การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราด้วยวิธีทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่นแบบ 2 ขั้นตอน

Production of boidiesel from unrefined para rubber seed oil by 2 step transesterification method

ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์*, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์, อิทธิพล วรพันธ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 โทร 045-353381 โทรสาร 045-353333 *อีเมล์ prachasanti.t@ubu.ac.th

Prachasanti Thaiyasuit*, Kulachate Pianthong, Pisit Techarungoaisan, Chawalit Thinvongpitak, Ittipol Worapan
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University,
Ubon Ratchathani, Thailand, 34190, Tel: 045-353381, Fax: 045-353333, *E -mail: prachasanti.t@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพาราเพื่อให้ได้น้ำมันไบโอดีเซลปริมาณมากที่สุด โดยใช้วิธีการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนการลดกรดไขมันอิสระโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาก่อน แล้วตามด้วยขั้นตอนการทำปฏิกิริยาหลักโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยขั้นตอนที่ 1 เป็นการลดกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบจากเมล็ดยางพารา ใช้เมทานอลในอัตราส่วน 6: 1 โดยโมล กรดซัลฟิวริก 2.5% ต่อน้ำหนักน้ำมัน และกวนเพื่อเร่งปฏิกิริยา 30 นาที อุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา 60°C ขั้นตอนที่ 2 เป็นการนำน้ำมันดิบที่เตรียมจากขั้นตอนที่ 1 มาทำปฏิกิริยาโดยใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมทานอลต่อน้ำมันดิบ 3:1 โดยโมล กวนเร่งปฏิกิริยา 5 นาที อุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา 60 °C จากการทดลองพบว่าปริมาณไบโอดีเซลที่ผลิตได้มากที่สุดคือ 89 % ผลทดสอบด้านคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพารามีค่าตามมาตรฐานไบโอดีเซล ของประเทศไทยที่กำหนดโดยกระทรวงพลังงาน

Abstract

This study aimed to examine methods and suitable conditions in the production of biodiesel fuel from Para rubber seeds for the highest quantities possible. A two-step method was used: the reduction of free fatty acids and a production of biodiesel using the transesterification process. First step, to reduce the free fatty acids, sulphuric acid 2.5% by mass methanol at a molar ratio of 6:1 and crude oil were mixed together for 30 minutes. After that, in the second step, the transesterification reaction was performed with methanol at a 3:1 molar ratio as reactor, and potassium hydroxide as catalyst at a temperature of 55°C-60°C. From the experimental results, the maximum yield of biodiesel at 89 % can be obtained. The obtained biodiesel was then tested for its fuel properties. All properties are complied with the Thailand biodiesel standard issued by the Energy Ministry.

1. บทนำ

ปัจจุบันเครื่องยนต์ดีเซลมีใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีบทบาทสำคัญทั้งในภาคการขนส่งและเกษตรกรรม โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาอย่างประเทศไทย ทำให้น้ำมันดิบที่เกิดจากธรรมชาติเหลือน้อยลงไปทุกที จึงจำเป็นที่จะต้องหาพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่นเพื่อนำมาทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมที่เหลือน้อยลง และนับวันก็ยิ่งมีราคาสูงขึ้น ไบโอดีเซลจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม เนื่องจากมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพาราประมาณ 9.7 ล้านไร่ ซึ่งแต่ละไร่จะให้เมล็ดยางพาราประมาณ 50 กิโลกรัม ดังนั้นจะมีปริมาณเมล็ดยางพาราประมาณ 485 ล้านกิโลกรัมต่อปี [1] ที่ถูกปล่อยทิ้งให้เน่าสลายไป งานวิจัยนี้จึงเกิดแนวความคิดที่จะนำเมล็ดส่วนที่ถูกปล่อยทิ้งไปมาใช้ให้เกิดประโยชน์ จากงานวิจัยของ Ikwuagwu และคณะ [4] พบว่าในเนื้อของเมล็ดยางพารามีน้ำมันอยู่ 45.63% แต่ Ramadhasและคณะ[5] ได้ศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบจากเมล็ดยางพาราในประเทศอินเดียพบว่าในน้ำมันดิบจากเมล็ด

