



รายงานการวิจัย

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจาก น้ำมันกากกาแฟ

Study the optimum conditions for biodiesel production from
spent coffee grounds oil

ศศิกันต์ ปานปราณีเจริญ และคณะ
สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2565

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจาก น้ำมันกากกาแฟ

Study the optimum conditions for biodiesel production from
spent coffee grounds oil

ศศิگانต์ ปานปรางณีเจริญ

สาขาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นันทรักษ์ รอดเกตุ

สาขาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เสาวภา ชุ่มณี

สาขาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

รุจิรา คุ่มทรัพย์

สาขาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ทุนอุดหนุนงานวิจัย พัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
ประจำปีงบประมาณ 2565

ชื่องานวิจัย	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกากกาแฟ
ผู้วิจัย	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิกันต์ ปานปรางค์เจริญ
ผู้ร่วมวิจัย	อาจารย์ ดร.นันทรักษ์ รอดเกตุ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวภา ชุมณี ผู้ช่วยศาสตราจารย์รุจิรา คุ่มทรัพย์
สาขาวิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีเสรีจวิจัย 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากกากกาแฟที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และเพื่อศึกษาคุณสมบัติน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ เมื่อทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยศึกษาตัวแปรเวลา, เมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา KOH พบว่าเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 120 นาที ปริมาณเมทานอล 6 กรัม และตัวเร่งปฏิกิริยา 1%w/w KOH ที่อุณหภูมิ 60±5 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 600 รอบ/นาที ให้ผลผลิตไบโอดีเซลมากที่สุด และเมื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติปริมาณร้อยละกรดไขมันอิสระ (%FFA) และค่าความหนาแน่น พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.64±0.05 % และ 0.87±0.01 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน

คำสำคัญ : กากกาแฟที่ใช้แล้ว, ไบโอดีเซล, ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

Research Title	Study the optimum conditions for biodiesel production from spent coffee grounds oil
Researcher	Asst. Prof. Dr. Sasikarn Panpraneecharoen
Co-researcher	Dr. Nantharak Rodkate Asst. Prof. Dr. Saowapa Chumanee Asst. Prof. Rujira Khoomsab
Program	Chemistry Faculty of Science and Technology Phetchabun Rajaphat University Year 2022

Abstract

The objective of this research is to study the optimum conditions for biodiesel production and biodiesel properties from used coffee grounds with potassium hydroxide (KOH) catalyst. The reaction time, methanol and KOH catalyst were to investigated in transesterification reaction. The result found that the 120 min of reaction time, 6 g of methanol and 1%w/w of KOH was the highest biodiesel yield. The %FFA and density of biodiesel were 0.64 ± 0.05 % and 0.87 ± 0.01 g/cm³, respectively which passed the standard biodiesel property standards.

Keywords : Spent coffee ground, Biodiesel, Transesterification reaction

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจากหลายๆ ฝ่าย ข้าพเจ้าผู้ทำวิจัยและคณะ ขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้เพื่อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย และขอขอบคุณร้านกาแฟจ่านรินทร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อกาแฟ ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักและเป็นข้อมูลอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัว อาจารย์ และเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยนี้ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศศิกันต์ ปานปราณีเจริญ

8 สิงหาคม 2565

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 คำสำคัญของโครงการวิจัย	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการทำวิจัย	2
1.5 ระยะเวลาทำการทดลอง	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) กรอบแนวความคิดของวิธีดำเนินการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ไบโอดีเซล	4
2.2 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล	7
2.3 การผลิตไบโอดีเซล	9
2.4 คุณสมบัติของไบโอดีเซล	13
2.5 มาตรฐานไบโอดีเซล	14
2.6 ข้อดีข้อเสียของไบโอดีเซลแต่ละประเภทเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล	15
2.7 คุณภาพของไบโอดีเซลที่มีผลต่อเครื่องยนต์	16
2.8 กากกาแฟ	21
2.9 การใช้ประโยชน์จากกากกาแฟ	23
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	31
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	31
3.2 สารเคมี	31
3.3 วัสดุดิบ	32
3.4 วิธีการศึกษา	32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	42
4.1 ผลการศึกษาปริมาณความชื้นในกากกาแฟ	42
4.2 ผลการศึกษาปริมาณเถ้าในกากกาแฟ	42
4.3 ผลการศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ	43
4.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC	43
4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ	45
4.6 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเวลาหลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม	46
4.7 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเมทานอลหลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม	47
4.8 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตัวเร่ง KOH หลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม	49
4.9 ผลการวิเคราะห์ของการขยายสเกลน้ำมันเริ่มต้น 10 กรัม ในการผลิตไบโอดีเซล	51
4.10 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของไบโอดีเซลจากกากกาแฟ ด้วยเทคนิค FTIR	52
4.11 ผลการตรวจสอบความหนาแน่นของไบโอดีเซล (Density) ด้วยกระบอกตวง	54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	55
5.1. สรุปผลการวิจัย	55
5.2. ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	59
ภาคผนวก ก ภาพประกอบการวิจัย	60
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง	64

สารบัญตาราง

ลำดับที่	ชื่อหัวข้อ	หน้า
2.1	ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร	14
	พ.ศ. 2549	
3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	31
3.2	สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	31
3.3	วิธีการเตรียมน้ำมันจากกากกาแฟที่ใช้แล้วเพื่อผลิตไบโอดีเซล	34
3.4	วิธีการตรวจสอบค่ากรดไขมันอิสระด้วยวิธีไทเทรต (%FFA)	36
4.1	ผลการศึกษาปริมาณความชื้นในกากกาแฟ	42
4.2	ผลการศึกษาปริมาณเถ้าในกากกาแฟ	42
4.3	ผลการศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ	43
4.4	องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันกาแฟ	44
4.5	ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันจากกากกาแฟ	45
4.6	ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเวลาหลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม	46
4.7	ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเมทานอลหลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม	48
4.8	ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตัวเร่ง KOH หลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม	50
4.9	ผลการวิเคราะห์ของการขยายสเกลน้ำมันเริ่มต้น 10 กรัม	52
	ในการผลิตไบโอดีเซล	
4.10	หมู่ฟังก์ชันจากโครงสร้างของไบโอดีเซล ที่เวลา 120 นาที เมทานอล 6 กรัม และตัวเร่งปฏิกิริยา KOH 1%w/w	53
4.11	ผลการตรวจสอบความหนาแน่นของไบโอดีเซล (Density) ด้วยกระบอกตวง	54
ผข 1	ผลการศึกษาปริมาณความชื้นในกากกาแฟ	65
ผข 2	ผลการศึกษาปริมาณเถ้าในกากกาแฟ	66
ผก 3	ผลการศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ	67
ผข 4	ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน	68
	ก่อนผลิตไบโอดีเซล (Free Fatty Acid, %FFA)	
ผก 5	ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเวลาหลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม	69
ผข 6	ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเมทานอลหลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม	71
ผข 7	ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตัวเร่ง KOH หลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ผข 8	ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเวลา เมทานอล และตัวเร่ง KOH หลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม	72
ผข 9	ผลการตรวจสอบความหนาแน่นของไบโอดีเซล (Density) ด้วยกระบอกตวง (กระบอกตวงขนาด 5 มิลลิลิตร)	72

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	หลักการผลิตไบโอดีเซล	9
2.2	ลักษณะของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟและประสิทธิภาพการดูดซับ Acid orange 7 และ methylene blue	26
2.3	แผนภาพแสดงการใช้ประโยชน์จากกากกาแฟ	27
4.1	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันในตัวแปร เวลาหลังการศึกษาสภาพที่เหมาะสม	47
4.2	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระในตัวแปร เวลาหลังการศึกษาสภาพที่เหมาะสม	47
4.3	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันในตัวแปร เมทานอลหลังการศึกษาสภาพที่เหมาะสม	49
4.4	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระในตัวแปร เมทานอลหลังการศึกษาสภาพที่เหมาะสม	49
4.5	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันในตัวแปร ตัวเร่ง KOH หลังการศึกษาสภาพที่เหมาะสม	51
4.6	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระในตัวแปร ตัวเร่ง KOH หลังการศึกษาสภาพที่เหมาะสม	51
4.7	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันและค่า กรดไขมันอิสระหลังจากขยายสเกลน้ำมันเริ่มต้น 10 กรัม	52
4.8	กราฟจากเทคนิค FTIR ของไบโอดีเซลจากกากกาแฟสภาวะที่เหมาะสม	53
ผก 1	กากกาแฟที่ใช้แล้ว	61
ผก 2	การหาความชื้น	61
ผก 3	การหาเปอร์เซ็นต์เถ้า	61
ผก 4	เถ้าที่ได้จากการทดลอง	61
ผก 5	ศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ	61
ผก 6	เครื่องระเหยแบบหมุน	61
ผก 7	การสกัดน้ำมันกาแฟโดยใช้ตัวทำละลาย	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ผก 8 น้ำมันกาแฟ	62
ผก 9 การผลิตไบโอดีเซล	62
ผก 10 ทิ้งไบโอดีเซลไว้ให้แยกชั้น	62
ผก 11 การล้างไบโอดีเซล	62
ผก 12 ไบโอดีเซลที่ได้	62
ผก 13 ไบโอดีเซลที่ได้จากตัวแปรเวลา	63
ผก 14 การวิเคราะห์หา %FFA	63
ผก 15 การวิเคราะห์หาความหนาแน่น	63
ผก 16 ไช้ชั้นกลีเซอรอลทิ้ง	63
ผก 17 เครื่อง FT-IR Spectroscopy	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันเครื่องต้มกาแฟได้รับความนิยมทั่วโลก โดยอัตราการผลิตเมล็ดกาแฟโลก 8.6 ล้านตันต่อปี ในปี 2558 และประมาณ 65% โดยน้ำหนักของเมล็ดกาแฟนี้กลายเป็นกากกาแฟ ซึ่งเป็นของเหลือจากอุตสาหกรรมผลิตเครื่องต้มกาแฟ จากการสำรวจปี พ.ศ. 2543 คนไทยมีอัตราการดื่มกาแฟอยู่ที่ 50 แก้ว/คน/ปี เพิ่มขึ้นเป็น 200 แก้ว/คน/ปี ในปี พ.ศ. 2553 อัตราการเติบโตของธุรกิจร้านกาแฟสดระหว่างปี พ.ศ. 2552-2557 ขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 5.4 ต่อปี มูลค่าตลาดในปี พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2557 เท่ากับ 14,083 ล้านบาท และ 17,400 ล้านบาท ตามลำดับ เช่นเดียวกับตลาดกาแฟสำเร็จรูปที่มีมูลค่าตลาดปี พ.ศ. 2556 ประมาณ 9,650 ล้านบาท และคาดว่าจะสามารถเพิ่มขึ้นได้ถึง 10,630 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2560 และสำหรับในปี พ.ศ. 2557 ปริมาณความต้องการเมล็ดกาแฟของประเทศไทยมีประมาณ 7.5 หมื่นตัน กากกาแฟได้มาจากการชงกาแฟสด และจากกระบวนการผลิตกาแฟสำเร็จรูปเพื่อผลิตน้ำกาแฟและนำไปทำกาแฟผงด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) จึงมีกากกาแฟเหลือทิ้งในปริมาณสูงและมีอัตราเพิ่มขึ้นในทุกๆ ปี

กากกาแฟมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบมากถึง 11-20% โดยน้ำหนักแห้งของกากกาแฟ ดังนั้นหากสกัดน้ำมันออกมาได้ประมาณ 16% แล้วนำมาผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะสามารถผลิตได้ 3.5% ของความต้องการเชื้อเพลิงไบโอดีเซลโลก (จากข้อมูลปี 2557) น้ำมันกากกาแฟจึงมีศักยภาพในการนำมาผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ขณะที่มากกว่า 95% ของน้ำมันที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซลคือน้ำมันพืชที่บริโภคได้ ซึ่งส่งผลต่อความต้องการและราคาน้ำมันพืชเพื่อการบริโภค เพื่อลดปัญหาดังกล่าว่น้ำมันกากกาแฟจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ

ดังนั้นจึงได้มีการทดลองกันอย่างกว้างขวางเพื่อแสวงหาวัตถุดิบชนิดใหม่ในการนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล พบว่าในกากกาแฟนั้นมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบซึ่งน่าจะมีศักยภาพในการที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อทดแทนน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ อีกทั้งกากกาแฟเป็นผลพลอยได้ที่มีอยู่อย่างเหลือเฟือ แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันที่ไม่ใช่ไขมันสำหรับการบริโภค ส่วนใหญ่แล้วจะมีกรดไขมันอิสระในปริมาณที่สูงเกินกว่า 1% ซึ่งไม่สามารถที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้โดยตรง เนื่องจากกรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสจนเกิดเป็นสบู่ จำเป็นต้องลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้ต่ำกว่า 1% ด้วยปฏิกิริยา

เอสเทอร์ฟิเคชันเสียก่อน จึงจะสามารถนำไปผลิตไบโอดีเซลได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

ผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นจึงได้ทำการเลือกกากกาแฟที่ใช้แล้วมาศึกษาและทดสอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลให้มีคุณภาพและได้ปริมาณที่สูง ซึ่งการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากกากกาแฟที่ใช้แล้วสามารถทำได้ไม่ยากอาศัยวัตถุดิบเพียงแคกากกาแฟที่ใช้แล้ว แอลกอฮอล์ และตัวเร่งปฏิกิริยาเท่านั้น

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลอย่างง่ายจากกากกาแฟที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเบส ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างกากกาแฟมาจากร้านในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

1.2 คำสำคัญของโครงการวิจัย

- 1.2.1 กากกาแฟที่ใช้แล้ว
- 1.2.2 ไบโอดีเซล
- 1.2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.3.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากกากกาแฟที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเบส
- 1.3.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากกากกาแฟ

1.4 ขอบเขตของการทำวิจัย

- 1.4.1 ขอบเขตเนื้อหา
 - ศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ และการทำไบโอดีเซลจากกากกาแฟที่ใช้แล้ว
- 1.4.2 ขอบเขตพื้นที่
 - 1.4.2.1 ในงานวิจัยมีการเก็บกากกาแฟที่ใช้แล้วจากร้านใน อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์
 - 1.4.2.2 ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเคมี อาคารสิรินธร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

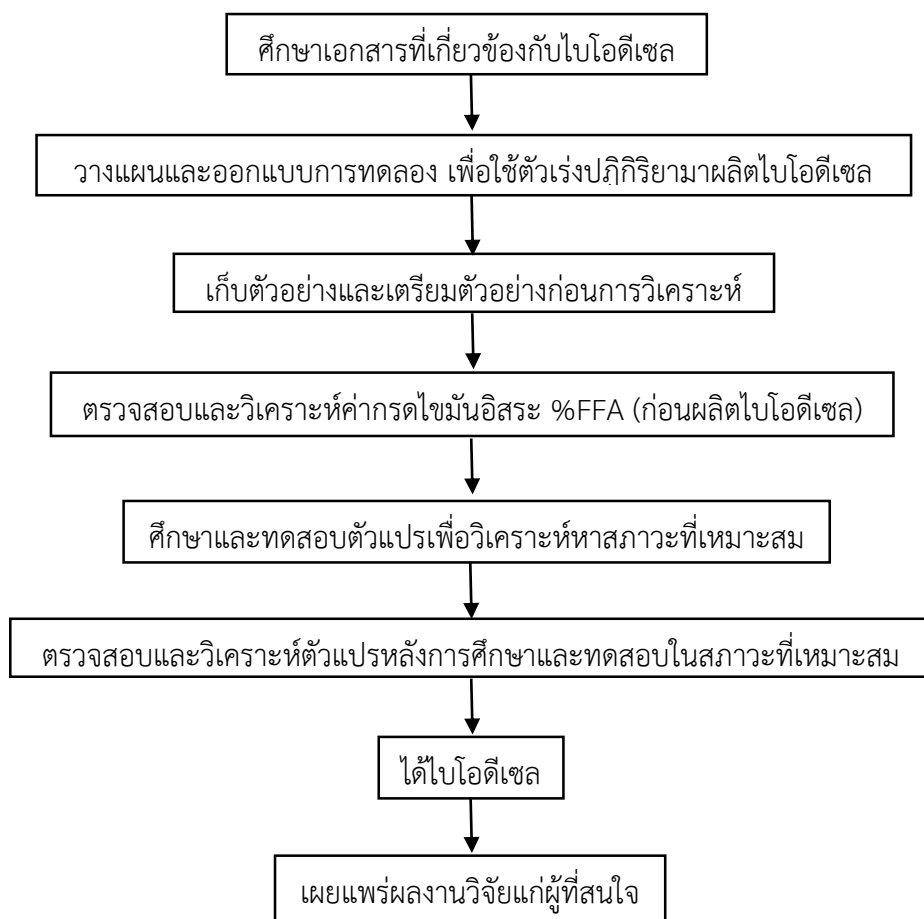
1.5 ระยะเวลาทำการทดลอง

ตั้งแต่วันที่ 25 มกราคม 2565 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม 2565

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ได้ใช้ประโยชน์จากกากกาแฟที่ใช้แล้วแทนการนำไปทิ้ง
- 1.6.2 ได้วิธีการผลิตไบโอดีเซลในสภาวะที่เหมาะสม
- 1.6.3 ได้ทราบคุณภาพน้ำมันจากกากกาแฟที่ใช้แล้ว

1.7 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) กรอบแนวความคิดของวิธีดำเนินการวิจัย



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไบโอดีเซล

2.1.1 ประวัติความเป็นมาของไบโอดีเซล

แนวความคิดในการนำไบโอดีเซลมาเป็นเชื้อเพลิงนั้นเกิดขึ้นในปี 1987 เมื่อ ดร.รูดอล์ฟ ดีเซล ได้คิดค้นและสร้างเครื่องยนต์ดีเซลเครื่องแรกขึ้นมา แรงจูงใจของเขาคือการนำเสนอเครื่องจักรให้กับบริษัทขนาดเล็กต่างๆ ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เขาพยายามคิดค้นสร้างเครื่องยนต์ขึ้นมาโดยเครื่องยนต์นั้นจะต้องมีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องยนต์ใช้น้ำมันขนาดใหญ่และมีราคาแพงรวมถึงเครื่องยนต์ประเภทเผาไหม้ภายในซึ่งผลิตขึ้นโดย นิคลอส ออกตโต้ ในปี 1876 เครื่องยนต์ต้นแบบของดร. ดีเซล นั้นสามารถทำงานด้วยกำลังของเครื่องยนต์เองเป็นครั้งแรกที่เมืองออกซ์เบิร์ก (เยอรมัน) เมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 1893 ซึ่งภายหลังถูกประกาศให้เป็น “วันไบโอดีเซลนานาชาติ” หลังจากที่ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับเชื้อเพลิงหลายๆ ครั้งนั้นเขาได้แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ประเภท “จุดระเบิดด้วยการอัด” ที่มีความเสถียรในงานแสดงเครื่องยนต์โลกที่กรุงปารีสในปี 1900 ซึ่งได้รับรางวัลกรัง ปริซ์ (รางวัลสูงสุด) เนื่องจากเครื่องยนต์นั้นทำงานได้โดยใช้น้ำมันถั่วเพียงอย่างเดียว ดร.ดีเซล เป็นผู้ที่มีสายตากว้างไกลซึ่งเขาได้กล่าวไว้ในปี 1912 ขณะบรรยายว่า “การนำน้ำมันจากผักมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในปัจจุบันนั้นอาจดูไม่ใช่เรื่องที่สลักสำคัญเท่าไรแต่ในอนาคตน้ำมันเหล่านี้อาจมีความสำคัญเทียบเท่ากับน้ำมันปิโตรเลียมและน้ำมันถ่านหินในปัจจุบัน”

