสิกัลคาร์บอนอะตอมของหมู่คาร์บอนิลเพียงฟิสิกัลเดียวที่ค่า chemical shift เท่ากับ 174.33 ppm ที่เป็นหมู่เมทอกซีคาร์บอนิลดังแสดงในรูปที่ 5 (a) และ 5 (c) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าฟิสิกัลคาร์บอนอะตอมของหมู่เมทอกซี (methoxy carbon atom; $-OCH_3$) ปรากฏเพียงฟิสิกัลเดียวที่ค่า chemical shift เท่ากับ 51.44 ppm ข้อมูลดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นชัดเจนว่าโครงสร้างหลักของโครงสร้างของสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ถูกเปลี่ยนไปเป็นสารผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากไม่ปรากฏฟิสิกัลของโครงสร้างหลักของโครงสร้างของสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ ในส่วนฟิสิกัลอื่นของทั้งสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์และสารผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลจะแสดงฟิสิกัลคาร์บอนอะตอมกลุ่มหมู่โอเลฟินส์ (olefinic carbons atom) และคาร์บอนอะตอมกลุ่มหมู่แอลิแฟติก (aliphatics carbon atom) ในตำแหน่งค่า chemical shift ที่คล้ายกัน [5, 13, 18-19]

3.4 การวิเคราะห์หา %FAME ของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเทคนิค GC

การวิเคราะห์หา %FAME ของน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐานอ้างอิงจาก ASTM D6751 (American Society for Testing and Materials) และ EN14214 (European Standard Methods) สำหรับการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลพบว่าวิธีการวิเคราะห์ดังกล่าวจะใช้เทคนิค Gas Chromatography (GC) และใช้สาร methyl heptadecanoate (C_{17}) ใช้เป็นสาร internal standard ในการอ้างอิง [20-22] การคำนวณค่า %FAME ของผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ตามสมการที่ (3)

$$\%FAME = \frac{(\sum A) - A_{EI}}{A_{EI}} \times \frac{C_{EI} \times V_{EI}}{m} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อกำหนดให้ $\sum A$ คือผลรวมพื้นที่ใต้ฟิสิกัลของสารเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น A_{EI} คือพื้นที่ฟิสิกัลของสาร methyl heptadecanoate (C_{17}) ใช้เป็นสาร internal standard ในการอ้างอิง C_{EI} คือความเข้มข้นของสารละลาย methyl heptadecanoate ที่ใช้ V_{EI} คือปริมาตรของสารละลาย methyl heptadecanoate ที่ใช้ (mL) และ m คือน้ำหนักของสารตัวอย่าง (mg)



รูปที่ 6 แสดงโครมาโทแกรมของตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลชนิด FAEM ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยการใส่เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC

ในงานวิจัยนี้ น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการสังเคราะห์โดยการใส่เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ตามวิธีการมาตรฐานข้างต้น จากการศึกษาพบว่าสารผสมในน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้เมื่อแยกโดยใช้เทคนิค GC สารต่าง ๆ เหล่านี้ จะถูกแยกออกมายังเครื่องตรวจวัด (detector) ของเครื่อง GC ที่เวลาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของสารแต่ละชนิด (รายละเอียดในตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดชนิดของสารกรดไขมันอิสระในตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลและพื้นที่ใต้พีค (peak area) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC

Retention Time (min)	Peak Area	Name of FAME
9.452	255.14	methyl myristate
11.183	1.01x10 ⁴	methyl palmitate
12.042	6423.16	methyl heptadecanoate
12.987	1.23x10 ⁴	methyl stearate + methyl oleate
13.298	1865.78	methyl linoleate
13.720	37.35	methyl linolenate
14.463	97.67	methyl arachidate
17.782	70.66	methyl erucate

จากตารางที่ 1 เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC มาคำนวณ %FAME ได้ค่าเท่ากับ 97.7% (±1%) ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้โดยใช้เทคนิค ¹H-NMR (97.4%) แสดงว่าปริมาณ %FAME ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานสากลที่กำหนดให้ค่า %FAME ต้องไม่น้อยกว่า 96.5% [23]

3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มาตรฐานสากล

งานวิจัยนี้นอกจากการวิเคราะห์หาค่า % FAME ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์ ยังได้มีการวิเคราะห์คุณสมบัติอื่น ๆ ที่เป็นคุณสมบัติหลักของ

มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D6751 และ EN14214 โดยรายละเอียดคุณสมบัติต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดค่าการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการสังเคราะห์โดยการใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D6751 และ EN14214 [21, 23-25]