ยางพารามีค่ากรดไขมันอิสระสูงถึง 17% ซึ่งถ้ากรดไขมันอิสระสูงเกิน 2% จะทำให้ได้เมทิลเอสเตอร์ในกระบวนการปฏิกิริยารานเอสเทอร์ริฟิเคชั่นลดลง นอกจากนี้ Canakci และ Van Gerpan [6] ยังพบว่าถ้าน้ำมันดิบมีค่ากรดไขมันอิสระสูงเกิน 3% ปฏิกิริยารานเอสเทอร์ริฟิเคชั่นที่ใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทดลองสกัดน้ำมันดิบจากเมล็ดยางพารา แล้วนำน้ำมันดิบที่สกัดได้มาผลิตเป็นไบโอดีเซลโดยใช้วิธีทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดกรดค่าไขมันอิสระ แล้วตามด้วยปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2 โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่ง เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพารา และนำไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพาราที่ผลิตได้ไปทดสอบหาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และมาตรฐานไบโอดีเซลของประเทศไทย พ.ศ. 2548 Ramadhas และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาวิธีการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูงโดยทดลองใช้น้ำมันดิบจากเมล็ดยางพารา ทำปฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน พบจุดเหมาะสมแต่ละขั้นตอนการผลิตดังนี้ ในขั้นตอนที่ 1 ใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5% โดยมวล, ใช้เมทานอล 6:1 โดยโมล, อุณหภูมิ 50 °C และใช้เวลาในการกวน 20-30 นาที ในขั้นตอนที่ 2 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิยา 0.5% โดยมวล, เมทานอล 9:1 โดยโมล, อุณหภูมิ 50 °C และใช้เวลาในการกวน 30 นาที

2. คุณสมบัติของน้ำมันดิบจากเมล็ดยางพารา

เมล็ดยางพาราที่นำมาใช้ในทำการทดลอง ได้จากต้นยางพาราพันธุ์ R251 อยู่ในเขตพื้นที่ จ.อุบลราชธานี โดยเมล็ดยางพาราจะแก่และร่วงจากต้นสามารถเก็บได้ในช่วงประมาณ เดือนกรกฎาคม ถึงเดือนสิงหาคม ผลมีขนาดโต 4.5- 6 เซนติเมตร ผลหนึ่งมี 3 เมล็ด แต่ละเมล็ดมีรูปร่างกลมรี สีน้ำตาล เมล็ดมีขนาด 2.0-2.5 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 3-4 กรัม เปลือกในเป็นเยื่อบางๆสีขาว เนื้อในมีลักษณะนิ่ม สีเหลืองอ่อน ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1. ลักษณะของผลและเมล็ดของยางพารา

วิธีการสกัดน้ำมันดิบ ใช้เครื่องสกัดแบบกระบอกสูบไฮโดรลิค โดยนำเมล็ดยางพาราไปกะเทาะเปลือก และอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเข้าเครื่องสกัดเพื่อบีบเอาน้ำมัน ซึ่งได้ผลดังนี้ คือ เนื้อของเมล็ดยางพาราหลังกะเทาะเปลือกออกเท่ากับ 52.5% ของน้ำหนักเมล็ดยางพารา เมื่อนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง น้ำหนักของเนื้อเมล็ดจะลดลงเหลือเพียง 46.78% ของน้ำหนักเมล็ดยางพารา และเมื่อนำมาบีบเป็นน้ำมันจะได้น้ำมัน 9.09 % ของน้ำหนักเมล็ดยางพารา น้ำมันดิบจากเมล็ดยางพาราที่ได้มีสีเหลืองอ่อน ถ้าหยดให้บางๆ แล้ววางทิ้งไว้จะแห้ง ซึ่งมีสมบัติเป็นน้ำมันกึ่งแห้ง (semi-drying oil)[1] น้ำมันดิบจากเมล็ดยางพารามีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันดิบเมล็ดยางพารา

Property	Test Method	Unit	Result	(A)
Specific gravity	ASTM D4052	Kg/m^3	918.2	910
Viscosity	ASTM D445	cSt	31.84	66.2
Flash point	ASTM D93	° C	240	198
Water content	ASTM D6308	%wt	0.108	NA
Heating value	ASTM D240	J/g	39.223	37.5
ไอโอดีน*	ACCS	gI_2/100 g	132.53	NA

ทดสอบโดยสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
*, ทดสอบโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
NA, not available
(A), งานวิจัยของ Ramadhas และคณะ (2005)

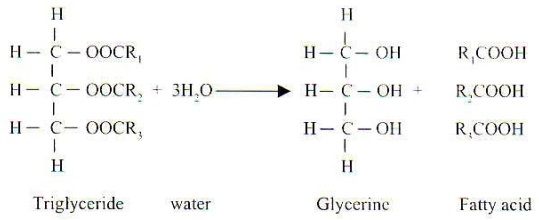
น้ำมันจากเมล็ดยางพาราเป็นน้ำมันพืชที่มีคุณสมบัติเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำเกิดจาก เอสเตอร์ ระหว่าง กรดไขมันกับกลีเซอลีน ที่เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ เวลาเกิดไฮโดรไลซิส จะได้กลีเซอลีนและกรดไขมันอิสระ ปฏิกิริยาเป็นดังรูปที่ 2 และจากการวัดหาองค์ประกอบของกรดไขมัน โดยห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยด้วยเครื่อง GC (gas chromatographic) ได้ผลการวิเคราะห์ ดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันดิบจากเมล็ดยางพารา