อย่างไรก็ตามหลังจากการเสียชีวิตของเขาในปี 1913 นั้นผู้ผลิตเครื่องยนต์ดีเซลได้ทำการปรับเครื่องยนต์ให้ใช้น้ำมันดีเซลแทนน้ำมันจากผักซึ่งถือเป็นจุดกำเนิดของการพัฒนารถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน บริษัทน้ำมันต่างๆ ได้กลั่นน้ำมันดิบจำนวนมากเพื่อการรองรับซึ่งส่งผลให้เกิดสารส่วนเกินจากการกลั่นน้ำมันซึ่งได้กลายเป็นเชื้อเพลิงชั้นดีสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลและมีราคาถูกกว่าตัวเลือกที่เป็นสารชีวมวลอื่นๆ ซึ่งในช่วงต้นของศตวรรษที่ 20 นั้นปรากฏว่า เชื้อเพลิงที่ทำจากน้ำมันผักเกิดความขาดแคลน ความสนใจในเครื่องของเชื้อเพลิงชีวะนั้นยังคงถูกวิจัยอย่างต่อเนื่องในหลายๆ ประเทศในช่วงทศวรรษที่ 1920 และ 1930 ตลอดมาจนถึงในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2

ในเวลาเดียวกันนั้นการหมดไปของทรัพยากรได้กลายมาเป็นสิ่งหลักที่ทำให้เกิดการวิตกกังวลรวมกับราคาของน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากวิกฤตน้ำมันในปี 1973 และ 1979 นั้นทำให้เกิดความท้าทายในส่วนของเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมในการเผาเชื้อเพลิงจากซากพืชซากสัตว์ซึ่งถือเป็นการหันจุดสนใจกลับไปยังแหล่งทรัพยากรพลังงานหมุนเวียน ในปี 1977 นักวิทยาศาสตร์ชาวบราซิล ชื่อเอ็กซ์เปดิโต้ พาเร็นเต้ ได้ผลิตไบโอดีเซลโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนสภาพของเอสเทอร์ด้วย เอทานอล การวิจัยการใช้งานกระบวนการเปลี่ยนสภาพของเอสเทอร์จากดอกทานตะวันนั้นถูกริเริ่มขึ้นที่ประเทศแอฟริกาใต้ในปี 1979 และในปี 1983 นั้นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลซึ่งได้ทดลองกับเครื่องยนต์แล้วนั้นได้กลายเป็นเรื่องที่รับรู้กันอย่างกว้างขวางและถูกตีพิมพ์ในระดับนานาชาติ บริษัท แก๊สก็อก (Gaskoks) ของฮอลแลนด์เป็นบริษัทแรกที่ได้สร้างโรงงานนำร่องของการผลิตไบโอดีเซลขึ้นมาในปี 1987 และต่อมาได้สร้างโรงงานผลิตขึ้นในเดือนเมษายนของปี 1989 ตลอดช่วงทศวรรษที่ 1990 นั้นประเทศต่างๆ ในยุโรปก็ได้ดำเนินการตามเช่นเดียวกัน

สำหรับประเทศไทยนั้น เทคโนโลยีไบโอดีเซลได้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง นับตั้งแต่ปี 2001 โดยเป็นโครงการหลวง เช่น โครงการหลวงสวนจิตรลดาของในหลวงเพื่อที่จะช่วยเหลือชาวนา โดยก่อนหน้านี้ในปี 1985 ในหลวงทรงโปรดให้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์สร้างโรงกลั่นขนาดเล็กขึ้นที่อำเภอเล็กเพื่อผลิตน้ำมันปาล์ม ในปี 2000 นั้นได้โปรดให้กองการในพระองค์ได้ทดลองใช้น้ำมันปาล์มกับรถยนต์เครื่องดีเซลที่พระตำหนักไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ในปี 2001 การใช้งานไบโอดีเซลได้กลายเป็นโครงการระดับชาติซึ่งรัฐบาลไทยได้ดำเนินการหลายๆ อย่างเพื่อแนะนำไบโอดีเซลในการช่วยลดการพึ่งพาอาศัยการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ ส่งเสริมความปลอดภัยทางด้านพลังงานของประเทศและเพื่อเป็นการแนะนำพลังงานทางเลือกใหม่ๆ จากพืชที่ปลูกภายในประเทศ

2.1.2 ความหมายของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลที่เกิดจากผสมระหว่างน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมเข้ากับวัตถุดิบธรรมชาติที่ให้พลังงาน โดยวัตถุดิบธรรมชาติเหล่านี้ยังเป็นทรัพยากรหมุนเวียนด้วย เช่น ปาล์มน้ำมัน น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือสาหร่าย จัดเป็นสารพวกเอสเทอร์ (ester) โดยนำน้ำมันดังกล่าวไปผสมกับแอลกอฮอล์ (เช่น เมทานอล หรือ เอทานอล) และมีด่างเป็นตัวทำปฏิกิริยาจะได้

กรดไขมันออกมา เรียกว่า fatty acid methyl ester และสารอีกส่วนที่ได้คือ กลีเซอริน ซึ่งต้องกรองแยกออกไป “น้ำมัน ไบโอดีเซล” เป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่มีคุณสมบัติการเผาไหม้เหมือนกับดีเซลจากปิโตรเลียมมากและสามารถใช้ทดแทนกันได้ นอกจากนี้ยังสามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการชีวภาพในธรรมชาติและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันประเทศไทยไม่มีจำหน่ายน้ำมันดีเซล 100% แล้วที่วางจำหน่ายกันอยู่คือ น้ำมันดีเซลผสม B5 (ส่วนผสมจากปาล์ม 5%) ตามที่กฎหมายกำหนดโดยในแต่ละยี่ห้อจะมีส่วนผสมน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 5%-7% แล้วแต่สูตร ส่วนใหญ่การผสมน้ำมันปาล์มกับดีเซลมักจะขึ้นกับภาวะผลผลิตน้ำมันปาล์ม โดยถ้ามีมากล้นตลาดก็จะผสมอยู่ที่ 7%

ไบโอดีเซลคือการนำน้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์หรือน้ำมันใช้แล้วมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งสามารถแบ่งไบโอดีเซลตามประเภทของน้ำมันที่นำมาใช้ได้ออกเป็น 3 ประเภท

ประเภทที่ 1 น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ เป็นไบโอดีเซลประเภทที่สามารถนำมาใช้ได้เลยกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นใด หรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันให้สิ้นเปลืองเวลาและทรัพยากร

ประเภทที่ 2 ไบโอดีเซลลูกผสม เป็นไบโอดีเซลลูกผสมระหว่างน้ำมันจากพืช หรือไขมันสัตว์กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันชนิดใดก็ได้เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น โคโคดีเซล (coco-diesel) ที่เป็นการผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด

ประเภทที่ 3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ เป็นไบโอดีเซลในความหมายที่สากลเข้าใจตรงกันว่า เป็นไบโอดีเซลที่ผลิตโดยผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์ เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ซึ่งเป็นกระบวนการนำน้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้เป็นไบโอดีเซล เอสเทอร์ โดยจะเรียกชื่อไบโอดีเซลที่ผลิตได้นี้ตามแอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ทำปฏิกิริยาเคมี

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เช่น ปาล์ม มะพร้าว ถั่วเหลือง ทานตะวัน เมล็ดเรพ (rape seeds) สบู่ดำ สำหรับ หรือ น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ ที่ใช้แล้ว ซึ่งพืชน้ำมันเหล่านี้เป็นแหล่งทรัพยากรที่สามารถผลิตทดแทนได้ในธรรมชาติ แต่วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตไบโอดีเซล ได้แก่

2.2.1 ทานตะวัน (sunflower)

ทานตะวันเป็นพืชให้น้ำมันโดยสกัดจากเมล็ดน้ำมันดอกทานตะวันนิยมนำไปใช้ในการฟอกหนัง การประกอบอาหาร รวมไปถึงนำเมล็ดทานตะวันมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

2.2.2 เมล็ดเรพ (Rape seeds)

เมล็ดเรพเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดในยุโรป คือมีส่วนแบ่งในการผลิตถึงร้อยละ 80 ของวัตถุดิบอื่นๆ ทั้งหมด ซึ่งประเทศเยอรมันถือได้ว่าเป็นทั้งผู้นำในการนำไบโอดีเซลมาใช้แทนน้ำมันดีเซลและเป็นผู้นำทางด้านเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้วัตถุดิบจากเมล็ดเรพ นอกจากนี้ยังมีประเทศฝรั่งเศสและสเปนที่ใช้เมล็ดเรพและทานตะวันเป็นวัตถุดิบเช่นกัน

2.2.3 ปาล์มน้ำมัน (Oil palm)

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยขณะนี้ เนื่องจากเป็นพืชที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่นคือมีต้นทุนการผลิตต่ำให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง โดยปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้ำมันต่อไร่สูงกว่าเมล็ดเรพ ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศแถบยุโรปถึง 5 เท่า และสูงกว่าถั่วเหลืองที่ใช้กันมากในสหรัฐอเมริกาถึง 10 เท่า เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้น ทนต่อผลกระทบจากภัยธรรมชาติ อีกทั้งสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานถึง 20 ปี จึงทำให้ความต้องการน้ำมันปาล์มดิบในประเทศเพิ่มขึ้นอีกเป็นจำนวนมากในอนาคตอันใกล้ ซึ่งประเทศที่มีการปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดคือประเทศมาเลเซีย

2.2.4 สบู่ดำ (Jatropha curcas Linn)

เป็นพืชน้ำมันอย่างหนึ่งที่ภาครัฐมีนโยบายส่งเสริมให้ปลูกเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลชุมชน เนื่องจากเป็นพืชที่เพาะปลูกง่ายไม่ต้องดูแลมากทนต่อสภาพแล้งและน้ำท่วมทำให้ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วทุกภาคแม้แต่ในพื้นที่ที่ประโยชน์ทางการเกษตรได้น้อยสามารถเก็บ

เกี่ยวผลผลิตได้ภายในหนึ่งปีหลังปลูกและมีอายุยืนกว่า 30 ปี อีกทั้งปลูกได้ในพื้นที่แห้งแล้ง น้ำมันที่บีบจากผลสบู่ดำสามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำสำหรับการเกษตรแทนน้ำมันดีเซลได้ทันที น้ำมันสบู่ดำที่สกัดได้จะสามารถนำไปใช้กับเครื่องจักรกลทางการเกษตรที่เป็นเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำได้ เช่น เครื่องปั่นไฟ รถอีแต่น รถแทรกเตอร์ หรือเครื่องสูบน้ำได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ แต่มีปัญหาด้านคุณภาพบางประการ อาทิ ค่าความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลถึง 10 เท่า ทำให้ไม่สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงทั่วไปได้ จำเป็นต้องนำไปผ่านกระบวนการ Transesterification แปลงเป็นไบโอดีเซล (B 100) ก่อนนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลปกติเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

2.2.5 ถั่วเหลือง (Soybean, Glycine max (L.) Merrill)

เป็นพืชน้ำมันที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดในสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีปริมาณการผลิตถั่วเหลืองสูงถึงกว่า 30 ล้านตันต่อปี นอกจากนี้ยังมีประเทศอิตาลีซึ่งนิยมใช้ถั่วเหลืองในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น ไบโอดีเซลจากถั่วเหลืองสามารถลดการแพร่กระจายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 78% และยังทำให้การหล่อลื่นของเครื่องยนต์ดีขึ้นด้วยเป็นการยืดอายุการใช้งานและลดค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเครื่องยนต์ ไบโอดีเซลจากถั่วเหลืองสามารถผลิตได้เองไม่ต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงทำให้เกิดผลประโยชน์และผลกำไรในระยะยาว

2.2.6 น้ำมันพืชใช้แล้ว (Used Cooking Oil)

ในระหว่างที่ต้องรอการขยายพื้นที่เพาะปลูกปาล์มให้เพียงพอ วัตถุดิบอีกประเภทหนึ่งที่ควรส่งเสริมให้นำไปผลิตไบโอดีเซลคือน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งนอกจากจะเป็นประโยชน์ด้านพลังงานแล้วยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข โดยในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาทั่วโลกมีอัตราเฉลี่ยในการบริโภคน้ำมันพืชเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 4 ต่อปี ส่งผลให้ปัจจุบันมีการบริโภคน้ำมันพืชสูงกว่า 100 ล้านตันต่อปี เพราะวิถีการบริโภคที่หันมานิยมอาหารประเภทจานด่วน (Fast Food) ที่ปรุงด้วยการทอดมากขึ้น ผลที่ตามมาคือมีน้ำมันพืชใช้แล้วจำนวนมากที่เหลือจากการปรุงอาหารซึ่งจำเป็นต้องหาวิธีจัดการไม่ว่าเป็นการกำจัดบำบัด หรือนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข

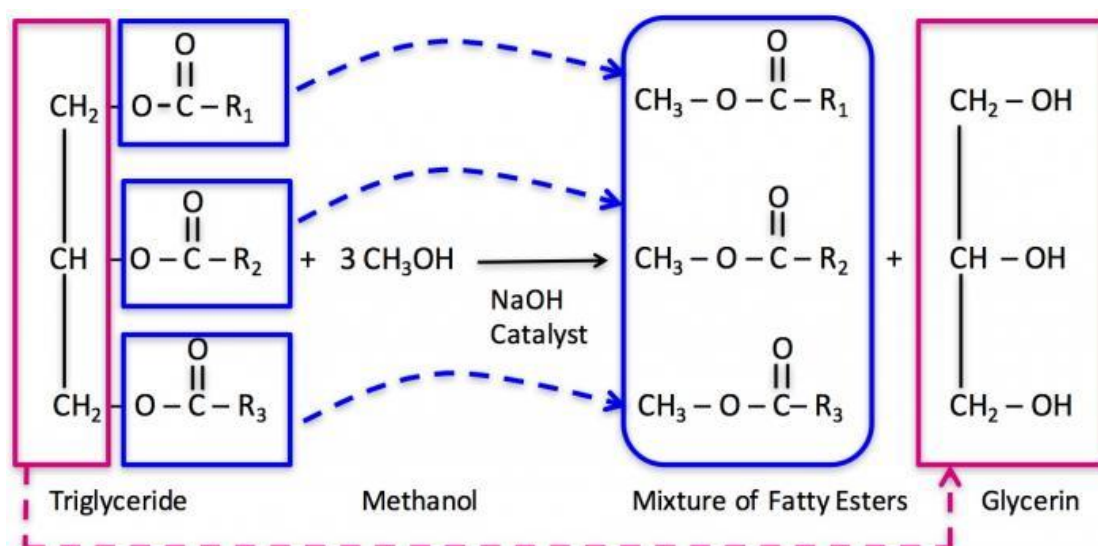
2.2.7 สาหร่าย (Algae)

สถานการณ์การนำสาหร่ายมาผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยนั้นกำลังอยู่ในขั้นตอนของการวิจัยโดยผู้ที่ทำการวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจาก ปตท. ซึ่งร่วมมือกันกับมหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ BIOTEC คาดว่าในปี 2552 จะพัฒนาถึงขั้นผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล

2.3 การผลิตไบโอดีเซล

2.3.1 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

การผลิตไบโอดีเซลคือ การเข้าไปเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันจากพืชที่มีขนาดใหญ่ให้เล็กลงจนสามารถนำมาใช้ได้ตามที่ต้องการ โครงสร้างโมเลกุลเดิมของน้ำมันจากพืชนั้นจะมีลักษณะเป็นสายยาวๆ 3 สายมาต่อเข้าด้วยกัน การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันจากพืชทำได้โดยการตัดโครงสร้างโมเลกุลที่ต่อกันทั้ง 3 สายออกให้แปรสภาพเป็นโครงสร้างโมเลกุล 3 เส้นแยกอิสระต่อกัน (ดังรูปที่ 2.1) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้โซดาไฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือการใช้เอนไซม์หมักน้ำมันพืชรวมทั้งการใช้ความร้อนเข้าไปแตกโมเลกุลของน้ำมันจากพืช



รูปที่ 2.1 หลักการผลิตไบโอดีเซล

กระบวนการผลิตไบโอดีเซล หรือการสังเคราะห์สารเอสเทอร์จากน้ำมันจากพืช หรือไขมันสัตว์ ทำได้ 3 วิธีคือ

1) ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) การทำปฏิกริยาของ น้ำมันจากพืชกับแอลกอฮอล์ โดยใช้ด่างหรือกรดเป็นสารเร่งปฏิกริยา

2) Super Critical การทำปฏิกริยาของน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิและความดันสูงโดยไม่ต้องใช้สารเร่งปฏิกริยา

3) ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) ปฏิกริยาการเปลี่ยนน้ำมันจากพืช หรือไขมันสัตว์ให้เป็นกรดไขมันและให้กรดไขมันทำปฏิกริยาต่อกับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดเป็นสารเร่งปฏิกริยาเกิดเป็นเอสเทอร์

วิธีที่ได้รับความนิยมในประเทศไทยคือ กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลโดยวิธีทำปฏิกริยากับแอลกอฮอล์โดยตรงโดยใช้โซดาไฟเป็นตัวเร่งปฏิกริยา โดยผลที่ได้จากการทำปฏิกริยาในกระบวนการผลิต จะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปของเอทิล เอสเตอร์ (Ethyl esters) หรือเมทิลเอสเตอร์ (Methyl esters) ขึ้นอยู่กับใช้แอลกอฮอล์ชนิดใดเป็นตัวเข้าไปทำปฏิกริยา โดยผลที่ได้ออกมาจะอยู่ในรูปน้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและกลีเซอรินซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการทำปฏิกริยา

ข้อควรระวังในการผลิต การผสมเมทานอลกับด่างก่อนที่จะใส่ลงไปทำปฏิกริยากับไขมันต้องระมัดระวังการสัมผัสอย่างดี เนื่องจากสารตัวกลางที่ได้มีความว่องไวในการเกิดปฏิกริยามากนอกจากสารตัวกลางที่ต้องระวังแล้วเมทานอลและด่างเองก็มีอันตรายในตัวเองด้วยเช่นกัน

ข้อควรระวังอีกประการหนึ่ง ได้แก่ เมทานอลที่เหลือจากปฏิกริยาที่แยกออกจากไบโอดีเซลภายหลังด้วยการระเหย พบว่าในการผลิตทั่วไปมักจะปล่อยเมทานอลทิ้งไปในบรรยากาศ ถ้าเป็นการผลิตปริมาณน้อยๆ ในสถานที่อากาศถ่ายเทสะดวกก็อาจไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ แต่หากเป็นการผลิตปริมาณมาก เมทานอลที่ปล่อยทิ้งจะมากตามไปด้วย จึงไม่ควรปล่อยทิ้งไปเฉยๆ แต่ควรเก็บเมทานอล กลับมาใช้ใหม่เพราะเมทานอลเองเป็นสารที่ไวไฟสูง เป็นพิษต่อร่างกาย หากสูดดมหรือสัมผัสโดนผิวหนังหรือกลืนกินเข้าไป นอกจากนี้ในระยะยาวยังสามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ด้วย