Fuel properties	Standard biodiesel	Biodiesel (This study)
Kinematic viscosity @40°C (cSt)	3.5-5.0	4.22
Acid number (mg KOH/g oil)	< 0.5	0.28
Copper strip corrosion	No. 1	No. 1
Methyl ester content (%)	> 96.5	97.7
Oxidation Stability (h)	> 6	14.6
Carbon residue (%w/w of oil)	≤ 0.05	≤ 0.034
Sulfated ash (%w/w of oil)	≤ 0.02	≤ 0.012
Total contamination (ppm)	< 24	18
Flash point (°C)	> 120	188
Cloud point (°C)	(-15)-16	6
Pour point (°C)	(-3)-12	-6

จากข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซล พบว่าคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลดังกล่าวอยู่ในช่วงมาตรฐานหลักที่กำหนดทั้ง 11 มาตรฐาน ดังนั้นเครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้จึงมีประสิทธิภาพและศักยภาพที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงทั้งในภาคครัวเรือนขนาดเล็ก ภาคเกษตรกรรม และ

วิสาหกิจชุมชน โดยผลงานวิจัยนี้ได้ยื่นขออนุสิทธิบัตร
สิ่งประดิษฐ์ตามเลขที่คำขอ 1703002603

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันพืชที่ใช้แล้วที่เป็นสารตั้งต้น โดยใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ประดิษฐ์คิดค้นขึ้นจากการใช้วัสดุที่หาง่าย ราคาถูก มีประสิทธิภาพและศักยภาพในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ตามมาตรฐานสากล โดยจากงานวิจัยพบว่าอุณหภูมิความร้อนของสารผสมในเครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ $55 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเหมาะสมสำหรับกระตุ้นปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในการเปลี่ยนสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นสารเมทิลเอสเทอร์ ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดสมบูรณ์ในระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง ผลผลิตก้น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ในงานวิจัยนี้ได้รับการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณในการหาค่าร้อยละผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ (%yield) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 85 ± 3 ทั้งน้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว และค่า %FAME มีค่าเท่ากับ 97.7% ($\pm 1\%$) ทั้งที่ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ $^1\text{H-NMR}$ $^{13}\text{C-NMR}$ และ GC ตามลำดับ นอกจากนี้คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ดังกล่าวยังได้รับการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D6751 และ EN14214 ที่เป็นมาตรฐานสากลพบว่าผลผลิตก้น้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้นี้มีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าวทั้ง 11 มาตรฐาน

ดังนั้น การใช้เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้นอกจากจะเป็นการลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลแล้ว ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการส่งเสริมการพึ่งพาพลังงานเชื้อเพลิงเหลวของภาคครัวเรือน เกษตรกรรม และวิสาหกิจชุมชน ที่สามารถผลิตเชื้อเพลิงเหลวน้ำมันไบโอดีเซลไว้ใช้เองได้อย่างมาประสิทธิภาพ เป็นการลดการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ และเป็นการพัฒนาประเทศด้านพลังงานอย่างยั่งยืนต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการทุนสนับสนุนการดำเนินการวิจัยหรืองานสร้างสรรค์และเผยแพร่ผลงานวิจัยหรืองานสร้างสรรค์ ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 ทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จากงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 (สัญญาเลขที่ 44/2561) และทุนสนับสนุนการบูรณาการการเรียนการสอนกับการวิจัย จากงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 (สัญญาเลขที่ 5/2561)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Roschat, "Analysis of biodiesel as fatty acid ethyl ester (FAEE) by using nuclear magnetic resonance spectroscopy (NMR) technique", SNRU Journal of Science and Technology 9(1), 2017, pp. 397-406. (in Thai)