Property		Unit	Result	(A)
Myristic acid	C14:0	g/100g	0.11	NA
Palmitic acid	C16:0	g/100g	9.89	10.2
Plamitoleic acid	C16:1 n-7	g/100g	0.24	NA
Stearic acid	C18:0	g/100g	7.96	8.7
Oleic acid	C18:1 n-9	g/100g	24.43	24.6
Linoleic acid	C18:2 n-6	g/100g	41.38	39.6
α - Linolenic acid	C18:3 n-3	g/100g	15.55	16.3
Arachidic acid	C20:0	g/100g	0.27	NA
Cis-11-Eicosenoic acid	C20:1 n-9	g/100g	0.17	NA

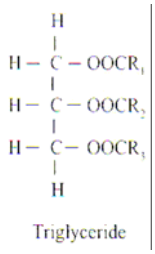
ทดสอบโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
NA, not available

(A), งานวิจัยของ Ramadhas และคณะ (2005)



รูปที่ 2 ปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรไลซิส

จากข้อมูลองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันดิบ ในตารางที่ 2 สามารถนำไปคำนวณหามวลโมเลกุลของน้ำมันดิบจากเมล็ดยางพาราได้ดังนี้ คือ จากโครงสร้างของ Triglyceride ดังรูปที่ 3 พบว่าใน 1 โมเลกุลจะมี R อยู่สามตัว และจากตารางที่ 4 จะได้ว่า R แต่ละตัวมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 233.1402 ดังนั้น R สามตัวจึงมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 699.4206 นอกจากนี้ส่วนหัวของ Triglyceride หนึ่งโมเลกุลจะมี C หกอะตอม H ห้าอะตอม และ O หกอะตอม ดังรูปที่ 3 เมื่อนำมาคำนวณเป็นมวลโมเลกุลจะได้เท่ากับ 173 ดังนั้นเมื่อนำมวลโมเลกุลของส่วนหัว Triglyceride และ R ทั้งสามตัวมารวมกันจะได้เป็นมวลโมเลกุลของน้ำมันดิบจากเมล็ดยางพารา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 872.4206

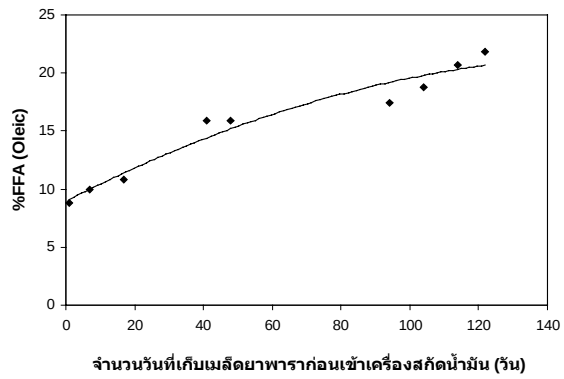


รูปที่ 3 โครงสร้างของ Triglyceride [1]

ตารางที่ 3 การคำนวณหามวลโมเลกุลของน้ำมันดิบจากเมล็ดยางพารา

ชนิดกรดไขมัน	โครงสร้าง R_1,R_2,R_3	มวลโมเลกุล R_1,R_2,R_3	อัตราส่วน (%)	มวลโมเลกุล
C14:0	$C_{13}H_{27}$	183	0.11	0.2013
C16:0	$C_{15}H_{31}$	211	9.89	20.8679
C16:1 n-7	$C_{15}H_{29}$	209	0.24	0.5016
C18:0	$C_{17}H_{35}$	239	7.96	19.0244
C18:1 n-9	$C_{17}H_{33}$	237	24.43	57.8991
C18:2 n-6	$C_{17}H_{31}$	235	41.38	97.243
C18:3 n-3	$C_{17}H_{29}$	233	15.55	36.2315
C20:0	$C_{19}H_{39}$	267	0.27	0.7209
C20:1 n-9	$C_{19}H_{37}$	265	0.17	0.4505
			รวม	233.1402