2.3.2 วัตถุดิบการผลิตไบโอดีเซล

การผลิตไบโอดีเซลโดยวิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน มีวัตถุดิบหลัก 3 ชนิด คือน้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์ แอลกอฮอล์ และตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.2.1 น้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์ เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งน้ำมันพืชทุกชนิดสามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน แต่น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีศักยภาพเหมาะสมเป็นวัตถุดิบมี 3 ชนิด ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน (Palm), สับปะรด (Physic nut) และน้ำมันพืชและสัตว์ใช้แล้ว (Waste cooking oils)

2.3.2.2 แอลกอฮอล์ แอลกอฮอล์ที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลมี 2 ชนิดคือ เมทานอล (Methanol) หรือ เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl Alcohol) เป็นแอลกอฮอล์ที่กินไม่ได้ผลิตจากปิโตรเลียม ถ่านหินหรือมวลก๊าซชีวภาพ ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์ระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงหรือได้จากการกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ เชื้อเพลิงที่ได้จะมีลักษณะเป็นของเหลวใสไร้กลิ่น ระเหยง่าย และทำการควบแน่นให้เป็นของเหลวแล้ว จึงนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ นิยมนำมาทำแอลกอฮอล์สำหรับล้างแผลแต่จะต่างกันตรงที่แอลกอฮอล์ล้างแผลมีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 70 แต่สำหรับแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจะต้องมีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 95 จึงจะสามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้

คําค่า แอลกอฮอล์อีกชนิดหนึ่งที่สามารถผลิตไบโอดีเซลคือเอทานอล (Ethanol) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) เป็นแอลกอฮอล์ที่กินได้ ผลิตได้จากผลผลิตทางการเกษตรซึ่งเกิดจากการหมักพืช เศษซากพืช ได้แก่ อ้อยน้ำตาล กากน้ำตาล กากอ้อย บีทรูท (หัวผักกาดหวาน) แป้งสาลีปอหลัง มันเทศ ธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวโพด ข้าว ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง เป็นต้น เพื่อเปลี่ยนแป้งจากพืชให้เป็นน้ำตาลแล้วเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์อีกครั้ง ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่ใช้ผลิตเหล้า จะต่างกันตรงที่ในเหล้ามีแอลกอฮอล์ร้อยละ 28-40 แต่แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจะต้องมีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 95 ปัจจุบันแม้ว่าประเทศไทยสามารถผลิตเอทานอลได้เองแต่ก็ยังไม่นิยมนำมาผลิตเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากราคาแพงกว่าเมทานอลและสามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์อื่นที่มีมูลค่ามากกว่า นอกจากนี้ทางเทคนิคเอทานอลยังมีข้อด้อยกว่าเมทานอลในการทำปฏิกิริยาได้ยากกว่า ใช้เวลานานกว่า และได้ผลผลิตน้อยกว่า

2.3.2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นวัตถุดิบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง เนื่องจากช่วยลดเวลาในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนการผลิต ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้จะเป็นกรดหรือด่างก็ได้ แต่ที่นิยมคือใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่างเนื่องจากทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็ว ได้ผลผลิตสูง คุณภาพดีกว่าการใช้กรด ต่างที่นำมาใช้ได้แก่ โซดาไฟ หรือมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีข้อดีที่สารที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตสามารถนำมาแปรสภาพเป็นปุ๋ย โพแทสเซียมไนเตรทได้ ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

2.3.3 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล

เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล มีกระบวนการที่นิยม 3 วิธี ได้แก่ แบบกะ, แบบต่อเนื่องด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และแบบต่อเนื่องชนิด 2 ขั้นตอน (เอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน) มีรายละเอียดดังนี้

2.3.3.1 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลแบบกะ (Batch Technology) มีข้อดีคือราคาถูก แต่มีปัญหาในเรื่องคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อาจไม่มีความสม่ำเสมอและมีกำลังการผลิตต่อครั้งไม่มากนัก

2.3.3.2 เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่องด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นกระบวนการที่มีคุณภาพในผลิตภัณฑ์อย่างสม่ำเสมอ พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่าแบบกะในอัตรากำลังการผลิตที่เท่ากันแต่การลงทุนค่อนข้างสูง

2.3.3.3 เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่องชนิด 2 ขั้นตอน เป็นการใช้กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันในช่วงแรกและใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นขั้นตอนที่สอง ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับวัตถุดิบทุกชนิดที่สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้โดยเฉพาะน้ำมันที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูง

อย่างไรก็ตามในการผลิตต้องคำนึงถึงการทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดและเกิดการสูญเสียน้อยที่สุด นอกจากนั้นแล้วยังต้องผลิตไบโอดีเซลให้มีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐานที่กำหนดด้วยเพื่อให้ต้นทุนในการผลิตต่ำสุด มีราคาที่สามารถแข่งขันได้และมีผลิตภัณฑ์ที่สามารถจำหน่ายได้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญต่อผลผลิต (yield) ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนระหว่างน้ำมันและแอลกอฮอล์ ชนิดและความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยา การผสมสารตั้งต้น และความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้น

2.4 คุณสมบัติของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นผลผลิตที่ได้จากน้ำมันจากพืชที่ผ่านกระบวนการทางเคมีให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลมีองค์ประกอบและมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ทำให้ไบโอดีเซลยังคงมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซล ซึ่งบางคุณสมบัติเป็นข้อได้เปรียบและบางคุณสมบัติเป็นข้อเสียเปรียบ เมื่อนำไบโอดีเซลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล เช่น ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการขนส่งมากกว่า เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลได้ดังนี้

- 1) ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสะอาด ไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบทำให้ไอเสียที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ไม่ก่อให้เกิดภาวะฝนกรด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบเมื่อถูกเผาไหม้แล้วกำมะถันในน้ำมันดีเซลจะเปลี่ยนรูปเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และกรดซัลฟูริก หรือกรดกำมะถัน ตามลำดับ เกิดเป็นมลพิษทางอากาศ เมื่อฝนตกจะชะล้างมลพิษเหล่านี้เกิดเป็นฝนกรดได้
- 2) น้ำมันดีเซลไม่มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล และมีองค์ประกอบของสาร Aromatic compound ถึงร้อยละ 20-40 ขณะที่ไบโอดีเซลไม่มีสารประกอบประเภท Aromatic compound แต่มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลถึงร้อยละ 10-12 ทำให้เมื่อใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงไอเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก และมีควันดำต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล
- 3) ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล จึงมีค่าการจุดระเบิดในเครื่องยนต์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล
- 4) น้ำมันดีเซลไม่มีพันธะคู่ในโครงสร้างโมเลกุล ขณะที่ไบโอดีเซลมีพันธะคู่ในน้ำมันพืชซึ่งมีปริมาณที่แตกต่างกันตามชนิดของน้ำมันพืชทำให้ไบโอดีเซลไม่เสถียรตัว เกิดออกซิเดชันได้เร็วกว่าน้ำมันดีเซล และมีระยะการเก็บรักษาหลังการผลิตสั้นกว่าน้ำมันดีเซล
- 5) ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี

ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชต่างชนิดกันจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันพืช เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุล ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันมีคุณสมบัติทั้งทางเคมีและกายภาพเป็นไปตาม

กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นเมื่อนำน้ำมันจากพืชชนิดนั้นๆ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะมีคุณสมบัติตามกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบนั้นๆ ด้วย

2.5 มาตรฐานไบโอดีเซล

สำหรับมาตรฐานของไบโอดีเซลชุมชนนั้น ในขณะนี้มีการออกมาตราฐานควบคุมไบโอดีเซลที่ผลิตออกมาแล้ว ได้แก่ มาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ASTM D6751 และมาตรฐาน ยุโรป EN14214 สำหรับประเทศไทยได้มีประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2550 เรื่อง “กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน” โดยอ้างอิงจากมาตรฐานคุณสมบัติไบโอดีเซลประเทศสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรป (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร พ.ศ. 2549

ที่	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ
1	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °ซ. กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	ไม่ต่ำกว่า 860 และไม่สูงกว่า 900	ASTM D 1298
2	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°ซ เซนติสโตกส์	ไม่ต่ำกว่า 1.9 และไม่สูงกว่า 8.0	ASTM D 445
3	จุดวาบไฟ °ซ	ไม่ต่ำกว่า 120	ASTM D 93
4	กำมะถัน ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.0015	ASTM D 2622
5	จำนวนซีเทน	ไม่ต่ำกว่า 51	ASTM D 613
6	เถ้าซิลิเกต ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.02	ASTM D 874

7	น้ำและตะกอน ร้อยละโดยปริมาตร	ไม่สูงกว่า 0.2	ASTM D 2709
8	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	ไม่สูงกว่าหมายเลข 3	ASTM D 130
9	ค่าความเป็นกรด มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม	ไม่สูงกว่า 0.8	ASTM D 664
10	กลีเซอรินอิสระ ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.02	ASTM D 6584
11	กลีเซอรินทั้งหมด ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 1.5	ASTM D 6584
12	สี	ม่วง 2	ตรวจพินิจด้วยสายตา
13	สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน	

ที่มา : กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน

2.6 ข้อดีข้อเสียของไบโอดีเซลแต่ละประเภทเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

ไบโอดีเซลแต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไปเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลปกติ ซึ่งมีรายละเอียดแบ่งตามประเภทไบโอดีเซลดังนี้

2.6.1 น้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์

มีปัญหาค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับไบโอดีเซลชนิดอื่น เนื่องจากคุณสมบัติที่ต่างจากน้ำมันดีเซลมากจึงทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการสันดาปของเครื่องยนต์ที่ไม่สมบูรณ์ เครื่องยนต์สะดุดมีผล ต่อลูกสูบและวาล์ว มีตะกันขาวตกค้างอยู่ในถังน้ำมันและน้ำมันที่ได้มักมีความหนืดสูงในอุณหภูมิต่ำทำให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดยากหรือสตาร์ทไม่ติดในสภาพอากาศที่เย็น แต่ไบโอดีเซลน้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์ก็มีข้อดีที่ราคาถูกเหมาะสมกับเครื่องยนต์รอบต่ำ

2.6.2 ไบโอดีเซลลูกผสม

เกิดจากการผสมระหว่างน้ำมันจากพืชและไขมันสัตว์กับน้ำมันดีเซล หรือน้ำมันชนิดใดก็ได้ทำให้ลดปัญหาเรื่องความหนืดของน้ำมันลงแต่พบปัญหาบ้างในสภาพอากาศเย็นที่

เครื่องยนต์สตาร์ทติดยากรวมทั้งปัญหาการจุดตันของเครื่องยนต์ เนื่องจากไส้กรองจะอุดตันเร็วกว่าปกติสำหรับปัญหาอื่นๆ มีไม่มากนัก คุณสมบัติของไบโอดีเซลถูกผสมส่วนมากไม่แตกต่างจากน้ำมันดีเซล ไม่พบปัญหาเครื่องยนต์สะดุดหรือเครื่องเดินไม่เรียบจึงเหมาะสำหรับเครื่องยนต์รอบต่ำหรือเครื่องจักรกลการเกษตร

2.6.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

มีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซลมากที่สุดและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นสากล ข้อดีอันดับแรกของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ก็คือค่าซีเทน (Cetane หมายถึง ดัชนีการจุดติดไฟ) สูงกว่าน้ำมันดีเซลทำให้จุดติดไฟได้ยากกว่าน้ำมันดีเซล การจุดระเบิดทำซ้ำกว่าแต่การสันดาปสมบูรณ์กว่าคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์จึงน้อย รวมทั้งไม่มีควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์อย่างไรก็ตามการผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์จะมีต้นทุนการผลิตที่สูงและราคาแพง นอกจากนี้ยังให้กำลังต่ำกว่าน้ำมันดีเซลแต่ใช้กับเครื่องยนต์รอบสูงอย่างรถยนต์ได้

2.7 คุณภาพของไบโอดีเซลที่มีผลต่อเครื่องยนต์

2.7.1 ปริมาณเมทิลเอสเทอร์

ปริมาณเมทิลเอสเทอร์แสดงถึงความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลและการเกิดปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลที่สมบูรณ์ มาตรฐานกำหนดให้มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก เมื่อปริมาณเอสเทอร์น้อยกว่าที่กำหนด ชีบอกถึงยังมีโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ หรือไตรกลีเซอไรด์ อยู่ใน ไบโอดีเซลในปริมาณสูงกว่าที่กำหนด ส่งผลให้ความหนืดของไบโอดีเซลมีค่าสูงและเกี่ยวเนื่องกับการจุดตันในหัวฉีดหรือกระบอกสูบของเครื่องยนต์

2.7.2 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบหัวฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ค่าความหนาแน่นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของพลังงานเชื้อเพลิง เมื่อค่าความหนาแน่นมีค่ามากก็จะให้พลังงานความร้อนมากขึ้นตามไปด้วยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณเดียวกัน ความหนาแน่นของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณเมทานอลที่ตกค้างในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้ความหนาแน่นมีค่าต่ำอีกด้วย

2.7.3 ความหนืด

ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความหนืดเกี่ยวข้องกับ การฉีดเป็นฝอยของหัวฉีดในห้องเผาไหม้ การฉีดเป็นฝอยขนาดเล็กจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ความหนืดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบ ความหนืดยังเป็นดัชนีแสดง การเสื่อมสภาพของไบโอดีเซลเนื่องจากการปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกทางหนึ่ง

2.7.4 จุดวาบไฟ

จุดวาบไฟเป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดเมื่อเปลวไฟผ่านเหนือไอของน้ำมันแล้วทำให้น้ำมันติดไฟ มาตรฐานกำหนดให้มีค่าจุดวาบไฟมากกว่า 120 องศาเซลเซียส ปริมาณเมทานอลที่หลงเหลือในไบโอดีเซลทำให้จุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานได้ จุดวาบไฟมีผลต่อการขนส่ง เคลื่อนย้ายและการจัดเก็บปริมาณเมทานอลที่ยังคงเหลืออยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณมากกว่า 0.2 % ส่งผลให้จุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส

2.7.5 กำมะถัน

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณกำมะถันต่ำเนื่องจากน้ำมันพืชดิบที่ใช้ในการผลิตมักมีองค์ประกอบของกำมะถันต่ำกว่า 15 ส่วนในล้านส่วน องค์ประกอบกำมะถันในน้ำมัน เมื่อถูกเผาไหม้จะเปลี่ยนเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งถูกปล่อยออกมาพร้อมไอเสียจากเครื่องยนต์และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.7.6 กากถ่าน

กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) ปริมาณกากถ่านมีความสัมพันธ์กับปริมาณกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ สบู่ ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ยังหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล หากมีปริมาณกากถ่านสูงกว่าข้อกำหนด ชีบอกถึงยังคงมีสารต่างๆ ที่กล่าวข้างต้นหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล นอกจากนั้นยังแสดงถึงแนวโน้มของปริมาณกากถ่านที่เหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ กากถ่านมีผลต่อการอุดตันในหัวฉีดหรือที่ลูกสูบทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง เครื่องยนต์สกปรกและต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องบ่อยครั้ง

2.7.7 เถ้าซัลเฟต

เถ้าซัลเฟตเกิดจากการเผาไหม้ของสารปนเปื้อนในไบโอดีเซล เนื่องมาจากการตกค้างของสบู่ และตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณเถ้าซัลเฟตมีผลต่อการอุดตันในเครื่องยนต์

2.7.8 น้ำ

ปริมาณน้ำในน้ำมันทำให้การเผาไหม้ไม่ดี นอกจากนั้นน้ำในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกระหว่างน้ำกับเอสเทอร์เกิดเป็นกรดไขมันอิสระซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์และเป็นตัวเร่งให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ □ ในถังเก็บน้ำมันซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หัวฉีดอุดตัน

2.7.9 สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด

สารปนเปื้อนในน้ำมันไบโอดีเซลส่วนใหญ่เป็นผลมาจากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันและปฏิกิริยาข้างเคียง เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ของกรดไขมันอิสระและตัวเร่งปฏิกิริยาเบส ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารที่ไม่ระเหยได้ ได้แก่ ไขมันที่ไม่อยู่ในรูปของกลีเซอไรด์, กรดไขมันอิสระ, fatty alcohol, สารประกอบไฮโดรคาร์บอน, แอลกอฮอล์อย่างแข็ง, triterpene alcohol, สารประกอบ แคโรทีน วิตามิน และอื่นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุดิบน้ำมันพืชเริ่มต้น โดยทั่วไปสิ่งปนเปื้อนทั้งหมดจะถูกกำจัดออกจากไบโอดีเซลในขั้นตอนการล้างน้ำ สิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลมีผลเสียต่อเครื่องยนต์หลายด้าน เช่น คุณสมบัติด้านความเสถียรของไบโอดีเซลระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากสารประกอบของสารที่ไม่ระเหยเปลี่ยนแปลงสภาพกลายเป็นสารที่มีผลในการลดคุณสมบัติด้านความเสถียรของไบโอดีเซล

2.7.10 การกักกรองแผ่นทองแดง

การกักกรองแผ่นทองแดงแสดงการกักกรองของน้ำมันต่อโลหะที่ใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ดีเซลเนื่องจากปริมาณกรด เช่น กรดไขมันอิสระและสารประกอบซัลเฟอรัลในน้ำมันซึ่งค่าการกักกรองนี้มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์

2.7.11 ค่าของกรด

ค่าของกรดแสดงความเป็นกรดในน้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลมาจากปริมาณกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมันพืชและปริมาณกรดที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีผลต่อการกักกรองในเครื่องยนต์ทำให้อายุการใช้งานของปั๊มและไส้กรองน้ำมันลดลง นอกจากนี้ยังแสดงถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมัน เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกจากปริมาณน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันและผลของสภาวะในการจัดเก็บ

2.7.12 กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์

กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์แสดงถึงพันธะคู่หรือความไม่อิ่มตัวของไบโอดีเซลซึ่งมีแนวโน้มทำให้เกิดพอลิเมอร์ในเครื่องยนต์ทำให้เกิดการอุดตันและการเสื่อมสภาพของ

น้ำมันเครื่องปริมาณกรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่เลือกมาใช้เป็นวัตถุดิบ

2.7.13 เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากการเกิดสารประเภทเพอร์ออกไซด์ (peroxide linkage) ขึ้นระหว่างพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในโครงสร้างของไบโอดีเซล ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดเมื่อน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศโดยที่ความร้อนและแสงแดดมีผลช่วยเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่โลหะเช่นทองแดงและตะกั่ว ก็เป็นตัวเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ผลของปฏิกิริยาทำให้เกิดสารพอลิเมอร์และเกิดของแข็งที่ไม่ละลายในไบโอดีเซล เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากจะขึ้นกับประเภทและคุณสมบัติของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบแล้วยังขึ้นกับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลอีกด้วย โดยกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อนสูงแก่ไบโอดีเซลเป็นระยะเวลานานอาจส่งผลให้เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้มีค่าสูงกว่า 6 ชั่วโมง ที่ 110 องศาเซลเซียส