- [2] B.R. Moser, “Fuel property enhancement of biodiesel fuels from common and alternative feedstocks via complementary blending”, *Renewable Energy* 85, 2016, pp. 819-825.
- [3] H. Omidvarborna, A. Kumar and D.S. Kim, “NO_x emissions from low-temperature combustion of biodiesel made of various feedstocks and blends”, *Fuel Processing Technology* 140, 2015, pp. 113-118.
- [4] W. Roschat, M. Kacha, B. Yoosuk, T. Sudyoadsuk and V. Promarak, “Biodiesel production based on heterogeneous process catalyzed by solid waste coral fragment”, *Fuel* 98, 2012, pp. 194-202.
- [5] W. Roschat, T. Siritanon, B. Yoosuk, T. Sudyoadsuk and V. Promarak, “Rubber seed oil as potential non-edible feedstock for biodiesel production using heterogeneous catalyst in Thailand”, *Renewable Energy* 101, 2017, pp. 937-944.
- [6] M. Tubino, J.G.R. Junior and G.F. Bauerfeldt, “Biodiesel synthesis: a study of the triglyceride methanolysis reaction with alkaline catalysts” *Catalysis Communications*. 75, 2016, pp. 6-12.
- [7] P. Sivakumar, K. Anbarasu and S. Renganathan, “Bio-diesel production by alkali catalyzed transesterification of dairy waste scum”, *Fuel*, 90, 2011, pp. 147-151.
- [8] W. Roschat, T. Siritanon, B. Yoosuk and V. Promarak, “Rice husk-derived sodium silicate as a highly efficient and low-cost basic heterogeneous catalyst for biodiesel production”, *Energy Conversion and Management* 119, 2016, pp. 453-462.
- [9] S.L. Lee, Y.C. Wong, Y.P. Tan and S.Y. Yew, “Transesterification of palm oil to biodiesel by using waste obtuse horn shell-derived CaO catalyst”, *Energy Conversion and Management* 93, 2015, pp. 282-288.
- [10] A. Piker, B. Tabah, N. Perkas and A. Gedanken, “A green and low-cost room temperature biodiesel production method from waste oil using egg shells as catalyst”, *Fuel* 182, 2016, pp. 34-41.
- [11] G. Vicente, M. Martinez and J. Aracil, “Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems”. *Bioresource Technology* 92(3), 2004, pp. 297-305.
- [12] S.H. Teo, A. Islama and Y.H. Taufiq-Yapa, “Algae derived biodiesel using nanocatalytic transesterification process”, *Chemical Engineering Research and Design* 111, 2016, pp. 362-370.
- [13] P. Nautiyal, K.A. Subramanian and M.G. Dastidar, “Production and characterization of biodiesel from algae”, *Fuel Processing Technology* 120, 2014, pp. 79-88.

- [14] A.S. Ramadhas, S. Jayaraj and C. Muraleedharan, "Biodiesel production from high FFAs rubber seed oil", *Fuel*, 84, 2005, pp. 335-340.
- [15] S. Yusup and M. Khan, "Basic properties of crude rubber seed oil and crude palm oil blend as a potential feedstock for biodiesel production with enhanced cold flow characteristics", *Biomass & Bioenergy* 10, 2010, pp. 1523-1526.
- [16] G.G. Shimamoto, L.F. Bianchessi and M. Tubino, "Alternative method to quantify biodiesel and vegetable oil in diesel biodiesel blends through $^1\text{H-NMR}$ spectroscopy", *Talanta* 168, 2017, pp. 121-125.
- [17] L.M.A. Silva, E.G.A. Filho, A.J. Simpson, M.R. Monteiro and T. Venâncio, "Comprehensive multiphase NMR spectroscopy: A new analytical method to study the effect of biodiesel blends on the structure of commercial rubbers", *Fuel* 166, 2016, pp. 436–445.
- [18] T. Mathimani, L. Uma and D. Prabakaran, "Homogeneous acid catalysed transesterification of marine microalga *Chlorella* sp. BDUG 91771 lipid an efficient biodiesel yield and its characterization", *Renewable Energy* 81, 2015, pp. 523-533.
- [19] M. Yadav, V. Singh and Y.C. Sharma, "Methyl transesterification of waste cooking oil using a laboratory synthesized reusable heterogeneous base catalyst: Process optimization and homogeneity study of catalyst", *Energy Conversion and Management* 148, 2017, pp. 1438–1452.
- [20] F. Ouanji, M. Khachani, M. Boualag, M. Kacimi and M. Ziyad, "Large-scale biodiesel production from Moroccan used frying oil", *International Journal of Hydrogen Energy* 41, 2016, pp. 21022-21029.
- [21] W. Roschat, T. Siritanon, B. Yoosuk and V. Promarak, "Biodiesel production from palm oil using hydrated lime-derived CaO as a low-cost basic heterogeneous catalyst", *Energy Conversion and Management* 108, 2016, pp. 459–467.
- [22] K. Ullah, M. Ahmad, Sofia, F.A. Qureshi, R. Qamar, V.K. Sharma, S. Sultana and M. Zafar, "Synthesis and characterization of biodiesel from Aamla oil: A promoting non-edible oil source for bioenergy industry", *Fuel Processing Technology* 133, 2015, pp. 173–182.
- [23] K. Ved and K. Padam, "Study of Physical and Chemical Properties of Biodiesel from Sorghum Oil", *Research Journal of Chemical Sciences*, 3(9), 2013, pp. 64-68.
- [24] G. Knothe and L.F. Razon, "Biodiesel fuels", *Progress Energy Combustion Science* 58, 2017, pp. 36–59.
- [25] A.S. Ramadhas, S. Jayaraj and C. Muraleedharan, "Biodiesel production from high FFAs rubber seed oil", *Fuel* 84, 2005, pp. 335-340.