จากการศึกษาของ Canakci และ Van Gerpan [6] พบว่าถ้าน้ำมันดิบที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูงเกิน 3% ปฏิกิริยารานเอสเทอร์ริฟิเคชั่นที่ใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างจะไปทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นสบู่ขึ้น ส่งผลให้การแยกชั้นระหว่างกลีเซอลีนกับเอสเทอร์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ [8] ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากรดไขมันอิสระเป็นตัวแปรที่สำคัญในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษากลไกการเกิดกรดไขมันอิสระ จากการศึกษาพบว่ากลไกการเกิดกรดไขมันอิสระในเมล็ดพืชน้ำมัน เป็นกลไกทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นเองโดยยังไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดว่าเกิดจากสาเหตุอะไร นอกจากนี้จากการเก็บข้อมูลของงานวิจัยนี้ ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบจากเมล็ดยางพารากับจำนวนวันที่เก็บเมล็ดยางพาราไว้ก่อนเข้าเครื่องสกัดน้ำมัน โดยพบว่าปริมาณของกรดไขมันอิสระจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่เก็บเมล็ดยางพาราไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดไขมันอิสระกับจำนวนวันที่เก็บไว้

จากรูปที่ 4 เมื่อเก็บเมล็ดยางพาราไว้ประมาณ 120 วัน หรือ 3 เดือน ปริมาณของกรดไขมันอิสระจะเพิ่มเป็น 20% และเมื่อนำน้ำมันดิบที่มีค่ากรดไขมันอิสระประมาณ 10% มาทดลองผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ด่าง (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทดลองใช้กรด (ซัลฟูริก) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าทั้งสองการทดลองไม่เกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทร์ริฟิเคชั่น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธี ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่นแบบ 2 ขั้นตอนสำหรับน้ำมันดิบน้ำมันเมล็ดยางพารา

3. วิธีการการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพารา

การศึกษาหาจุดเหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นแบบ 2 ขั้นตอนนี้ เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ(0.5 kg) และน้ำมันดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำมันดิบที่มีค่ากรดไขมันอิสระ 20% ในแต่ละการทดลองทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ขั้นตอนที่ 1 การลดกรดไขมันอิสระด้วยกระบวนการปฏิกิริยากรด-เอสเตอร์ริฟิเคชั่น

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการลดกรดไขมันอิสระให้เหลือประมาณ 3% เพื่อที่จะให้น้ำมันสามารถทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2 ได้ โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยากับน้ำมันดิบ เนื่องจากเมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ทำให้สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับไขมันได้ง่าย

กว่าเอทานอล [3] และใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากถ้าใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด่างจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นสบู่ ทำให้สูญเสียเนื้อน้ำมันในส่วนนี้ไป [1] สำหรับปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อกระบวนการลดกรดไขมันอิสระ ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันดิบ ปริมาณกรดซัลฟิวริก และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม สำหรับอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาใช้ 60°C เนื่องจากเมทานอลมีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 64.4 °C ดังนั้นถ้าใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงเกินไป เมทานอลจะระเหยทิ้งทำให้เมทานอลไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยา โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.1.1 การเตรียมน้ำมันดิบจากเมล็ดยางพารา

เนื่องจากน้ำมันดิบจากเมล็ดยางพารามีเศษกากของเปลือกและเนื้อของเมล็ดผสมอยู่ และมีความชื้นปะปนอยู่ จึงต้องทำการกำจัดสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ให้ออกจากน้ำมันดิบก่อนที่จะทำปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อการทำปฏิกิริยาน้อยที่สุด ประกอบไปด้วย

การกรองน้ำมัน โดยใช้เศษผ้าที่สะอาดเพื่อแยกกากที่ปนเปื้อนมากับน้ำมัน

การกำจัดความชื้น ความชื้นที่ปนอยู่ในน้ำมันดิบจะอยู่ในรูปของน้ำ ซึ่งถ้ามีน้ำปะปนอยู่น้ำมันดิบ จะทำให้การทำน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นเกิดปฏิกิริยาได้น้อย และหากมีน้ำปะปนอยู่ในน้ำมันดิบมากเกินไป จะทำให้น้ำไปทำปฏิกิริยากับสารเคมีเกิดเป็นเกิดสบู่ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดความชื้นออกจากน้ำมันดิบ โดยนำน้ำมันที่ผ่านการกรองมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 120 °C ใช้เวลาประมาณ 5 นาที

3.1.2 การทดลองหาอัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันดิบ

กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันดิบจากเมล็ดยางพาราจะมีผลทำให้ใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันดิบไม่เท่ากัน โดยจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองหาอัตราส่วนของเมทานอลที่เหมาะสมในการลดกรดไขมันอิสระ โดยทำการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันดิบที่ 3:1, 6:1 และ 9:1 โดยโมล