2.7.14 ค่าไอโอดีน

ค่าไอโอดีนแสดงพันธะคู่ในน้ำมันซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ค่าไอโอดีนต่ำแสดงถึงการมีสัดส่วนกรดไขมันอิ่มตัวในโครงสร้างไบโอดีเซลสูงทำให้ไม่มีแนวโน้มในการเกิดออกซิเดชัน นอกจากนี้ค่าไอโอดีนยังมีความสัมพันธ์กับจุดขุ่นซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มเกิดไขหรือจับตัวเป็นก้อนแข็ง ไบโอดีเซลที่มีค่าไอโอดีนต่ำจะมีจุดขุ่นสูงซึ่งมีผลต่อการใช้งานสภาพอากาศเย็น ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมีค่าไอโอดีน 50-55 ประกาศกรมธุรกิจพลังงานกำหนดให้ค่าไอโอดีนไม่สูงกว่า 120 กรัมไอโอดีน/100 กรัม

2.7.15 เมทานอล

เมทานอลเป็นสารตั้งต้นที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออกให้หมด ก่อนนำไบโอดีเซลออกจำหน่ายจึงต้องมีปริมาณต่ำในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล จุดวาบไฟขั้นต่ำของไบโอดีเซลคือ 130 องศาเซลเซียส เมทานอลมีค่าจุดวาบไฟต่ำถ้ายังมีเมทานอลปะปนอยู่ใน ไบโอดีเซลจะทำให้ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟต่ำลงด้วย ซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยในการเก็บรักษาการขนส่งและการนำมาใช้ในเครื่องยนต์ เมทานอลมีค่าความเข้มข้นมากกว่า 5% จะมีผลกระทบต่อค่าซีเทนและความหล่อลื่นของน้ำมัน

2.7.16 โมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์

โมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ แสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด กระบอกสูบและวาล์วภายในเครื่องยนต์

2.7.17 กลีเซอรินอิสระ

ปริมาณกลีเซอรินที่ยังเหลืออยู่ในไบโอดีเซล เนื่องมาจากการแยกกลีเซอรินไม่สมบูรณ์ทำให้มีปัญหาการแยกชั้นของกลีเซอรินในการจัดเก็บไบโอดีเซลรวมถึงการสะสมที่บริเวณด้านล่างของถังน้ำมัน กลีเซอรินมีผลต่อการอุดตันที่หัวฉีดและระบบลำเลียงน้ำมัน

2.7.18 กลีเซอรินทั้งหมด

กลีเซอรินทั้งหมดคือปริมาณของกลีเซอรินอิสระและปริมาณกลีเซอรินในโมเลกุลโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ที่เจือปนในองค์ประกอบไบโอดีเซลซึ่งเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันไม่สมบูรณ์มีผลก่อให้เกิดการอุดตันที่บริเวณหัวฉีดและไส้กรองและมีปัญหาการใช้งานในสภาพอากาศอากาศเย็น

2.7.19 โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม), โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียม และแมกนีเซียม)

โลหะกลุ่ม 1, โลหะกลุ่ม 2 เป็นการวัดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบส สบู่ และโลหะหนักจากน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลที่หลงเหลือในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล แคลเซียมยังมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีสำหรับกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของเอสเตอร์อีกด้วย ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานกำหนดให้ปริมาณโลหะกลุ่ม 1 และโลหะกลุ่ม 2 ไม่สูงกว่าอย่างละ 5.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

2.7.20 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นสารที่ปนเปื้อนอยู่ในวัตถุดิบน้ำมันพืชตั้งแต่เริ่มต้นหากไม่ทำการกำจัดออกจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีฟอสฟอรัสปะปนอยู่ด้วย ซึ่งจะทำให้ความเสียหายให้กับอุปกรณ์คะตะไลติกคอนเวอร์เตอร์ (Catalytic converter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการแพร่มลพิษ จากการที่มาตรฐานของการแพร่มลพิษเป็นกฎข้อบังคับมากขึ้น อุปกรณ์ catalytic converter จึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล

2.8 กากกาแฟ

จากการวิเคราะห์สารสำคัญที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในกากกาแฟ พบว่าประกอบไปด้วยสารสำคัญหลายกลุ่ม เช่น โพลีแซคคาไรด์ กรดไขมัน โปรตีน คาเฟอีน สารประกอบฟีนอล และแร่ธาตุต่างๆ โดยสารเหล่านี้อาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของกาแฟ แหล่งปลูก ขั้นตอนการผลิต และวิธีการสกัด เป็นต้น โดยสารสำคัญที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในกากกาแฟ ได้แก่

2.8.1 โพลีแซคคาไรด์

โพลีแซคคาไรด์เป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งในโมเลกุลประกอบด้วยมอนิแซ็ก คาไรด์ที่เป็นชนิดเดียวกัน เช่น เซลลูโลส หรือต่างชนิดกัน หรือ เฮมิเซลลูโลส เช่น กาแล็กโทแมนแนน และอะราบินอกาแล็กแทน เป็นต้น โดยในกากกาแฟประกอบไปด้วยโพลีแซคคาไรด์ ทั้ง 2 ประเภท ประมาณร้อยละ 50 ต่อน้ำหนักแห้งกากกาแฟ ซึ่งจะพบกาแล็กโทแมนแนนมากที่สุด การสกัดโพลีแซคคาไรด์จากกากกาแฟจะใช้วิธีการไฮโดรไลซิสด้วยกรด ตัวอย่างเช่น การใช้กรดซัลฟูริก 72 %w/w อัตราส่วนสารละลายกรดต่อกากกาแฟ 5 mL/g อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาสกัด 7 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปเพื่อเจือจางสารละลายให้เหลือกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 N และบ่มตัวอย่างต่อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที เมื่อนำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC พบว่าในกากกาแฟประกอบไปด้วย เซลลูโลส 8.6 %w/w เฮมิเซลลูโลส 36.7 %w/w ซึ่งประกอบด้วย แมนโนส กาแล็กโทส และอะราบินอส 21.2, 13.8 และ 1.7%w/w ตามลำดับ หรือการไฮโดรไลต์ด้วยด่าง (4 M NaOH) โดยการนำกากกาแฟมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 160-220 องศาเซลเซียส และนำไปสกัดทันที ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ซึ่งการให้ความร้อนกากกาแฟก่อนการสกัดนี้จะช่วยให้ได้ร้อยละของโพลีแซคคาไรด์เพิ่มขึ้นจากเดิมถึงร้อยละ 15 ในปัจจุบันเทคนิคการสกัดได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ โดยมีการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วย เช่น การใช้เทคนิคการสกัดด้วยไมโครเวฟ โดยมีน้ำและอุณหภูมิเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดแทน การใช้สารละลายกรดและด่าง พบว่าได้ร้อยละผลผลิตของกาแล็กโทสและแมนโนสสูงถึง 74 และ 66 %w/w ตามลำดับ และเมื่อสกัดอย่างต่อเนื่องพบว่าได้ปริมาณเซลลูโลสมากถึง 84 % เป็นต้น

2.8.2 โปรตีน

ในกากกาแฟจะมีปริมาณโปรตีนโดยเฉลี่ยที่ 13.6 %w/w จากการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl ซึ่งเป็นวิธีคำนวณจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดพบว่าในกากกาแฟยังมีโปรตีนเหลืออยู่ร้อยละ 13.6 ต่อน้ำหนักกากกาแฟแห้ง ทั้งนี้ค่าที่ได้อาจมากกว่าความเป็นจริงเล็กน้อยจากปริมาณไนโตรเจนที่มาจากส่วนของคาเฟอีน, ไตรโกเนลลีน (trigonelline), เอ

มีอิสระ (free amine) และกรดอะมิโน นอกจากโปรตีนแล้วในกากกาแฟยังมีกรดอะมิโนอีกหลายชนิด จากรายงานพบมากถึง 17 ชนิด โดยที่ลิวซีน (leucine) วาลีน (valine) และฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) จะพบปริมาณมากที่สุด ค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ 10.6-10.9, 6.06.8 และ 0.5-6.7 (% protein) ตามลำดับ ซึ่งบางชนิดยังพบมากกว่าในถั่วเหลือง เป็นต้น

2.8.3 ไขมัน

ปริมาณน้ำมันที่มีในกากกาแฟจะอยู่ในช่วง 11-20 %w/w โดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 15 % w/w การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟเริ่มต้นด้วยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เฮกเซน อีเทอร์ ไดคลอโรมีเทน โดยวิธีการรีฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในอัตราส่วน กากกาแฟ : ตัวทำละลาย 100 g : 300 mL พบว่าร้อยละของน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซน อีเทอร์ และไดคลอโรมีเทน เท่ากับ 13.4 14.6 และ 15.2 %w/w โดย pH ของน้ำมันที่ได้เท่ากับ 6.8, 4.7 และ 4.5 ตามลำดับ ดังนั้นเฮกเซนจึงเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่า pH ของน้ำมันที่สกัดได้เป็นกลางเหมาะกับการนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ มากที่สุด การสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์อาจส่งผลกระทบต่อทั้งคุณภาพของน้ำมันและที่สำคัญส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในปัจจุบันมีจึงการใช้ตัวทำละลายที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่นการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของไหล (fluid carbon dioxide) โดยควบคุมความดันและ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด เช่น ที่ความดัน 25 MPa อุณหภูมิ 323 K เวลา 3 ชั่วโมง ได้น้ำมันสูงสุด 15.4 %w/w และหากใช้ร่วมกันกับเอทานอลพบว่าได้ร้อยละของน้ำมันสูงสุดถึง 19 %w/w โดยที่สามารถลดเวลาในการสกัดลงได้ถึง 3 เท่า เป็นต้น

2.8.4 สารประกอบฟีนอล

สารประกอบฟีนอลเป็นสารที่พบตามธรรมชาติในพืชหลายชนิด โดยมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) ทั่วไปจะคำนวณจากน้ำหนักกรัมสมมูลของกรดแกลลิก (gallic acid) ซึ่งในกากกาแฟพบสารประกอบฟีนอล ประมาณร้อยละ 1- 4 %GAE w/w หลังจากสกัดด้วยตัวทำละลาย เช่น เอทานอล น้ำ หรือ สารละลายด่าง (1 % NaOH) และนำไปวัดปริมาณโดยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี สารประกอบฟีนอลที่พบมากที่สุดคือ กรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) ปัจจุบันจะใช้วิธีการสกัดโดยวิธีการแยกสลายด้วยน้ำ (autohydrolysis) โดยใช้น้ำเป็นตัวสกัดในอัตราส่วน 15 mL/g SCG อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที พบว่าได้สารประกอบฟีนอลเท่ากับ

40.36 mg GAE/g SCG และเมื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการต่างๆ พบว่ามีค่าประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระดังนี้ คือ FRAP = 69.5 mg Fe(II)/g SCG, DPPH = 28.15 mg TE/g SCG, ABTS = 31.46 mg TE/g SCG และ TAA = 66.21 mg α -TOC/g SCG

2.8.5 คาเฟอีน

คาเฟอีนจัดเป็นสารที่สำคัญและเป็นเอกลักษณ์ของกาแฟ โดยในกากกาแฟจะพบปริมาณคาเฟอีนเหลืออยู่ในช่วง 0.7341.3 ug/mg SCG extracts สามารถสกัดได้ด้วยตัวทำละลาย เช่น เฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เอทานอล โดยเทคนิค ultrasound และ soxhlet ปัจจุบันมีการใช้เทคนิคขั้นสูงในการสกัดหรือสกัดเช่นเดียวกันกับน้ำมันคือการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของไหลที่ความดัน 300 bar อุณหภูมิ 58.5 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ปริมาณคาเฟอีน 41.3 ug/mg SCG extracts มากกว่าการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ดังนั้นในอุตสาหกรรมผลิตกาแฟจึงนิยมใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของไหลในกระบวนการ decaffeinate ในการผลิตกาแฟที่ปราศจากคาเฟอีน เป็นต้น

2.8.6 แร่ธาตุ

ในกากกาแฟประกอบไปด้วยแร่ธาตุหลายชนิด จากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค ICP-AES พบว่ากากกาแฟประกอบไปด้วย ธาตุ K, P, Mg, Ca, Al, Fe, Mn, Cu, Zn, S, Cr โดยที่ K จะพบมากที่สุด 3549.0 mg/kg SCG นอกจากนี้ในกากกาแฟยังมีปริมาณเถ้าโดยเฉลี่ยประมาณ 0.4-1.6 % การที่ปริมาณเถ้ามีน้อยนั้นก็หมายความว่าในกากกาแฟนั้นอุดมไปด้วยคาร์บอน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในประโยชน์ในด้านพลังงานและการเกษตร เป็นต้น

2.9 การใช้ประโยชน์จากกากกาแฟ

ในระยะเริ่มต้นกากกาแฟที่เหลือทิ้งจะถูกนำมาใช้เพื่อเป็นปุ๋ยให้กับต้นไม้ แต่ในปัจจุบันด้วยปริมาณที่เพิ่มขึ้นประกอบกับการศึกษาวิจัยที่พบว่า การใช้กากกาแฟเพื่อเป็นปุ๋ยลงไปในดินโดยตรงนั้นส่งผลต่ออัตราการงอกและการเจริญเติบโตของพืช ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลของคาเฟอีนที่เหลืออยู่ในกากกาแฟนั้น ดังนั้นในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากกากกาแฟจึงเน้นไปที่การสกัดสารสำคัญดังที่ได้กล่าวข้างต้นไปใช้ประโยชน์หรือการปรับสภาพเพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีและทางกายภาพของกากกาแฟก่อนนำไปใช้ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ด้านหลักๆ คือ ด้านอาหารและสุขภาพ ด้านพลังงาน และด้านเกษตร สิ่งแวดล้อม

2.9.1 ด้านอาหารและสุขภาพ

หัวใจสำคัญของการผลิตอาหารนอกจากความสะอาดและรสชาติเป็นที่ชื่นชอบแล้ว คุณค่าทางโภชนาการก็สำคัญไม่น้อย ดังนั้นในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารปัจจุบัน โดยเฉพาะอาหารแข็งเช่น ขนมปัง (biscuit) ก็ได้เล็งเห็นประโยชน์จากกากกาแฟ จึงได้มีการศึกษาการใช้กากกาแฟเป็นส่วนผสมในขนมปังอัตราส่วน 4 %w/w พบว่าขนมปังที่ได้ยังคงลักษณะและรสชาติเป็นปกติ แต่สามารถเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการได้จากสารต้านอนุมูลอิสระ ใยอาหาร โปรตีน และกรดอะมิโนที่มีอยู่ในกากกาแฟได้ สารโพลีแซคคาไรด์ที่มีมากในกากกาแฟก็เช่นเดียวกัน โดยเฉพาะกาแล็กโทแมนแนน ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถกระจายตัวในน้ำเย็นได้ทำให้สารละลายมีความข้นหนืด และเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารเพิ่มความคงตัวและสารยึดติดในผลิตภัณฑ์อาหาร ยา และสิ่งทอ เป็นต้น ในกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง อาทิ เช่น สบู่ สครับ ก็มีการนำกากกาแฟไปเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เพื่อช่วยสลายไขมันทำให้ผิวกระชับขึ้นจากสารคาเฟอีนที่มีในกากกาแฟเป็นต้น

2.9.2 ด้านพลังงาน

น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟจะถูกนำไปใช้ประโยชน์โดยการเปลี่ยนให้เป็นไบโอดีเซล และนำไปเป็นส่วนผสมในน้ำมันดีเซล B5 หรือ B20 ไบโอดีเซลคือน้ำมันที่ได้จากการนำน้ำมันจากพืชหรือสัตว์มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเรียกว่าปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification reaction) เช่น ใช้เมทานอล 40%v/v และ KOH 1.5%w/w เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมันจากกากกาแฟสามารถเปลี่ยนไปเป็นไบโอดีเซลได้ 100 % และน้ำมันมีคุณภาพผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM อีกทั้งเมื่อจัดเก็บน้ำมันไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 เดือน น้ำมันยังคงคุณภาพดังเดิม ทั้งนี้ เนื่องจากในน้ำมันจากกากกาแฟมีสารต้านอนุมูลอิสระอยู่มากจึงช่วยป้องกันและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ การผลิตไบโอดีเซลนั้นอาจมีวิธีการและขั้นตอนที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA) ที่มีอยู่ในน้ำมันกาแฟ หากมี %FFA สูงจะใช้กระบวนการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะใช้กรดเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

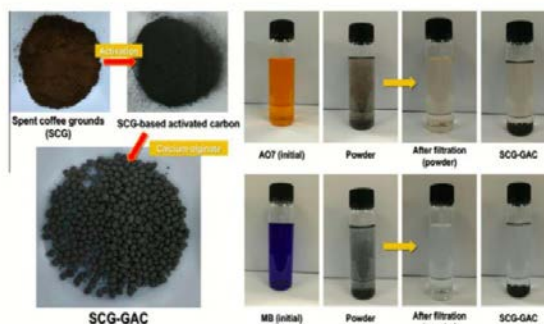
ต่อไป และกากกาแฟที่เหลือจากการสกัดน้ำมันแล้วยังสามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์เป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ซึ่งให้ค่าพลังงานอยู่ในช่วง 20-37 MJ/kg ใกล้เคียงกับค่าพลังงานที่ได้จากปิโตรเลียม (41-48 MJ/kg)

2.9.3 ด้านการเกษตรและสิ่งแวดล้อม

กากกาแฟจัดเป็นวัสดุชีวมวลเมื่อนำไปให้ความร้อนในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนหรือเรียกว่า กระบวนการแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) จะได้ผลผลิตเป็นไบโอชาร์ (biochar) ซึ่งหมายถึงวัสดุที่อุดมไปด้วยคาร์บอน ในกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนนั้นมีสองแบบหลักๆ คือการแยกสลายแบบช้า โดยใช้อุณหภูมิในช่วง 400-600 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มความร้อนขึ้น 0.1-1 องศาเซลเซียส /วินาที และการแยกสลายแบบเร็ว ความร้อนจะเพิ่มขึ้นในอัตรา 10-200 องศาเซลเซียส /วินาที ซึ่งการแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้าจะให้ร้อยละผลผลิตของไบโอชาร์มากกว่าการแยกสลายแบบเร็ว นอกจากไบโอชาร์แล้วยังได้ผลผลิตร่วมอีกหนึ่งชนิดคือ น้ำมัน (biooil) เช่น เมื่อนำกากกาแฟจำนวน 100 กรัม ไปแยกสลายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส /วินาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ปริมาณของไบโอชาร์เท่ากับ 28 %w/w และได้น้ำมันร้อยละ 27.2 %w/w เป็นต้น ไบโอชาร์จะถูกนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงดินซึ่งพบว่าเมื่อทดลองปลูกหญ้า (Sorghum-Sudan grass) ในดินที่มีการผสมไบโอชาร์ในอัตราส่วนร้อยละ 2 ร่วมกับการให้น้ำแอมโมเนียมไนเตรตเช่นเดียวกันกับชุดควบคุมพบว่าหญ้ามมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าด้วยคุณสมบัติความเป็นรูพรุนของไบโอชาร์สามารถช่วยเก็บกักความชื้นและแร่ธาตุต่างๆ ไว้เพื่อให้พืชได้ใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ในไบโอชาร์นั้นยังมีธาตุต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่อีกด้วย อาทิ เช่น N, S, P, K, Ca, Mg เป็นต้น

เมื่อนำไบโอชาร์ที่ได้มาแช่ในสารละลายต่าง KOH ในอัตราส่วน 5:1 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำกลับไปให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส /วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างด้วย 0.1 M HCl จนกระทั่งเป็นกลาง (pH 6.57) และนำไปอบให้แห้งจะได้เป็นถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งเมื่อนำไปผสมกับแคลเซียมแอลจีเนต (calcium alginate) จะได้เป็นเม็ดถ่านกัมมันต์ (spent coffee grounds into calcium-alginate beads, SCG-GAC) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 สามารถใช้เป็นวัสดุดูดซับได้ ซึ่งเมื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับโดยการกำจัด acid orange 7 และ methylene

blue พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับอยู่ที่ 665.9 และ 986.8 mg/g ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นต้น



รูปที่ 2.2 ลักษณะของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟและประสิทธิภาพการดูดซับ acid orange 7 และ methylene blue

ที่มา : Jung et al., 2016

นอกจากนี้กากกาแฟยังสามารถนำมาใช้โดยที่ไม่ต้องปรับสภาพหรือเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีก่อน เพียงแค่นำมาอบให้แห้งเพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนซีลี้อยู่ในการเป็นวัสดุเพาะเห็ดนางรมฮังการี พบว่าที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 50 %w/w มีการเดินของเส้นใยเชื้อเห็ดใกล้เคียงกับการใช้ซีลี้อยู่ร้อยละ 90 แต่เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตเห็ดแล้ว วัสดุเพาะที่มีส่วนผสมของกากกาแฟให้ประสิทธิภาพการผลิตดีกว่า ทั้งนี้เนื่องจากในกากกาแฟนั้นมีสารอาหารโดยเฉพาะโปรตีน คาเฟอีน มากกว่าในซีลี้อยู่ ซึ่งเมื่อถูกย่อยสลายจะได้ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารให้เชื้อเห็ดนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ดังนั้นจากที่ได้กล่าวถึงการใช้อย่างไรจากกากกาแฟข้างต้น สามารถสรุปเป็นแผนภาพการใช้ประโยชน์ได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงการใช้ประโยชน์จากกากกาแฟ

ที่มา : Vardon et al., 2013

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เจริญพร ถาวรประเสริฐ, ธนัชชา สุวรรณวิภากร, พิชัย เอี้ยวเล็ก และกฤษฎ สมนึก (2558) ทำการศึกษาตัวแปรอิสระของการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟโดยได้แปรค่าอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟกับตัวทำละลาย (SCG-to-solvent, 1:2-1:15 g.g⁻¹) และควบคุมเวลาสกัดที่ 30 นาที พบว่าที่เงื่อนไขอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟกับตัวทำละลาย 1:15 g.g⁻¹ สามารถสกัดน้ำมันกาแฟได้ปริมาณผลได้สูงสุดคือ 14 wt.% และได้ทดลองหาช่วงเวลาสกัดที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันกาแฟที่ช่วงเวลา 2.5-60 นาทีพบว่าที่ระยะเวลาสั้นที่สุดในกระบวนการสกัดคือ 2.5 นาที สามารถสกัดน้ำมันกาแฟได้ปริมาณผลได้ 12.3367, 13.7140 และ 13.8535 wt.% ด้วยอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟกับตัวทำละลาย 1:10, 1:15 และ 1:20 g.g⁻¹ ตามลำดับ และได้ทดลองสกัดน้ำมันกาแฟที่เวลา 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที พบว่าได้ปริมาณผลได้ของน้ำมันกาแฟของแต่ละเงื่อนไขคือ 13.2143, 14.0943 และ 14.7827 wt.% เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟกับตัวทำละลายที่ 1:10 g.g⁻¹ (ที่ เวลา 50 นาที), 1:15 g.g⁻¹ (ที่เวลา 40 นาที) และ 1:20 g.g⁻¹ (ที่เวลา 50 นาที) ตามลำดับ

โชคชัย เหมือนมาศ และรวมพร นิคม (2560) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟ และหาแหล่งวัตถุดิบอื่น ๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันปาล์มได้ โดยกากกาแฟซึ่งเป็นชีวมวลเหลือทิ้งที่มีความเป็นไปได้ในการที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเชื้อเพลิง เนื่องจากผลการทดลองเบื้องต้นในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟพบว่ากากกาแฟมีปริมาณน้ำมันและกรดไขมันอิสระประมาณ 12.2% และ 16.5% โดยน้ำหนัก

เมื่อศึกษาผลของปฏิกิริยาเอส เทอร์ฟิเคชันพบว่าสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ถึง 85% และสามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ได้ถึง 90.20% ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ดังนั้นน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟจึงมีศักยภาพในการที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล

โชคชัย เหมือนมาศ และรวมพร นิคม (2560) ทำการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการใช้น้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล พบว่าปริมาณของน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับ 12.20% โดยน้ำหนักและปริมาณของกรดไขมันอิสระจะแปรผันโดยตรงกับระยะเวลาการเก็บกากกาแฟสดก่อนการอบ โดยเมื่อเก็บกากกาแฟไว้ในตู้เย็นเป็นระยะเวลา 10 วัน จะทำให้ปริมาณ FFA เพิ่มขึ้นเป็น 16.5% ดังนั้นจึงควรทำการอบกากกาแฟทันทีเพื่อยับยั้งการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระอีกทั้งองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันที่สกัดได้ยังมีความคล้ายคลึงกับองค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม และเมื่อนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันพบว่าสามารถที่จะลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันจากกากกาแฟได้ถึง 85% และสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ถึง 90.20% ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ดังนั้นน้ำมันที่สกัดได้จากกากกาแฟจึงมีความเป็นไปได้ในการที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

พิชัย เอี้ยวเล็ก และกฤษฎ สมนึก (2558) ทำการศึกษาถึงการนำประโยชน์จากกากกาแฟเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานในรูปของเหลวและของแข็ง นักวิจัยหลายคนได้มีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากกากกาแฟเป็นพลังงานทดแทน โดยกากกาแฟแห้งมีค่าความร้อนสูงประมาณ 19.3 MJ/kg ซึ่งพลังงานชีวมวลระดับนี้สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็งได้และพบว่าในกากกาแฟมีปริมาณน้ำมันประมาณ 7-17 wt.% ดังนั้นน้ำมันกาแฟสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลว เช่น ไบโอดีเซล และผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันคือกากกาแฟให้น้ำมันสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบ ชีวมวลเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงแข็งอัดเม็ด

พิชัย เอี้ยวเล็ก (2559) ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟเหลือทิ้งด้วยวิธีการสกัดของแข็งด้วยของเหลว โดยศึกษาตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร คือ อัตราส่วนระหว่างกากกาแฟแห้งต่อตัวทำละลายและเวลาในการสกัดด้วยตัวทำละลาย 4 ประเภท โดยกระบวนการสกัดน้ำมันกาแฟเพื่อหาปริมาณผลพลอยได้ (yield) ถูกศึกษาด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (response surface methodology, RSM) โดยสมการทำนายความสัมพันธ์ที่ได้จาก RSM ถูกพิสูจน์ด้วยการทดลองจริงที่เงื่อนไขที่เหมาะสม ผลจากการทดลองพบว่าสามารถสกัด

น้ำมันจากกากกาแฟได้ปริมาณผลพลอยได้สูงสุดจากการทดลองเท่ากับ 14.68 wt.% (ด้วย hexane) 13.13 wt.% (ด้วย anhydrous ethanol) 11.80 wt.% (ด้วย hydrous ethanol) และ 7.52 wt.% (ด้วย methanol) เครื่องสกัดต้นแบบถูกทดลองด้วยวิธีแบบหมุนวน ซึ่งสามารถสกัดน้ำมันได้ประมาณ 11.83 wt.% ด้วยเงื่อนไขที่ให้ผลได้สูงสุดจากระดับห้องปฏิบัติการที่ตัวทำละลายเฮกเซน ต่อหนึ่งหน่วยมวลกากกาแฟแห้งเท่ากับ 22.5 g.g^{-1} เวลา 30.4 นาที ในการศึกษาตัวทำละลายวนซ้ำได้ถูกนำมาทดสอบสกัดน้ำมันซ้ำจากกากกาแฟแห้งชุดใหม่ สำหรับการสกัดซ้ำ 6 รอบ ด้วยตัวทำละลายวนซ้ำพบว่าประสิทธิภาพและความมีเสถียรภาพของปริมาณผลพลอยได้น้ำมันกาแฟในแต่ละรอบแตกต่างกันน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เฮกเซนบริสุทธิ์สกัด สำหรับต้นทุนแปรผันเฉลี่ยในการสกัดน้ำมันกาแฟเท่ากับ 495.46 บาทต่อกิโลกรัม และ 95% ของต้นทุนแปรผันเฉลี่ยเนื่องจากการสูญเสียเฮกเซนไปกับกากไ้้น้ำมันหลังจากการสกัด ด้วยเหตุนี้หากระบบกลั่นคืนเฮกเซนจากกากกาแฟไ้้น้ำมันถูกติดตั้งในกระบวนการสกัดนี้ต้นทุนแปรผันเฉลี่ยของน้ำมันกาแฟจะลดลงเหลือประมาณ 25.67 บาท

รุ่งทิพย์ ชัยเดช (2557) ทำการทดลองที่สภาวะต่างๆ คือ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา โซเดียมเมทอกไซด์ (0.5–1.5% โดยน้ำหนัก) เวลาในการทำปฏิกิริยา (5, 8, 12, 15 นาที) อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน (5.5:1, 6:1, 6.5:1) ปริมาณกรดไขมันอิสระ (0.5, 1.0, 1.5% โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (50, 55, 60, 65 องศาเซลเซียส) และความเร็วรอบในการกวน 900 รอบ ต่อนาที โดยจะมีการศึกษาและวิเคราะห์ผลได้ของไบโอดีเซลและร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจากการศึกษาพบว่า ค่าที่มีอิทธิพลต่อร้อยละความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมากที่สุดคือ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา รองลงมาคือ อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา ตามลำดับ ส่วนผลได้ของไบโอดีเซลนั้นค่าที่มีอิทธิพลมากที่สุดคือ ปริมาณกรดไขมันอิสระและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา รองลงมาคือ อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ตามลำดับ

Mebrahtu Haile (2557) ทำการศึกษาศักยภาพของการใช้พื้นที่ใช้สอยในการผลิตไบโอดีเซลและผลพลอยได้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดซึ่งคาดว่าจะช่วยให้กระบวนการผลิตไบโอดีเซลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการทดลองนี้ตัวอย่างกากกาแฟที่ใช้แล้วจะถูกรวบรวมจากกาแฟ Kaldis, Addis Ababa, Ethiopia จากนั้นนำมาสกัดจากน้ำมันกากกาแฟที่ใช้แล้วมาใช้เป็น

ส่วนผสมของ n-hexane, ether และส่วนผสมของ isopropanol to hexane ratio (50:50% ปริมาตร) และทำให้ได้ผลผลิตน้ำมัน 15.6, 17.5 และ 21.5%w/w ตามลำดับ กระบวนการไบโอดีเซลใช้กระบวนการสองขั้นตอนโดยมีการแปลงประมาณ 82%w/w พารามิเตอร์คุณภาพไบโอดีเซลได้รับการประเมินโดยใช้ American Standard for Testing Material (ASTM D 6751) องค์ประกอบกรดไขมันที่สำคัญพบได้โดยแก๊สโครมาโตกราฟี ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (37.6%), กรดปาล์มเมทริก (39.8%), โอเลอิก (11.7%) และกรดสเตียริก (8.6%) นอกจากนี้ขยะมูลฝอยที่เหลืออยู่หลังจากการสกัดน้ำมันและอัตราส่วนของ กลีเซอริน (ปริมาณกลีเซอรินจาก 20-40%) ได้รับการประเมินสำหรับการใช้เมดิเคิล (19.3-21.6 MJ/Kg) ดังนั้นผลลัพธ์ของงานนี้จึงสามารถนำเสนอมุมมองใหม่ๆ ในการผลิตไบโอดีเซลจากวัสดุเหลือใช้โดยไม่ต้องปลูกพืชหรือแปลงอาหารเป็นอาหาร

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์	บริษัทผู้ผลิต
เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง	METTLER TOLEDO
เครื่องให้ความร้อน (Hotplate stirrer)	HARMONY รุ่น HTS-1003
เครื่อง Rotary Evaporator	BUCHI
เตาเผา	P.P. CHEMICAL & HOLDING CO.,LTD.
ตู้อบสาร	MEMMERT
Hotplate	บริษัทยูไนเต็ดอินสทริวเมนต์ จำกัด
ชุดกลั่น	SCHOTT DURAN
Desiccator	SCHOTT DURAN
กระดาษวัด pH	MERCK KGAA

3.2 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	บริษัทผู้ผลิต
Sodium hydroxide	CARLO ERBA
Potassium hydrogen phthalate (KHP)	CARLO ERBA
Potassium hydroxide (KOH)	S. D. FINE-CHEM LIMITED
Methanol (CH_3OH)	RCI LABSCAN
Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)	RCI LABSCAN
Phenolphthalein indicator	บริษัทอินเตอร์เอดดูเคชั่น ซัพพลายส์ จำกัด
Hexane (C_6H_{14})	RCI LABSCAN

3.3 วัตถุดิบ

ในการทดลองนี้ใช้กากกาแฟที่ใช้แล้วมาทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันไบโอดีเซลด้วยวิธีอย่างง่ายโดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยมีการเก็บตัวอย่างกากกาแฟจากร้านสะดวกซื้อ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

3.4 วิธีการศึกษา

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากกากกาแฟที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งเบสนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

3.4.1 การศึกษาปริมาณความชื้นในกากกาแฟ

3.4.1.1 ชั่งตัวอย่างกากกาแฟที่ใช้แล้วให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียดประมาณ 5 กรัม ใส่ปิกรเกอร์หาความชื้นที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้วนำไปอบในตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.4.1.2 นำออกจากตู้อบไฟฟ้า หลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก

3.4.1.3 อบซ้ำอีกครั้งประมาณ 1 ชั่วโมง และทำเช่นเดิมจนได้น้ำหนักคงที่

3.4.1.4 ทำซ้ำ 3 ซ้ำ และนำไปคำนวณหาปริมาณความชื้น โดยสมการดังนี้

สูตรการคำนวณ

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{[(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100]}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

3.4.2 การศึกษาปริมาณเถ้าในกากกาแฟ

3.4.2.1 เผ่าด้วยครุฑีเบิ้ล (พร้อมฝา) ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปิดสวิทช์เตาเผาแล้วรอประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผาลดลง แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้ทั้งโถเย็นลงจนอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่าอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก

3.4.2.2 ชั่งตัวอย่างกากกาแฟที่ใช้แล้วให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียดประมาณ 5 กรัม ใส่ถ้วยครุฑีเบิ้ล (พร้อมฝา) หาเถ้าที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว

3.4.2.3 นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.4.2.4 ปิดสวิทช์เตาเผาแล้วรอประมาณ 30-45 นาที เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผาลดลง แล้วนำออกจากเตาเผาใส่ไว้ในโถดูดความชื้น

3.4.2.5 ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่าอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก

3.4.2.6 ทำซ้ำ 3 ครั้ง และนำไปคำนวณหาปริมาณเถ้า โดยสมการดังนี้

สูตรการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของเถ้า} = \frac{[(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}) \times 100]}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}}$$

3.4.3 การศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

3.4.3.1 นำกากกาแฟที่ผ่านการสกัดด้วยเครื่องชงกาแฟนำมาทำการอบเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง

3.4.3.2 ทำการสกัดน้ำมันโดยวิธีการรีฟลักซ์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยชั่งกากกาแฟแห้งหนักประมาณ 5 กรัม ใส่ในทิมเบิล พร้อมบันทึกน้ำหนักที่ได้

3.4.3.3 เติมตัวทำละลายเฮกเซน 150 มิลลิลิตร ในขวดก้นกลม (โดยชั่งน้ำหนักขวดก้นกลมก่อน)

3.4.3.4 จากนั้นนำส่วนของสารละลายที่กรองได้ไปกลั่นแยกด้วยเครื่องกลั่นแบบลดความดันเพื่อให้ได้น้ำมันจากกากกาแฟ แล้วคำนวณร้อยละผลผลิต โดยสมการดังนี้

สูตรการคำนวณ

$$\text{ร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักของกาแฟแห้ง (กรัม)}}$$

3.4.4 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับกระบวนการทดลอง

วิธีการเตรียมน้ำมันจากกากกาแฟที่ใช้แล้วเพื่อผลิตไบโอดีเซล ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 วิธีการเตรียมน้ำมันจากกากกาแฟที่ใช้แล้วเพื่อผลิตไบโอดีเซล

กระบวนการเตรียมน้ำมัน	ภาพประกอบ
1. อบกากกาแฟ ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง	
2. ชั่งกากกาแฟที่อบแล้ว 5 กรัม ลงในปิกรเกอร์ จากนั้นเติมเฮกเซน 100 มิลลิลิตร และให้ความร้อนบน Hotplate stirrer ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	
3. กรองแยกกากกาแฟออก	
4. นำส่วนที่ได้จากการกรองมาระเหยเฮกเซนออก ด้วยเครื่อง Rotary Evaporator	
5. นำน้ำมันที่ได้อบในเตาอบประมาณ 1 ชั่วโมง และเก็บในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท	

3.4.5 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, %FFA)

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระตามมาตรฐาน AOCS Ca5a-40 ทำได้โดยชั่งตัวอย่างน้ำมันให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-10 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมแอลกอฮอล์ที่มีสภาพเป็นกลาง 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง เขย่าอย่างแรงให้ตัวอย่างละลายในแอลกอฮอล์และเติม ฟีนอล์ฟทาเลอินจำนวน 2-3 หยด แล้วทำการไทเทรตสารละลายตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร จนกระทั่งได้สีชมพูถาวร คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ

3.4.5.1 การเตรียมสารเคมี

1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide : NaOH) 0.1 โมลาร์ เตรียมโดยชั่ง NaOH 4 กรัม ละลายลงในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

2) โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium hydrogen phthalate (KHP)) 0.1 โมลาร์ เตรียมโดยชั่ง KHP 2 กรัม ละลายลงในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

3.4.5.2 วิธีการวิเคราะห์

1) ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 0.5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่
2) เติมเอทานอล 50 มิลลิลิตร (เทในตู้ดูดควัน) และหยดฟีนอล์ฟทาเลอินลงไป 2-3 หยด ลงในข้อที่ 1 เขย่ารวมกัน

3) นำไปไทเทรตกับ 0.1 โมลาร์ NaOH จนถึงจุดยุติเป็นสีชมพู

4) ทำ Blank เหมือนตัวอย่าง (โดยไม่ใส่น้ำมันลงไป) นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา %FFA โดยสมการดังนี้

สูตรการคำนวณ

$$\%FFA = \frac{(A - B) \times N \times 28}{w}$$

โดยที่

A = ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำมัน (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

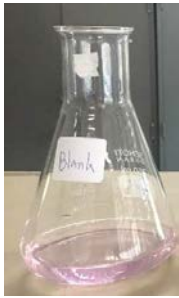
N = ความเข้มข้นของ NaOH (นอร์มอล)

28 = ร้อยละโดยน้ำหนักของกรด linoleic acid (ของน้ำมันกาแฟ)

วิธีการตรวจสอบค่ากรดไขมันอิสระ (%FFA) ด้วยวิธีไทเทรต ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 วิธีการตรวจสอบค่ากรดไขมันอิสระ (%FFA) ด้วยวิธีไทเทรต