3.1.3 การทดลองหาปริมาณกรดซัลฟิวริก

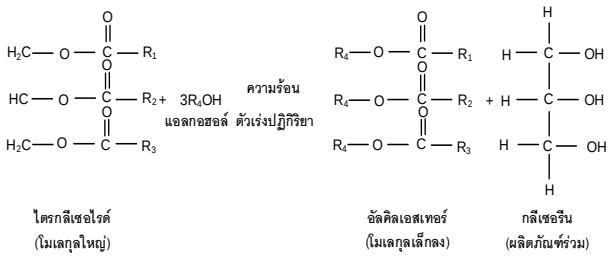
กรดซัลฟิวริกเป็นกรดที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างเมทานอลกับน้ำมันดิบในการลดกรดไขมันอิสระ หากเติมลงในน้ำมันดิบมากเกินไปจะมีผลต่อเครื่องยนต์ เพราะกรดซัลฟิวริกเป็นกรดที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนสูง อาจทำให้ชิ้นส่วนเครื่องยนต์เสียหายได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่าที่เหมาะสมของกรดก่อนเติมลงในน้ำมันดิบเพื่อลดค่ากรดไขมันอิสระ โดยทดลองที่ 1.5, 2.5, 3.5, 4.5 และ 5.5% โดยมวล

3.1.4 การทดลองหาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

เป็นการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปั่นเพื่อเร่งปฏิกิริยาของส่วนผสมระหว่างน้ำมันดิบ กรดซัลฟิวริก และเมทานอล เพราะหากปั่นนานมากเกินไป จะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้นโดยไม่จำเป็น

3.2 ขั้นตอนที่ 2 การทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการปฏิกิริยาด่าง-ทรานเอสเตอร์ริฟิเคชั่น

เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นคือ ปฏิกิริยาแตกพันธะของเอสเตอร์ด้วยแอลกอฮอล์โดยมีกรด (Acid) หรือด่าง (Alkali) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ เอสเตอร์และกลีเซอรีน ในทางทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์จะต้องใช้อัตราส่วนโดยโมล ของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 3:1 [3] สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันกับแอลกอฮอล์

สำหรับแอลกอฮอล์ที่ใช้ในขั้นตอนที่ 2 นี้คือ เมทานอล และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง เกิดได้สมบูรณ์ และให้ผลดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด [3] นอกจากนี้หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกแยกเป็นสองชั้น โดยชั้นบนเป็นอัลคิลเอสเทอร์ ส่วนชั้นล่างเป็นกลีเซอรีน ซึ่งกลีเซอรีนที่ได้จะอยู่ในสภาพของเหลวทำให้สามารถแยกออกจากสารละลายชั้นบนได้ง่าย โดยใช้วิธีปล่อยออกมาจากภาชนะที่ใช้ทำปฏิกิริยา สำหรับอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาใช้ที่ 60°C

3.2.1 การทดลองหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (KOH)

ปริมาณKOHที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล,gKOH/gCH_3OH [2]

$KOH_{Transesterification} = (A \times B)/100$

$KOH_{Neutralization} = (56.1 \times B \times AV)/(56.1 \times 1000)$

$KOH_{Total} = KOH_{Transesterification} + KOH_{Neutralization}$

A=ปริมาณKOHในตัวเร่งปฏิกิริยา, %โดยน้ำหนัก

B=อัตราส่วนโดยมวลระหว่างน้ำมันดิบ/เมทานอล

AV=ค่าความเป็นกรด, mmgKOH/gOil

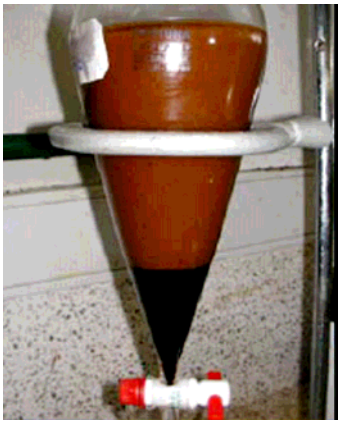
3.2.2 การทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันดิบ

การทดลองนี้ เป็นการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันดิบที่เหมาะสม ในการทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 1 โดยทำการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันดิบ 3:1, 6:1 และ 9:1 โดยโมล