กระบวนการตรวจสอบค่ากรดไขมันอิสระ	ภาพประกอบ
1. ชั่งน้ำมัน 0.5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่	
2. เติมนีออนอล 50 มิลลิลิตร (เทในตู้ดูดควัน) และหยดฟีนอล์ฟทาไลน์ลงไป 2-3 หยด ลงในข้อที่ 1 เขย่ารวมกัน	
3. นำไปไทเทรตกับ 0.1 โมลาร์ NaOH จนถึงจุดยุติเป็นสีชมพู	

4. ทำ Blank เหมือนตัวอย่าง (โดยไม่ใส่น้ำมันลงไป) นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา %FFA	
---	---

3.4.7 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.7.1 วิธีการศึกษาตัวแปรเวลาที่ใช้เพื่อวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม

- 1) ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
 - (1) ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 10 กรัม ลงในขวดก้นกลม จำนวน 2 ขวด
 - (2) จากนั้นละลายตัวเร่ง KOH 1%w/w (0.1 กรัม) ในเมทานอล 6 กรัมเติมลงไปในตัวอย่งน้ำมันที่เตรียมไว้ ตามลำดับ
 - (3) ใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic stir bar) แล้วปิดให้สนิทด้วยฟอยล์และพาราฟิล์มเพื่อป้องกันเมทานอลระเหย
 - (4) จากนั้นนำมาหมุนให้ความร้อนบนเครื่องให้ความร้อน (Hotplate stirrer) ที่อุณหภูมิ 60 ± 5 องศาเซลเซียส stirrer ด้วยความเร็ว 600 รอบต่อนาที
 - (5) ศึกษาระยะเวลาที่ทำปฏิกิริยา คือ 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที ตามลำดับ
- 2) ทิ้งไว้ให้แยกชั้นกลีเซอรอลในกรวยแยก จากนั้นถ่ายกลีเซอรอลสีดำที่อยู่ชั้นล่างออกไปจนหมด (ระยะเวลาในการแยกกลีเซอรอลจะใช้เวลาที่เหมาะสมไม่ควรจะน้อยกว่า 2 ชั่วโมง)
- 3) การล้างไบโอดีเซล
 - (1) ล้างด้วยน้ำร้อน และวัดค่า pH ของไบโอดีเซลด้วยกระดาษวัด pH เป็นกลาง
 - (2) วัดค่า pH ของไบโอดีเซล (ไบโอดีเซลควรมีค่าใกล้เคียง 7)
- 4) การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

ไบโอดีเซลจากการล้างอาจมีการปนเปื้อนหลงเหลืออยู่ เช่น น้ำ ตัวเร่งปฏิกิริยา แอลกอฮอล์ที่เป็นเมทานอลส่วนเกิน อีกทั้งคราบและตะกอนอื่นๆ ปะปน จึงต้องทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ที่สุด

(1) ถ่ายไบโอดีเซลออกจากกรวยแยกลงในปิ๊งเกอร์

(2) นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ มาระเหยให้ความร้อนบน Hotplate stirrer ที่อุณหภูมิสูง หรือทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ในเตาอบประมาณ 1 ชั่วโมง จนกว่าน้ำมันจะใส (ดูว่าน้ำมันเป็นเนื้อเดียวกัน)

(3) รอให้เย็น นำน้ำมันมาชั่งและจดบันทึกน้ำหนักที่ได้

(4) เก็บไบโอดีเซลที่ได้ในขวดที่ปิดสนิท

5) คำนวณหาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำมัน (%yield) และค่ากรดไขมันอิสระ (%FFA) เพื่อหาช่วงสภาวะเวลาที่ดีที่สุดและใช้เป็นตัวกำหนดในขั้นตอนการหาตัวแปรเมทานอลที่เหมาะสมต่อไป

3.4.7.2 วิธีการศึกษาตัวแปรเมทานอลเพื่อวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม

1) ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

(1) ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 10 กรัม ลงในขวดก้นกลม จำนวน 2 ขวด

(2) จากนั้นละลายตัวเร่ง KOH 1%w/w (0.1 กรัม) ในเมทานอล ปริมาตร 3, 6, 9, 12 และ 15 กรัม เติมลงไปในตัวอย่งน้ำมันที่เตรียมไว้ ตามลำดับ

(3) ใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic stir bar) แล้วปิดให้สนิท ด้วยฟอยล์และฟาราฟิล์มเพื่อป้องกันเมทานอลระเหย

(4) จากนั้นนำมาหมุนให้ความร้อนบนเครื่องให้ความร้อน (Hotplate stirrer) ที่อุณหภูมิ 60 ± 5 องศาเซลเซียส stirrer ด้วยความเร็ว 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที

2) ทิ้งไว้ให้แยกชั้นกลีเซอรอลในกรวยแยก จากนั้นถ่ายกลีเซอรอลสีดำที่อยู่ชั้นล่างออกไปจนหมด (ระยะเวลาในการแยกกลีเซอรอล จะใช้เวลาที่เหมาะสมไม่ควรจะน้อยกว่า 2 ชั่วโมง)

3) การล้างไบโอดีเซล

(1) ล้างด้วยน้ำร้อน และวัดค่า pH ของไบโอดีเซลด้วยกระดาษวัด pH เป็นกลาง

(2) วัดค่า pH ของไบโอดีเซล (ไบโอดีเซลควรมีค่าใกล้เคียง 7)

4) การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

ไบโอดีเซลจากการล้างอาจมีการปนเปื้อนหลงเหลืออยู่ เช่น น้ำ ตัวเร่งปฏิกิริยา แอลกอฮอล์ที่เป็นเมทานอลส่วนเกิน อีกทั้งคราบ และตะกอนอื่นๆ ปะปน จึงต้องทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ที่สุด

(1) ถ่ายไบโอดีเซลออกจากกรวยแยกลงในปิกลเกอร์

(2) นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ มาระเหยให้ความร้อนบน Hotplate stirrer ที่อุณหภูมิสูง หรือทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ในเตาอบประมาณ 1 ชั่วโมง จนกว่าน้ำมันจะใส (ดูว่าน้ำมันเป็นเนื้อเดียวกัน)

(3) รอให้เย็น นำน้ำมันมาชั่งและจดบันทึกน้ำหนักที่ได้

(4) เก็บไบโอดีเซลที่ได้ในขวดที่ปิดสนิท

5) คำนวณหาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำมัน (%yield) และค่ากรดไขมันอิสระ (%FFA) เพื่อหาช่วงสภาวะเวลาที่ดีที่สุด และใช้เป็นตัวกำหนดในขั้นตอนการหาสภาวะตัวเร่งที่เหมาะสมต่อไป

3.4.7.3 วิธีการศึกษาตัวแปร KOH เพื่อวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม

1) ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

(1) ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 10 กรัม ลงในขวดก้นกลม จำนวน 2 ขวด

(2) จากนั้นละลายตัวเร่ง KOH 0.25, 0.5, 1, 1.25 และ 1.5%w/w (คิดเป็นกรัมคือ 0.025, 0.05, 0.1, 0.125 และ 0.15 กรัม) ในเมทานอล 6 กรัม เติมลงไปในตัวอย่งน้ำมันที่เตรียมไว้ ตามลำดับ

(3) ใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic stir bar) แล้วปิดให้สนิท ด้วยฟอยล์และฟาราฟิล์มเพื่อป้องกันเมทานอลระเหย

(4) จากนั้นนำมาหมุนให้ความร้อนบนเครื่องให้ความร้อน (Hotplate stirrer) ที่อุณหภูมิ 60 ± 5 องศาเซลเซียส stirrer ด้วยความเร็ว 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที

2) ทิ้งไว้ให้แยกชั้นกลีเซอรอลในกรวยแยก จากนั้นถ่ายกลีเซอรอลสีดำที่อยู่ชั้นล่างออกไปจนหมด (ระยะเวลาในการแยกกลีเซอรอล จะใช้เวลาที่เหมาะสมไม่ควรจะน้อยกว่า 2 ชั่วโมง)

3) การล้างไบโอดีเซล

(1) ล้างด้วยน้ำร้อน และวัดค่า pH ของไบโอดีเซลด้วยกระดาษวัด pH เป็นกลาง

(2) วัดค่า pH ของไบโอดีเซล (ไบโอดีเซลควรมีค่าใกล้เคียง 7)

4) การทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์

ไบโอดีเซลจากการล้างอาจมีการปนเปื้อนหลงเหลืออยู่ เช่น น้ำ ตัวเร่งปฏิกิริยา แอลกอฮอล์ที่เป็นเมทานอลส่วนเกิน อีกทั้งคราบ และตะกอนอื่นๆ ปะปน จึงต้องทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ที่สุด

(1) ถ่ายไบโอดีเซลออกจากกรวยแยกลงในปีกเกอร์

(2) นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ มาระเหยให้ความร้อนบน Hotplate stirrer ที่อุณหภูมิสูง หรือทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ในเตาอบประมาณ 1 ชั่วโมง จนกว่าน้ำมันจะใส (ดูว่าน้ำมันเป็นเนื้อเดียวกัน)

(3) รอให้เย็น นำน้ำมันมาชั่งและจดบันทึกน้ำหนักที่ได้

(4) เก็บไบโอดีเซลที่ได้ในขวดที่ปิดสนิท

5) คำนวณหาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำมัน (%yield) และค่ากรดไขมันอิสระ (%FFA) เพื่อหาช่วงสภาวะตัวเร่ง KOH ที่ดีที่สุด

3.4.7.4 การคำนวณหาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำมัน (%yield)

คือ อัตราส่วนของน้ำหนักน้ำมันที่ได้ เทียบกับน้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น โดยสมการดังนี้

สูตรการคำนวณ

$$\%yield = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันที่ได้} \times 100}{\text{น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น}}$$

3.4.8 การตรวจสอบความหนาแน่นของไบโอดีเซล (Density) ด้วยกระบอกตวง

3.4.8.1 ทำความสะอาดกระบอกตวงอบให้แห้งในเตาอบ แล้วใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.4.8.2 ชั่งน้ำหนักกระบอกตวง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

3.4.8.3 เทไบโอดีเซลลงไป 5 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวง จากนั้นนำไปชั่งและจดบันทึกน้ำหนัก นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความหนาแน่น โดยสมการดังนี้

สูตรการคำนวณ

$$\text{แทนค่า ค่าความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} \quad d = \frac{m}{v}$$

เมื่อ	d (Density)	=	ความหนาแน่น
	m (Mass)	=	น้ำหนักของไบโอดีเซล (กรัม)
	v (Volume)	=	ปริมาตรขวดที่บรรจุ (กระบอกตวง) ไบโอดีเซล (กรัม)

สูตรมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm³)

หมายเหตุ : ค่า m หาได้จาก

น้ำหนักของไบโอดีเซล = น้ำหนักกระบอกตวงที่มีไบโอดีเซลบรรจุเต็มขวด – น้ำหนักกระบอกตวง

3.4.9 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของไบโอดีเซลจากน้ำมันกากกาแฟ

3.4.9.1 นำไบโอดีเซลจากน้ำมันกากกาแฟ ไปทดสอบด้วยเทคนิค FTIR ในช่วงรังสีอินฟราเรด ประมาณ 400-4000 cm⁻¹

3.4.9.2 นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของไบโอดีเซลจากน้ำมันกากกาแฟ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาปริมาณความชื้นในกากกาแฟ

การวิเคราะห์ความชื้นในกากกาแฟ โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ในตัวอย่างกากกาแฟปริมาณ 5 กรัม ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาปริมาณความชื้นในกากกาแฟ

ตัวอย่าง	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
กากกาแฟ	9.77 ± 0.10

จากตารางที่ 4.1 พบว่าปริมาณความชื้นในกากกาแฟมีปริมาณความชื้น เท่ากับ 9.77 ± 0.10 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง Spent coffee grounds for biodiesel production and other applications มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 9.4 (Ni'dia S. Caetano และคณะ, 2013)

4.2 ผลการศึกษาปริมาณเถ้าในกากกาแฟ

การวิเคราะห์เถ้าในกากกาแฟ โดยอบที่เตาเผาความร้อนที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ในตัวอย่างกากกาแฟปริมาณ 5 กรัม เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาปริมาณเถ้าในกากกาแฟ

ตัวอย่าง	เถ้า (เปอร์เซ็นต์)
กากกาแฟ	17.73 ± 0.23

จากตารางที่ 4.2 ปริมาณเถ้าในกากกาแฟในการทดลองนี้มีปริมาณเถ้า เท่ากับ 17.73 ± 0.23 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิง

อัดแท่ง พบว่ามีปริมาณได้ใน กากกาแฟ(เผา), กากชา(เผา), ฟีนไม้(ไม่เผา), ถ่านไม้(เผา) และขี้มูล(ไม่เผา) เท่ากับ 6.18, 11.48, 3.9, 5.4 และ <20 ตามลำดับ (นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล, 2558)

4.3 ผลการศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

การศึกษากการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยวิธี Soxhlet extraction โดยใช้กากกาแฟ 5 กรัม ต่อตัวทำละลายเฮกเซน 150 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

ตัวอย่าง	ร้อยละผลผลิตของน้ำมัน (%yield)
กากกาแฟ	16.39 ± 2.27

จากตารางที่ 4.3 พบว่าการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ โดยใช้สารละลายเฮกเซน ทำการสกัดด้วย Soxhlet extraction เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างกาแฟให้น้ำมันเท่ากับ 16.39 ± 2.27 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟใช้แล้วเป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับการผลิตกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ ทำการศึกษากการสกัดน้ำมันจาก DSCG จากตัวทำละลายแบบมีขั้ว (polar) และไม่มีขั้ว (non-polar) ด้วย Soxhlet extraction ใช้เวลาสกัด 30 นาที ด้วยตัวทำละลายแบบไม่มีขั้ว (pentane, hexane, toluene, chloroform) ได้ปริมาณน้ำมัน 15.18, 15.28, 14.32 และ 8.60 w/w% ตามลำดับ (Al-Hamamre และคณะ, 2012)

4.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันกาแฟที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 100% เฮกเซน เป็น เวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างน้ำมันจากการสกัดกากกาแฟ ไปทำปฏิกิริยา เอสเทอริฟิเคชัน และเตรียมตัวอย่างเพื่อฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatography (GC) รุ่น Agilent 7890 โดยใช้เทคนิค GC-FID โดยทำการวิเคราะห์สองซ้ำ ได้ผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันกาแฟ

ชนิดองค์ประกอบกรดไขมัน	ปริมาณร้อยละ (เปอร์เซ็นต์)	กรดไขมัน
C4 : 0	0	-
C6 : 0	0	-
C8 : 0	0	-
C10 : 0	0	-
C11 : 0	0	-
C12 : 0	0	-
C13 : 0	0	-
C14 : 0	0.07±0.01	กรดไมริสติก
C14 : 1	0	-
C15 : 0	0	-
C15 : 1	0	-
C16 : 0	33.75±0.15	กรดปาล์มิติก
C16 : 1	0	-
C17 : 1	0	-
C18 : 0	7.26±0.32	กรดสเตียริก
C18 : 1n9t	0	-
C18 : 1n9c	7.72±0.13	กรดโอเลอิก
C18 : 2n6t	0	-
C18 : 2n6c	44.64±0.37	กรดไลโนเลอิก
C20 : 0	3.04±0.08	กรดอะราคิติก
C18 : 3n6	0	-
C20 : 1	0.26±0.00	กรดอะราคิติก
C18 : 3n3	2.16±0.01	เอ-กรดไลโนเลอิก
C21 : 0	0.08±0.01	Heneicosanoic acid
C20 : 2	0	-

ชนิดองค์ประกอบกรดไขมัน	ปริมาณร้อยละ (เปอร์เซ็นต์)	กรดไขมัน
C22 : 0	0.66±0.03	กรดเบฮินิก
C20 : 3n6	0	-
C22 : 1n9	0	-
C20 : 3n3	0	-
C20 : 4n6	0	-
C23 : 0	0.09±0.01	Tricosanoic acid
C22 : 2	0	-
C24 : 0	0	-
C20 : 5n3	0.26±0.00	กรดไอโคซาเพนตาอีโนอิก
C24 : 1	0	-
C22 : 6n3	0	-

จากผลการทดลองพบว่า มีปริมาณกรดไมริสติก เป็นองค์ประกอบของน้ำมันกาแฟ น้อยที่สุดคือ 0.26 เมื่อเทียบกับปริมาณกรดไลโนเลอิกที่มีมากถึง 44.37 และ 44.90 ส่วนกรด ปาล์มิติกมีมากรองลงมาเท่ากับ 33.65 และ 33.86 ซึ่งกรดไลโนเลอิกเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลาย ตำแหน่ง ในกลุ่มโอเมก้า 6 (Omega 6) เป็นกรดไขมันจำเป็นที่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น

4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, %FFA)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันจากกากกาแฟ ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันจากกากกาแฟ

ตัวอย่าง	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA)
น้ำมันกาแฟ	4.15 ± 0.35

จากตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันก่อนผลิตไบโอดีเซลมีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA) เท่ากับ 4.15 ± 0.35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมี %FFA ไม่มากนัก จึงใช้เบสเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลต่อไป

4.6 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเวลาหลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

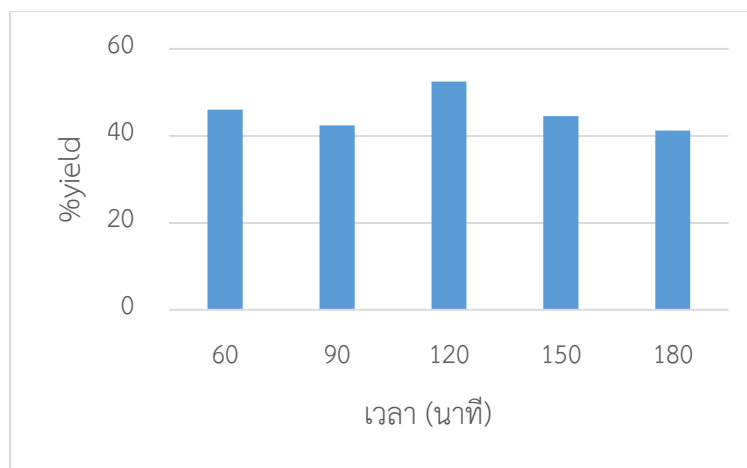
ในการวิเคราะห์ตัวแปรเวลาทั้งหมด 5 ตัวแปร คือ เวลา 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที โดยใช้เมทานอล 6 กรัม และตัวเร่งปฏิกิริยา KOH 1%w/w อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ± 5 องศาเซลเซียส หลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเวลาหลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

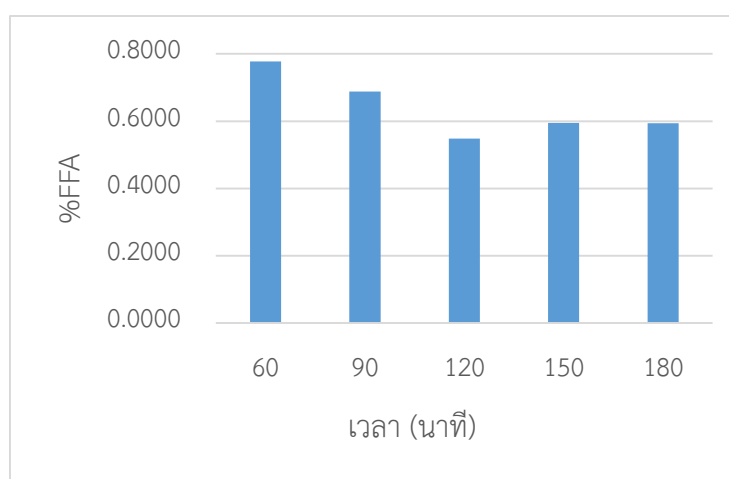
เวลา (นาที)	ร้อยละผลผลิตของน้ำมัน (%yield)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA)
60	46.03 ± 3.21^a	0.78 ± 0.06^a
90	42.44 ± 1.33^a	0.69 ± 0.07^{ab}
120	52.48 ± 17.41^a	0.55 ± 0.00^b
150	44.56 ± 3.13^a	0.59 ± 0.07^b
180	41.25 ± 15.62^a	0.59 ± 0.06^b

หมายเหตุ : ^{a-b} ประมวลค่า (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=2) ในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 เมื่อทดสอบข้อมูลทางสถิติพบว่าร้อยละผลผลิตของน้ำมันและปริมาณกรดไขมันอิสระ ที่เวลา 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่าเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลผลิตของไบโอดีเซลลดลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา saponification ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสบู่เพิ่มขึ้นพบว่าที่เวลา 120 นาที มีร้อยละการกลับคืนของน้ำมันมากที่สุดและมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณสมบัติไบโอดีเซลชุมชนจึงเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยา ผลแสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันในตัวแปรเวลา หลังการศึกษา
หาสภาวะที่เหมาะสม



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระในตัวแปรเวลา หลังการศึกษา
หาสภาวะที่เหมาะสม

4.7 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเมทานอลหลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

ในการวิเคราะห์ตัวแปรเมทานอลทั้งหมด 5 ตัวแปร คือ เมทานอล 3, 6, 9, 12 และ 15 กรัม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH 1%w/w ที่เวลา 120 นาที อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ± 5 องศาเซลเซียส หลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม ได้ผลดังตารางที่ 4.7

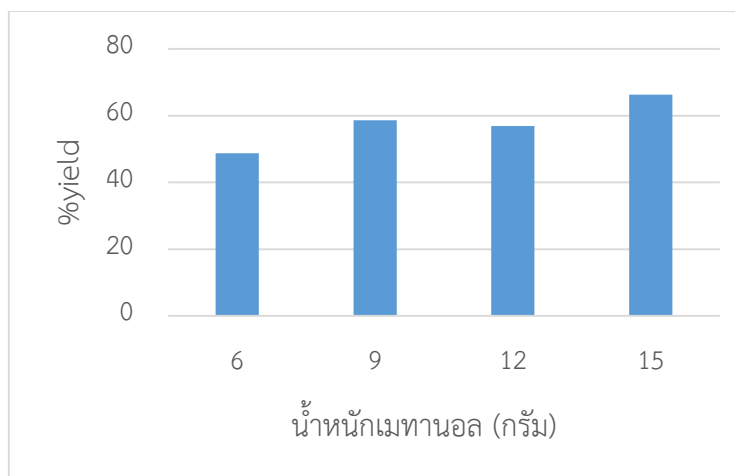
ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเมทานอลหลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

เมทานอล (กรัม)	ร้อยละผลผลิตของน้ำมัน (%yield)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (% FFA)
3	-	-
6	48.74 ± 1.06^a	0.54 ± 0.01^d
9	58.59 ± 1.80^a	6.16 ± 0.06^c
12	56.86 ± 4.70^a	21.67 ± 0.11^b
15	66.29 ± 22.77^a	23.57 ± 0.24^a

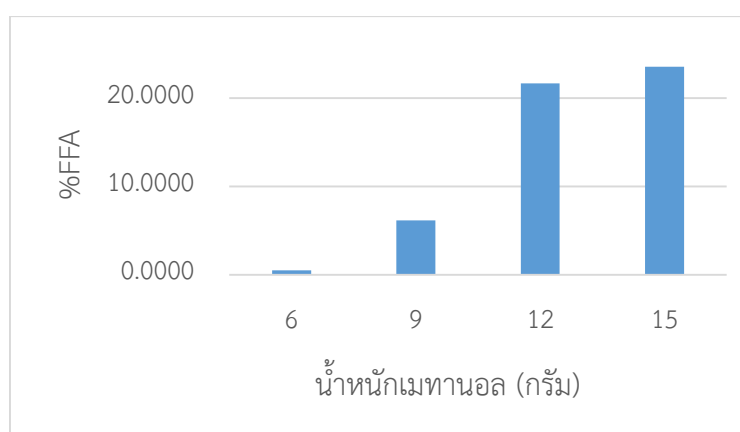
หมายเหตุ : ^{a-d} ประมวลค่า (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=2) ในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.7 เมื่อทดสอบข้อมูลทางสถิติพบว่าร้อยละผลผลิตของน้ำมันในตัวแปรเมทานอล ที่เมทานอล 3, 6, 9, 12 และ 15 กรัม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อใช้ปริมาณเมทานอลน้อยส่งผลให้ร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลน้อยตามไปด้วยเนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันต้องใช้ปริมาณเมทานอลอย่างน้อย 3 โมล ในการทำปฏิกิริยา แต่เมื่อใช้ปริมาณเมทานอลเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เมทานอลที่มากเกินไปทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ จากผลการทดลองพบว่าปริมาณเมทานอลที่เหมาะสมที่ใช้คือ 6 กรัม ซึ่งพบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานคุณสมบัติไบโอดีเซล ชุมชนไม่เกิน 0.8 จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

หมายเหตุ : เมทานอล 3 กรัม ไม่สามารถคำนวณร้อยละผลผลิตของน้ำมันและปริมาณกรดไขมันอิสระได้ เนื่องจากมีปริมาณเมทานอลที่น้อยเกินไป ทำให้น้ำมันเกิดความหนืดและจับตัวเป็นก้อน ซึ่งในการทดลองนี้ต้องใช้ปริมาณเมทานอลอย่างน้อย 3 โมล ในการทำปฏิกิริยา ผลแสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันในตัวแปรเมทานอล
หลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระในตัวแปรเมทานอล
หลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

4.8 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตัวเร่ง KOH หลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

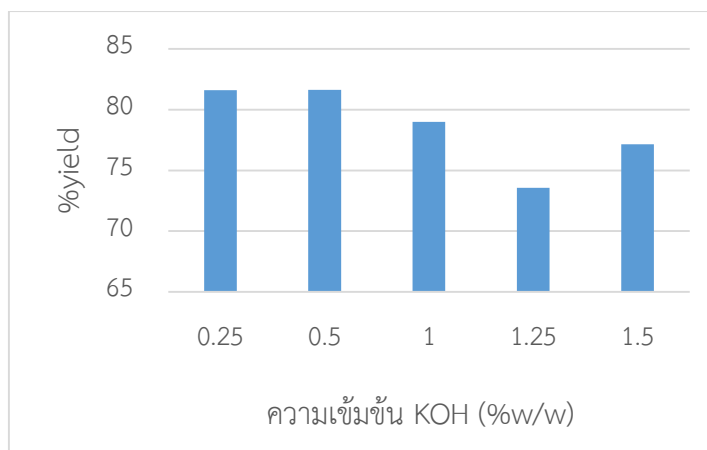
จากการทดลอง การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวเร่งปฏิกิริยา KOH ทั้งหมด 5 ตัวแปร คือ ตัวเร่ง KOH 0.25, 0.5, 1, 1.25 และ 1.5%w/w โดยใช้เมทานอล 6 กรัม ที่เวลา 120 นาที อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 ± 5 องศาเซลเซียส หลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม ได้ผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตัวเร่ง KOH หลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

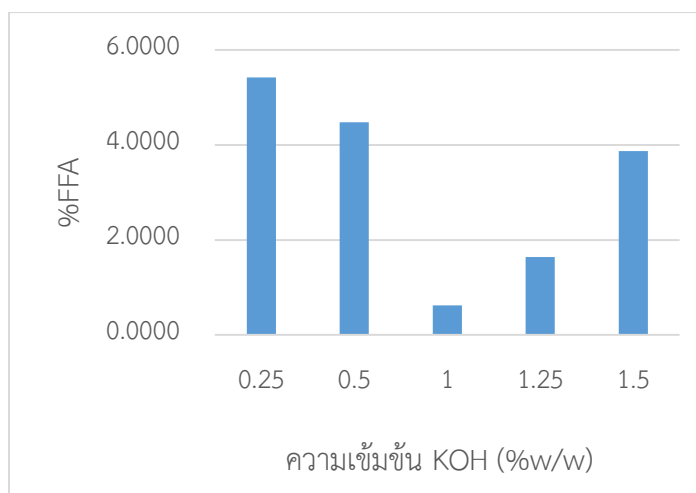
KOH (%w/w)	ร้อยละผลผลิตของน้ำมัน (%yield)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (% FFA)
0.25	81.60 ± 1.35 ^a	5.42 ± 0.01 ^a
0.5	81.62 ± 0.05 ^a	4.48 ± 0.01 ^b
1	79.00 ± 13.24 ^a	0.62 ± 0.00 ^e
1.25	73.56 ± 14.91 ^a	1.64 ± 0.00 ^d
1.5	77.15 ± 1.18 ^a	3.87 ± 0.25 ^c

หมายเหตุ : ^{a-e} ประมวลค่า (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, n=2) ในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

จากตารางที่ 4.8 เมื่อทดสอบข้อมูลทางสถิติพบว่าร้อยละผลผลิตของน้ำมัน ที่ตัวเร่ง 0.25, 0.5, 1, 1.25 และ 1.5%w/w ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการทดลองปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาต่ำและสูงเกินไปจะทำให้ปริมาณของผลผลิตที่ต่ำ และเมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้นปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทำให้ตัวเร่งที่เกินไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน การเกิดสบู่จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของตัวเร่งซึ่งจะส่งผลผลิตที่ได้ลดลง ในการทดลองพบว่าตัวเร่ง KOH 1% เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยา เนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกิน 0.8 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณสมบัติไบโอดีเซลชุมชน ผลแสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันในตัวแปรตัวเร่ง KOH
หลังการศึกษาลักษณะที่เหมาะสม



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระในตัวแปรตัวเร่ง KOH
หลังการศึกษาลักษณะที่เหมาะสม

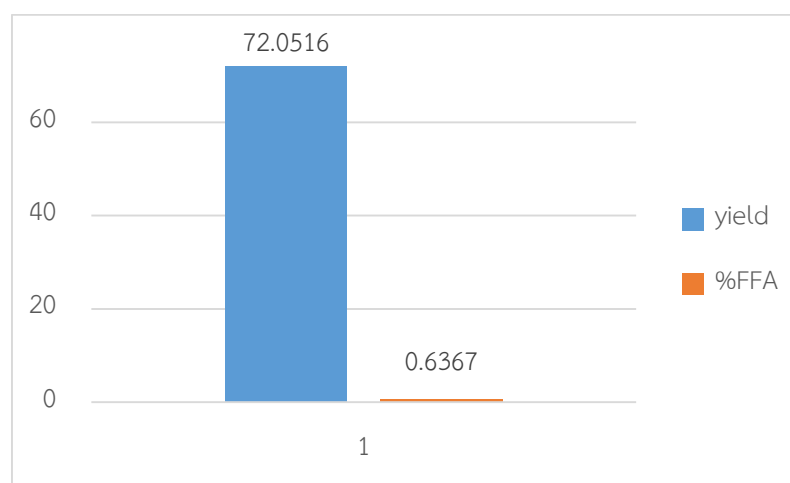
4.9 ผลการวิเคราะห์ของการขยายสเกลน้ำมันเริ่มต้น 10 กรัม ในการผลิตไบโอดีเซล

การขยายสเกลน้ำมันในการผลิตไบโอดีเซล หลังจากการศึกษาลักษณะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ พบว่าที่เวลา 120 นาที เมทานอล 6 กรัม และตัวเร่งปฏิกิริยา KOH 1%w/w คือตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไบโอดีเซล ได้ผลดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ของการขยายสเกลน้ำมันเริ่มต้น 10 กรัม ในการผลิตไบโอดีเซล

เวลา (นาที)	เมทานอล (กรัม)	ตัวเร่ง KOH (%w/w)	ร้อยละผลผลิตของ น้ำมัน (%yield)	ปริมาณกรดไขมัน อิสระ (%FFA)
120	6	1	72.05 ± 5.60	0.64 ± 0.05

จากตารางที่ 4.9 การทดลองพบว่า การขยายสเกลน้ำมันในการผลิตไบโอดีเซลหลังการศึกษาลักษณะที่เหมาะสมให้ปริมาณร้อยละการกลับคืนของน้ำมัน (%yield) เท่ากับ 72.05 ± 5.60 และปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA) เท่ากับ 0.64 ± 0.05 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณสมบัติไบโอดีเซลชุมชน ผลแสดงดังรูปที่ 4.7

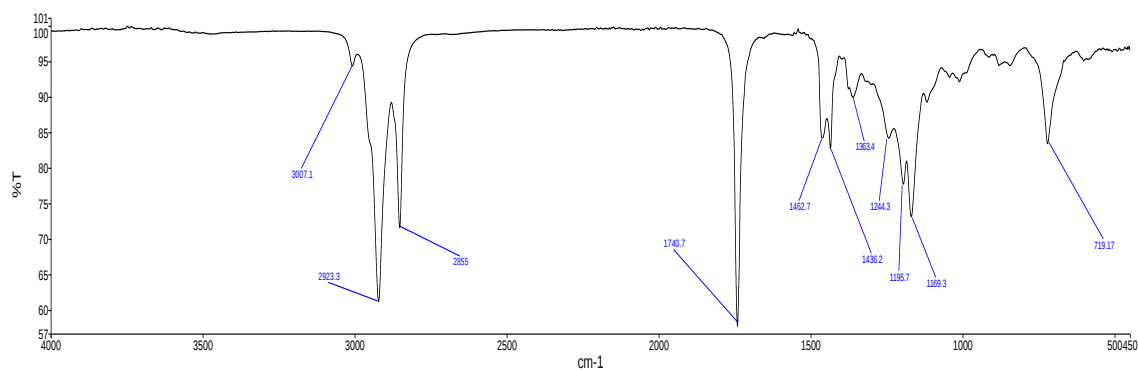


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำมัน (%yield) และค่ากรดไขมันอิสระ (%FFA) หลังจากขยายสเกลน้ำมันเริ่มต้น 10 กรัม

4.10 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของไบโอดีเซลจากกากกาแฟด้วยเทคนิค FTIR

การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของไบโอดีเซลจากกากกาแฟ โดยนำไบโอดีเซลที่สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน ที่เวลา 120 นาที ปริมาณเมทานอล 6 กรัม และตัวเร่งปฏิกิริยา KOH 1%w/w ที่อุณหภูมิ 60 ± 5 องศาเซลเซียส ความเร็ว

รอบ 600 รอบ/นาที ไปทดสอบด้วยเทคนิค FTIR ในช่วงรังสีอินฟราเรด ประมาณ $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งพบหมู่ฟังก์ชัน ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟจากเทคนิค FTIR ของไบโอดีเซลจากกากกาแฟสภาวะที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ด้วยกราฟจากเทคนิค FTIR นำไบโอดีเซลในสภาวะที่เหมาะสมมาวิเคราะห์ พบหมู่ฟังก์ชันจากโครงสร้างของไบโอดีเซล ได้ผลดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 หมู่ฟังก์ชันจากโครงสร้างของไบโอดีเซล ที่เวลา 120 นาที เมทานอล 6 กรัม และ ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH 1%w/w

เลขคลื่น (cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชัน
3007.1	C-H Stretching
2923.3	C-H Stretching
2855	C-H Stretching
1740.7	C=O Stretching
1462.7	-CH ₃
1436.2	-CH ₃
1363.4	O-CH ₂
1244.3	-CH ₃
1195.7	O-CH ₃
1169.3	C-O Stretching
719.7	C-H Bending

จากตารางที่ 4.10 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของไบโอดีเซลจากกากกาแฟที่ใช้แล้วด้วยเทคนิค FTIR พบหมู่ฟังก์ชัน C-H Stretching ที่เลขคลื่น $2855-3007.1\text{ cm}^{-1}$ พบหมู่ฟังก์ชัน C=O Stretching ที่ 1740.7 cm^{-1} พบหมู่ฟังก์ชัน $-\text{CH}_3$ ที่ $1244.3-1462.7\text{ cm}^{-1}$ พบหมู่ฟังก์ชัน O-CH₂ ที่ 1363.4 cm^{-1} พบหมู่ฟังก์ชัน O-CH₃ ที่ 1195.7 cm^{-1} พบหมู่ฟังก์ชัน C-O Stretching ที่ 1169.3 cm^{-1} และพบหมู่ฟังก์ชัน C-H Bending ที่เลขคลื่น 719.7 cm^{-1}

4.11 ผลการตรวจสอบความหนาแน่นของไบโอดีเซล (Density) ด้วยกระบอกตวง

การตรวจสอบความหนาแน่นของไบโอดีเซลด้วยกระบอกตวง ได้ผลดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการตรวจสอบความหนาแน่นของไบโอดีเซล (Density) ด้วยกระบอกตวง

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น
ไบโอดีเซล	0.87 ± 0.01

จากตารางที่ 4.11 พบว่าความหนาแน่นของไบโอดีเซลมีค่าเท่ากับ 0.87 ± 0.01 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง Integrated valorization of spent coffee grounds to biofuels จากผลการทดลอง มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.86–0.90 ผลที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลอ้างอิง (Mebrahtu Haile, 2014)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสกัดน้ำมันกาแฟจากกากกาแฟที่ใช้แล้วตามร้านสะดวกซื้อทั่วไป ในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยทำการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากกากกาแฟที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเบสและเพื่อศึกษาคุณสมบัติน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากกากกาแฟ จากการศึกษาวิจัยพบว่าผลการศึกษาปริมาณความชื้นในกากกาแฟ มีค่าเท่ากับ 9.77 ± 0.10 ผลการศึกษาปริมาณเถ้าในกากกาแฟมีค่าเท่ากับ 17.73 ± 0.23 ผลการศึกษากการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ (%yield) มีค่าเท่ากับ 16.39 ± 2.27 และการวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ (%FFA) ในน้ำมันก่อนผลิตไบโอดีเซลน้ำมันมีค่ากรดไขมันอิสระเท่ากับ 4.15 ± 0.35 % ซึ่งมีค่าความเป็นกรดไขมันอิสระไม่มากนัก ผู้ทำวิจัยจึงเลือกใช้ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาแบบทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสม ดังนี้

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในตัวแปรของเวลาที่เหมาะสมเพื่อเป็นตัวกำหนดในการทดสอบพบว่าที่เวลา 120 นาที ปริมาณเมทานอล 6 กรัม และปริมาณตัวเร่ง KOH 1%w/w ที่อุณหภูมิ $60-70 \pm 5$ °C ความเร็วรอบ 600 รอบ/นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยาเนื่องจากไบโอดีเซลให้กลิ่นใส และให้ผลผลิตไบโอดีเซลค่อนข้างสูง ค่า FFA มีค่าเท่ากับ 0.55 ± 0.00 และได้ %yield เท่ากับ 52.48 ± 17.41

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในตัวแปร เมทานอลที่เหมาะสม โดยพบว่าปริมาณเมทานอล 6 กรัม ในตัวเร่งปฏิกิริยา KOH 1%w/w ที่อุณหภูมิ $60-70 \pm 5$ °C ความเร็วรอบ 600 รอบ/นาที ทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลดีที่สุดและให้ผลผลิตไบโอดีเซลค่อนข้างสูง ค่า FFA มีค่าเท่ากับ 0.54 ± 0.01 และได้ %yield เท่ากับ 48.74 ± 1.06