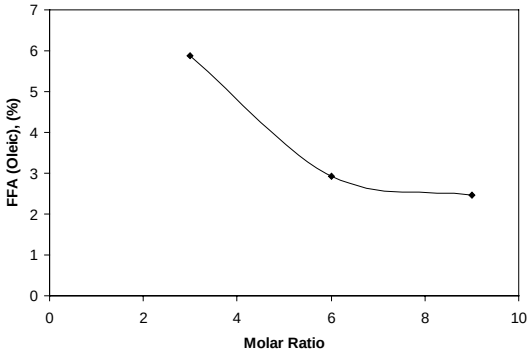
4. ผลการทดลอง

4.1 ขั้นตอนที่ 1 การลดกรดไขมันอิสระด้วยกระบวนการปฏิกิริยากรด-เอสเตอร์ริฟิเคชั่น

จากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 หรือขั้นตอนปฏิกิริยากรด-เอสเตอร์ริฟิเคชั่น พบว่าเมื่อนำน้ำมันที่ได้จากการทำปฏิกิริยาใส่ในกรวยแยกทิ้งไว้เป็นเวลา 72 ชั่วโมง น้ำมันดิบจะแยกเป็นสองชั้นดังรูปที่ 6 คือ ชั้นบนเป็นน้ำมันดิบกับเอสเตอร์ ส่วนชั้นล่างเป็นกลีเซอรีนกับสิ่งเจือปน จากนั้นแยกกลีเซอรีนและสิ่งเจือปนออกเหลือแต่ชั้นของน้ำมันดิบกับเอสเตอร์ เพื่อที่จะนำส่วนที่เหลือไปทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

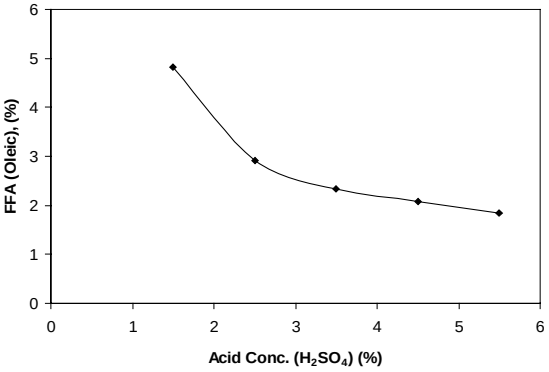


รูปที่ 6 แสดงการแยกชั้นของกลีเซอรีนและสิ่งเจือปนกับชั้นของน้ำมันดิบและเอสเตอร์

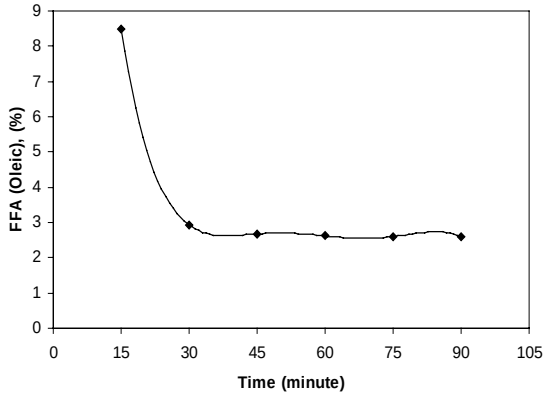


รูปที่ 7 อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันดิบ

จากรูปที่ 7 เมื่อใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันดิบเท่ากับ 3:1 กรดไขมันอิสระลดลงเหลือประมาณ 5.8% แต่ยังสูงเกินกว่าที่จะสามารถทำปฏิกิริยาในขั้นที่ 2 ได้ และที่อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันดิบเท่ากับ 6:1 กรดไขมันอิสระลดลงเหลือประมาณ 3% แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนเป็น 9:1 พบว่ากรดไขมันอิสระลดลงเล็กน้อยเหลือประมาณ 2.5% และพบว่าหลังจากทำปฏิกิริยาแล้วน้ำมันจะแยกออกเป็นสามชั้น โดยชั้นล่างเป็นกลีเซอรีนกับสิ่งเจือปน ตรงกลางเป็นน้ำมันดิบกับเอสเตอร์ ส่วนชั้นบนเป็นเมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา



รูปที่ 8 ปริมาณกรดซัลฟิวริก



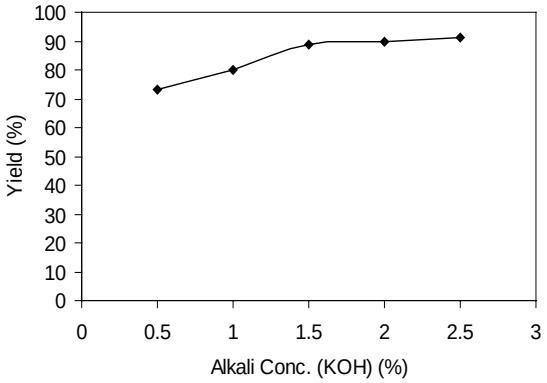
รูปที่ 9 ระยะเวลาในการเร่งปฏิกิริยา

จากรูปที่ 7-9 ทำให้ทราบอัตราส่วนของสารเคมีและเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการลดกรดไขมันอิสระลงจาก 20% เป็น 3% เพื่อที่ให้จะสามารถทำปฏิกิริยาในขั้นที่ 2 ซึ่งใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ คือ อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันดิบโดยโมล ที่ใช้ 6: 1 ปริมาณกรดซัลฟิวริก 2.5 % ของน้ำหนักน้ำมันดิบ เวลาในการปั่นส่วนผสมระหว่างน้ำมันดิบ เมทานอล และกรดซัลฟิวริก คือ 30 นาที และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด 72 ชั่วโมง

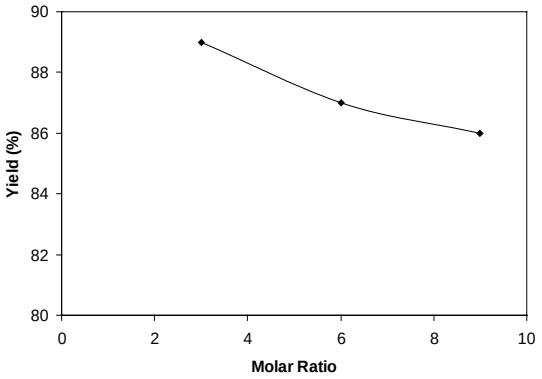
4.2 ขั้นตอนที่ 2 การทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการปฏิกิริยาด่าง-ทรานเอสเตอร์ริฟิเคชั่น

จากผลการทดลองขั้นตอนที่ 2 หรือขั้นตอนปฏิกิริยาด่าง-ทรานเอสเตอร์ริฟิเคชั่น เมื่อนำน้ำมันที่ได้จากการทำปฏิกิริยาใส่ในกรวยแยกทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกแยกเป็นสองชั้น ดังรูปที่ 10 โดยชั้นบนเป็นอัลคิลเอสเทอร์ ส่วนชั้นล่างเป็นกลีเซอรีนซึ่งสามารถแยกออกได้โดยวิธีปล่อยออกมาจากกรวยแยก จากนั้นนำเอสเทอร์ที่ได้ไปทำการล้างน้ำ เพื่อล้างสารเคมีที่ตกค้างในเนื้อเอสเทอร์ออก สำหรับน้ำที่นำมาล้างใช้น้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 50°C ปริมาตร 50% ของเอสเทอร์ โดยทำการล้างประมาณ 3-4 ครั้ง หรือจนกระทั่งน้ำล้างใส เมื่อทำการล้างน้ำเสร็จแล้วนำเอสเทอร์ที่ได้ไปต้มเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 10 นาที จึงจะได้ไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพารา และนำไบโอดีเซลที่ผลิตได้ไปทดสอบหาคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง

รูปที่ 10 การเกิดปฏิกิริยา ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่น



รูปที่ 11 ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาหรือ KOH (%A)



รูปที่ 12 อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล:น้ำมันดิบ

จากรูปที่ 11-12 เมื่อพิจารณาจากจุดที่ให้ปริมาณเอสเตอร์สูงสุด ทำให้ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาดังนี้คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาหรือโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่เหมาะสมคือ A = 1.5 และอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันดิบโดยโมลเท่ากับ 3:1

สำหรับการทดสอบหาคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ แสดงไว้ในดังตารางที่ 4 ซึ่งทดสอบโดย ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ(MTEC) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และห้องปฏิบัติการเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยการผลิตไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพาราในประเทศอินเดีย [A] รวมทั้งเปรียบเทียบกับข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2548 และเปรียบเทียบกับมาตรฐานไบโอดีเซลของยุโรป (EN 14214:2003) มาตรฐานไบโอดีเซลของอเมริกา (ASTM D6751) และดีเซลมาตรฐานจากปิโตเลียม (EN 590:1999) ซึ่งผลที่ได้จากการเปรียบเทียบพบว่ามีคุณภาพตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน และมาตรฐานขอไบโอดีเซลในต่างประเทศดังกล่าวข้างต้น รวมทั้งยังมีค่าความหนืดใกล้เคียงกับดีเซลมาตรฐานมาก

ตารางที่ 4คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพารา

Biodi esel analysis	Method	Unit	This work
Acid number[1]	ASTM D664	mgKOH/g	0.18
Density[1]	ASTM D4052	g/cm^3	0.8874
API index[1]	ASTM D4052	-	27.79
Specific gravity[1]	ASTM D4052	-	0.8883
ASTM Color[1]	ASTM D1500	-	3.2
Carbon residue[1]	ASTM D4530	%wt	0.22
Cloud point[1]	ASTM D2500	°C	3.4
Flash point[1]	ASTM D93	°C	187
Heat of combustion[1]	ASTM D240	MJ/kg	39.63
Iodine value[1]	EN 14111	gI_2/100goil	82.9
Viscosity at 40 °C[1]	ASTM D445	mm^2/s	4.456
Pour point[1]	ASTM D97	°C	3
Oxidation stability[1]	EN 14112	hour	7.82
Water content[1]	ASTM D6304	ppm	1760
กลีเซอรีนอิสระ [2]	EN 14105	%wt	n.d.
กลีเซอรีนทั้งหมด [2]	EN 14105	%wt	0.23
โมโนกลีเซอไรด์[2]	EN 14105	%wt	0.771
ไดกลีเซอไรด์ [2]	EN 14105	%wt	0.154
ไตรกลีเซอไรด์ [2]	EN 14105	%wt	0.058
เมทิลเอสเตอร์[3]	EN 14103	%wt	96.4
Aniline Point [3]	EN 14105	°C	30

NA, not available

[1] ,ทดสอบโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ(MTEC)

[2] ,ทดสอบโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

[3] ,ทดสอบโดยภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. สรุป

สำหรับการผลิตไบโอดีเซลแบบ 2 ขั้นตอนนี้สามารถใช้ได้กับน้ำมันดิบจากเมล็ดยางพารา และสามารถลดขั้นตอนรวมทั้งลดต้นทุนในการผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับการทำน้ำมันดิบให้บริสุทธิ์ก่อนที่จะนำมาทำเป็นไบโอดีเซล และยังให้ปริมาณของไบโอดีเซลมากกว่า เนื่องจากในการทำน้ำมันดิบให้บริสุทธิ์จะมีการเสียเนื้อน้ำมันบางส่วนไป โดยจุดเหมาะสมในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 เป็นการลดกรดไขมันอิสระของน้ำมันดิบจากเมล็ดยางพารา ใช้เมทานอลในอัตราส่วน 6: 1 โดยโมล และกรดซัลฟิวริก 2.5 % ต่อน้ำหนักน้ำมัน และปั่นเพื่อเร่งปฏิกิริยา 30 นาที อุณหภูมิในขณะทำปฏิกิริยา 60°C ทิ้งไว้ 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นน้ำมันดิบจะแยกเป็นสองชั้นคือ น้ำมันดิบกับกลีเซอรีนและสิ่งเจือปน ให้แยกกลีเซอรีนและสิ่งเจือปนออก ขั้นตอนที่ 2 เป็นการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการนำน้ำมันดิบที่เตรียมจากขั้นตอนที่ 1 มาทำปฏิกิริยาโดยปริมาณ KOH ใช้ A = 1.5 เมทานอลใช้อัตราส่วน 3:1 โดยโมลต่อน้ำมันดิบ ปั่นเร่งปฏิกิริยา 5 นาที อุณหภูมิขณะการทำปฏิกิริยา 60 °C

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของRamadhas และคณะ [7] พบว่าใช้เมทานอลน้อยกว่าอยู่ 6:1 โดยโมล แต่ใช้กรดซัลซัลฟิวริกมากกว่าอยู่ 2% ต่อน้ำหนักน้ำมัน ผลทดสอบด้านคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพารามีค่าตามมาตรฐานไบโอดีเซล ทั้งของประเทสไทยและต่างประเทศ ส่วนค่าความหนืดใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลจากปิโตเลียมมาก

6. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สุภาษิต ชูกลิ่น, 2547. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพารา. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 112 หน้า.

[2] ฝ่ายสิ่งแวดล้อม นิเวศวิทยาและพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2549. เอกสารไบโอดีเซล. 20 หน้า.

[3] ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, ไพบูลย์ เสถียรรัมย์, ทองคำ กิริยะ, 2548. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและศึกษาผลกระทบต่อเครื่องยนต์. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, หน้า.

[4] IKwuagwu O.E., Ononogbu I.C., Njoku O.U., 2000. Production of biodiesel using rubber [*Hevea brasiliensis* (Kunth. Muell.)] seed oil. Industrial Crops and Products, Vol. 12, pp. 57-62.

[5] Ramadhas A.S., Muraleedharan C., Jayaraj S., 2005. Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil. Renewable Energy, Vol 30, pp. 1789-1800.

[6] Canakci M., Van G.J., 2001. Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids" Trans ASAE, Vol. 24.

[7] Cherng-Yuan Lin, Hsiu-An Lin, 2006. Diesel engine performance and emission Characteristics of biodiesel produced by the peroxidation process. Fuel, Vol 85, pp. 298-305.

[8] Ramadhas A.S., Jayaraj S. Muraleedharan C., 2005. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. Fuel, Vol. 84, pp. 335-340.