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในตัวแปรตัวเร่ง KOH ที่เหมาะสมโดยพบว่าผลได้ของไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา KOH 1%w/w ในเมทานอล 6 กรัม ที่อุณหภูมิ $60-70 \pm 5$ °C ความเร็วรอบ 600 รอบ/นาที จะมีค่าที่สูง

กว่าที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาค่าอื่นๆ ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลดีที่สุดและให้ผลผลิตไบโอดีเซลค่อนข้างสูง ค่า FFA มีค่าเท่ากับ 0.62 ± 0.00 และได้ %yield เท่ากับ 79.00 ± 13.24

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันกาแฟบองค์ประกอบของกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันกาแฟมากที่สุดคือ กรดไลโนเลอิก

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ควรเช็คเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทำวิจัยให้มีความพร้อมในการทำงาน
- 5.2.2 ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลควรทำอย่างละเอียด รอบคอบ และระมัดระวัง
- 5.2.3 ควรคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้สารเคมีร่วมกับอุปกรณ์และเครื่องมืออย่างถูกวิธี เพื่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด

บรรณานุกรม

- เกตุณีนนิภา วันชัย และเพชรไพลิน ปรางบาง. (2558). การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ $KI/CaO/Al_2O_3$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 5:775-782.
- จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และ หญิง ชูศรี. (2560). การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจากน้ำมันเมล็ดสะเดาที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย. วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- จักรพงษ์ ไชยบุรี และสรพงษ์ แสงสุวรรณ. (2556). การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา KF/CaO ในตัวทำละลายร่วม. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 1:176-182.
- เจริญพร ถาวรประเสริฐ, ธนัชชา สุวรรณวิภากร, พิชัย เชี่ยวเล็ก และ กฤษ สมนึก. (2558). การศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยตัวทำละลายและระยะเวลาสกัด. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เจษฎา สุขสัมพันธ์, อาภาภรณ์ สกุลกระเวก, วิทยา ปันสุวรรณ และชนากานต์ เพิ่มฉลาด. (2558). การผลิตไบโอดีเซลจากกรดไขมันปาล์มด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันร่วมกับสถานะเมทานอลเหนือจุดวิกฤต. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ.
- โชคชัย เหมือนมาศ และรวมพร นิคม. (2560). การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดจากกากกาแฟ. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 3:202-210.
- ชาคริต ทองอุไร, สันชัย กลิ่นพิกุล, ชิต ลิ้มวรพันธ์ และเสถียร วาณิชวิริยะ. (2545). รายงานการวิจัยเพื่อการแปรรูปน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชาญณรงค์ อัครเทศานุภาพ และ ศิริพรรณ กลั่นศิริ. (2557). การผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการให้ความร้อนจากไมโครเวฟ และการไหลต่อเนื่องและการทดสอบสมรรถนะของไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 22 ฉบับที่ 3.
- ณัฐพงศ์ ตันติวัฒนพันธ์. (2562). กากกาแฟจากแก้วกาแฟสุญญากาศเศรษฐกิจชุมชนเวียนสำหรับผลิตภัณฑ์ชีวภาพ. วารสารสิ่งแวดล้อม. ปีที่ 23 (ฉบับที่ 1).
- พิชัย เชี่ยวเล็ก และกฤษ สมนึก. (2558). การใช้ประโยชน์จากกากกาแฟเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงแข็ง. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

พิชัย เอี้ยวเล็ก. (2559). การสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยวิธีการสกัดของแข็งด้วยของเหลว.

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

รุ่งทิพย์ ชัยเดช. (2557). การผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันทอดใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่ง

ปฏิกิริยาไฮเดรียมเมทอกไซด์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล และพัชรี ปรีดาสุริยะชัย. (2558). การศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้

ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขา

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 7(13), 15-26

นิติพงศ์ ปานกลาง, สมชาย เปียนสูงเนิน และบุญยัง ปลั่งกลาง. (2551). ไบโอดีเซล : พลังงาน

จากน้ำมันพืชใช้แล้ว. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

เบญญา เชิดหิรัญกร. (2559). การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

แคลเซียมออกไซด์บนตัวรองรับที่เป็นเศษแก้ว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปี

ที่ 24 (ฉบับที่ 6)

รพีพรรณ กองตูม. (2560). กากกาแฟ : มูลค่าเพิ่มและการใช้ประโยชน์. สาขาวิชาเคมี คณะ

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง.

วรรณนพ มั่นคง, รัตนชัย ไพรินทร์ และแก้วกันยา สุดประเสริฐ. (2557). การผลิตไบโอดีเซลจาก

กากกาแฟโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ของเปลือกปูเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วิทยาศาสตร์

เกษตร.

ศิริวรรณ ศิลปสกุลสุข. (2550). การควบคุมคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล. (ค้นเมื่อ 23 เมษายน

2561). จาก http://www.dss.go.th/images/st-article/cp_2_2550_biodesel.pdf

Mebrahtu Haile. (2557). Integrated valorization of spent coffee grounds to biofuels.

Biofuel Research Journal. 65-69.

Ni'dia S. Caetano, Va'nia F. M. Silva, Ana C. Melo, Anto'nio A. Martins และ Teresa M.

Mata. (2014). Spent coffee grounds for biodiesel production and other

applications. Clean Techn Environ Policy. 16:1423–1430.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ภาพประกอบการวิจัย



รูปที่ ผก 1 กาแฟที่ใส่แล้ว



รูปที่ ผก 2 การหาความชื้น



รูปที่ ผก 3 การหาเปอร์เซ็นต์เถ้า



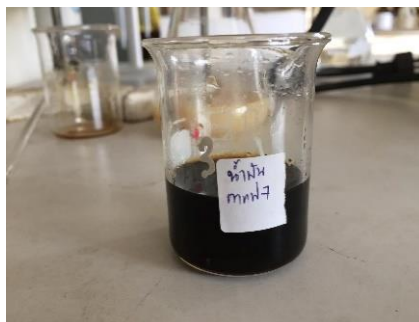
รูปที่ ผก 4 เถ้าที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ ผก 5 ศึกษาการสกัดน้ำมันจากกาแฟ



รูปที่ ผก 6 เครื่องระเหยแบบหมุน



รูปที่ ผก 7 การสกัดน้ำมันกาแฟโดยใช้ตัวทำละลาย



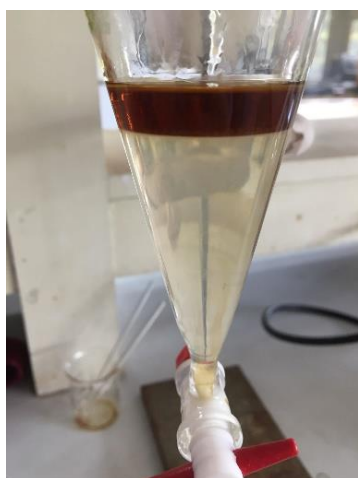
รูปที่ ผก 8 น้ำมันกาแฟ



รูปที่ ผก 9 การผลิตไบโอดีเซล



รูปที่ ผก 10 ทิ้งไบโอดีเซลไว้ให้แยกชั้น



รูปที่ ผก 11 การล้างไบโอดีเซล



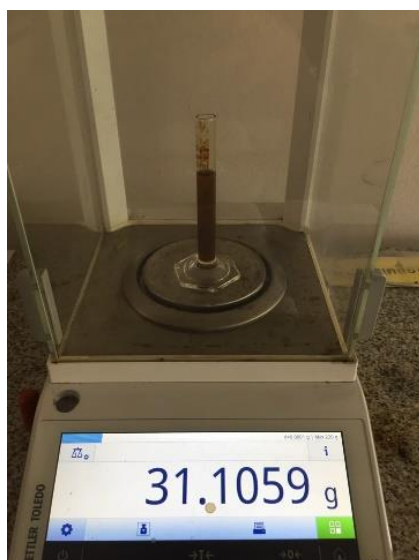
รูปที่ ผก 12 ไบโอดีเซลที่ได้



รูปที่ ผก 13 ไบโอดีเซลที่ได้จากตัวแปรเวลา



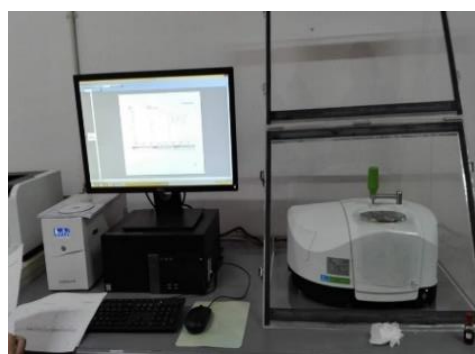
รูปที่ ผก 14 การวิเคราะห์หา %FFA



รูปที่ ผก 15 การวิเคราะห์หาความหนาแน่น



รูปที่ ผก 16 ไซซ์นํ้ากลีเซอรอลทิ้ง



รูปที่ ผก 17 เครื่อง FT-IR Spectroscopy

ภาคผนวก ข
ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง

ข้อมูลดิบแสดงผลดังตารางที่ ผข 1

ตารางที่ ผข 1 ผลการศึกษาปริมาณความชื้นในกากกาแฟ

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนักบีกเกอร์ (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่างก่อน อบ (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)
1	32.1825	5.0265	4.5300
2	29.5365	5.0080	4.5230
3	31.5140	5.0365	4.5460
เฉลี่ย	31.0777	5.0237	4.5330

ตัวอย่างการคำนวณ

จากสูตร การหาปริมาณความชื้น

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{[(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100]}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

เปอร์เซ็นต์ความชื้นครั้งที่ 1

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า ร้อยละความชื้น} &= \frac{[(5.0265 - 4.5300) \times 100]}{5.0265} \\ &= 9.8776 \% \end{aligned}$$

เปอร์เซ็นต์ความชื้นครั้งที่ 2

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า ร้อยละความชื้น} &= \frac{[(5.0080 - 4.5230) \times 100]}{5.0080} \\ &= 9.6845 \% \end{aligned}$$

เปอร์เซ็นต์ความชื้นครั้งที่ 3

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า ร้อยละความชื้น} &= \frac{[(5.0365 - 4.5460) \times 100]}{5.0365} \\ &= 9.7389 \% \end{aligned}$$

ค่าเฉลี่ยปริมาณเปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\text{แทนค่า ร้อยละความชื้น} = \frac{(9.8776 + 9.6845 + 9.7389)}{3}$$

$$= 9.7670 \%$$

ข้อมูลดิบแสดงผลดังตารางที่ ผข 2

ตารางที่ ผข 2 ผลการศึกษาปริมาณเก่าในกากกาแฟ

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนักถ้วยครุช เปิด (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่างก่อน เผา (กรัม)	น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
1	33.9368	5.0235	4.1203
2	30.2646	5.0749	4.1765
3	26.2199	5.0073	4.1302
เฉลี่ย	30.1404	5.0352	4.1423

ตัวอย่างการคำนวณ

จากสูตร การหาปริมาณเก่า

$$\text{ร้อยละของเก่า} = \frac{[(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}) \times 100]}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}}$$

เปอร์เซ็นต์เก่าครั้งที่ 1

$$\text{แทนค่า ร้อยละของเก่า} = \frac{[(5.0235 - 4.1203) \times 100]}{5.0235}$$

$$= 17.9795 \%$$

เปอร์เซ็นต์เก่าครั้งที่ 2

$$\text{แทนค่า ร้อยละของเก่า} = \frac{[(5.0749 - 4.1765) \times 100]}{5.0749}$$

$$= 17.7028 \%$$

เปอร์เซ็นต์เถ้าครั้งที่ 3

$$\text{แทนค่า ร้อยละของเถ้า} = \frac{[(5.0073 - 4.1302) \times 100]}{5.0073}$$

$$= 17.5164 \%$$

ค่าเฉลี่ยปริมาณเปอร์เซ็นต์เถ้า

$$\text{แทนค่า ร้อยละของเถ้า} = \frac{[(17.9795 + 17.7028 + 17.5164)]}{3}$$

$$= 17.7329 \%$$

ข้อมูลดิบแสดงผลดังตารางที่ ผข 3

ตารางที่ ผก 3 ผลการศึกษาการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

ครั้งที่	น้ำหนักกากกาแฟ	น้ำหนักน้ำมันกาแฟ
1	5.2082	0.7700
2	5.2253	0.9402
เฉลี่ย	5.2168	0.8551

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ (\%yield)} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักของกาแฟแห้ง (กรัม)}}$$

ร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ (%yield) ครั้งที่ 1

$$\text{แทนค่า ร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ (\%yield)} = \frac{0.7700 \times 100}{5.2082}$$

$$= 14.7844 \%$$

ร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ (%yield) ครั้งที่ 2

$$\text{แทนค่า ร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ (\%yield)} = \frac{0.9402 \times 100}{5.2168}$$

$$= 17.9932 \%$$

ค่าเฉลี่ยร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ (%yield)

$$\text{แทนค่า ร้อยละของเก่า} = \frac{(14.7844 + 17.9932)}{2}$$

$$= 17.7329 \%$$

ข้อมูลดิบแสดงผลดังตารางที่ ผข 4

ตารางที่ ผข 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันก่อนผลิตไบโอดีเซล (Free Fatty Acid, %FFA)

ครั้งที่	ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน (%FFA)
1	3.7433
2	4.3293
3	4.3827
เฉลี่ย	4.1518

ตัวอย่างการคำนวณ

จากสูตร การคำนวณ Free Fatty Acid (%FFA)

$$\%FFA = \frac{[(A - B) \times N \times 28]}{w}$$

โดยที่

- A = ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำมัน (มิลลิลิตร)
- B = ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)
- N = ความเข้มข้นของ NaOH (นอร์มอล)
- 28 = ร้อยละโดยน้ำหนักของกรด linoleic acid (ของน้ำมันกาแฟ)

การไทเทรตหา FFA ของน้ำมันกาแฟ

$$\text{แทนค่า ครั้งที่ 1 \%FFA} = \frac{[(0.8 - 0.1) \times 0.1 \times 28]}{0.5236}$$

$$= 3.7433 \%$$

$$\text{แทนค่า ครั้งที่ 2 \%FFA} = \frac{[(0.9 - 0.1) \times 0.1 \times 28]}{0.5174}$$

$$= 0.3293 \%$$

$$\text{แทนค่า ครั้งที่ 3 \%FFA} = \frac{[(0.9 - 0.1) \times 0.1 \times 28]}{0.5111}$$

$$= 4.3827 \%$$

ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA)

$$\text{แทนค่า \%FFA} = \frac{(3.7433 + 0.3293 + 4.3827)}{3}$$

$$= 4.1518 \%$$

ข้อมูลดิบแสดงผลดังตารางที่ ผข 5

ตารางที่ ผก 5 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเวลาหลังการศึกษาน้ำมันกาแฟที่เหมาะสม

เวลา (นาทีก)	ร้อยละผลผลิตของน้ำมัน (%yield)		ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
60	43.7606	48.3030	0.7325	0.8228
90	43.3796	41.4977	0.6380	0.7376
120	64.7897	40.1676	0.5495	0.5463
150	46.7682	42.3468	0.6469	0.5424
180	52.2953	30.2100	0.5529	0.6355

ตัวอย่างการคำนวณ

1. ร้อยละผลผลิตของน้ำมัน (%yield)

จากสูตร การหาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของน้ำมัน (%yield)

$$\text{ร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ (\%yield)} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักของกาแฟแห้ง (กรัม)}}$$

จากการทดลองของตัวแปรเวลา 60 นาที ครั้งที่ 1

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า ร้อยละผลผลิตของน้ำมันกาแฟ (\%yield)} &= \frac{4.3835 \times 100}{10.0170} \\ &= 43.7606 \% \end{aligned}$$

หมายเหตุ : คำนวณในทำนองเดียวกันทั้งหมด

2. ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA)

จากสูตร การคำนวณ Free Fatty Acid (%FFA)

$$\%FFA = \frac{[(A - B) \times N \times 28]}{W}$$

โดยที่

A	=	ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำมัน (มิลลิลิตร)
B	=	ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)
N	=	ความเข้มข้นของ NaOH (นอร์มอล)
28	=	ร้อยละโดยน้ำหนักของกรด linoleic acid (ของน้ำมันกาแฟ)

การไทเทรตหา FFA ของไบโอดีเซลจากการทดลองของตัวแปรเวลา 60 นาที ครั้งที่ 1

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า ครั้งที่ 1 \%FFA} &= \frac{[(0.20 - 0.1) \times 0.1 \times 28]}{0.5239} \\ &= 0.5345 \% \end{aligned}$$

$$\text{แทนค่า ครั้งที่ 2 \%FFA} = \frac{[(0.25 - 0.1) \times 0.1 \times 28]}{0.5003}$$

$$= 0.8395 \%$$

$$\text{แทนค่า ครั้งที่ 3 \%FFA} = \frac{[(0.25 - 0.1) \times 0.1 \times 28]}{0.5099}$$

$$= 0.8237 \%$$

ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA)

$$\text{แทนค่า \%FFA} = \frac{(0.5345 + 0.8395 + 0.8237)}{3}$$

$$= 0.7325 \%$$

หมายเหตุ : คำนวณในทำนองเดียวกันทั้งหมด

ข้อมูลดิบแสดงผลดังตารางที่ ผข 6

ตารางที่ ผข 6 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรเมทานอลหลังการศึกษาสภาพที่เหมาะสม

เมทานอล (กรัม)	ร้อยละผลผลิตของน้ำมัน (%yield)		ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
3	-	-	-	-
6	47.9861	49.4872	0.5304	0.5436
9	57.3193	59.8649	6.1192	6.2027
12	53.5390	60.1847	21.5850	21.7456
15	50.1928	82.3878	23.7385	23.3981

ข้อมูลดิบแสดงผลดังตารางที่ ผข 7

ตารางที่ ผข 7 ผลการวิเคราะห์หัวแปรตัวเร่ง KOH หลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

KOH (w/w)	ร้อยละผลผลิตของน้ำมัน (%yield)		ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
0.25%	82.5582	80.6506	5.4241	5.4127
0.5%	81.5864	81.6516	4.4757	4.4837
1%	88.3582	69.6394	0.6250	0.6187
1.25%	84.0990	63.0199	1.6362	1.6429
1.5%	77.9825	76.3204	4.0452	3.6927

ข้อมูลดิบแสดงผลดังตารางที่ ผข 8

ตารางที่ ผข 8 ผลการวิเคราะห์หัวแปรเวลา เมทานอล และตัวเร่ง KOH หลังการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม

เวลา (นาทีก)	เมทานอล (กรัม)	KOH (%w/w)	ร้อยละผลผลิตของน้ำมัน (%yield)			ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
120	6	1%	74.9091	75.6476	65.5981	0.6883	0.5982	0.6237

ข้อมูลดิบแสดงผลดังตารางที่ ผข 9

ตารางที่ ผข 9 ผลการตรวจสอบความหนาแน่นของไบโอดีเซล (Density) ด้วยกระบอกตวง (กระบอกตวงขนาด 5 มิลลิลิตร)

ครั้งที่	น้ำหนักกระบอกตวง (กรัม)	น้ำหนักไบโอดีเซล (กรัม)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
1	26.7442	31.1059	0.8723
2	25.6629	30.0525	0.8779
3	26.8340	31.1385	0.8609
เฉลี่ย	26.4137	30.7656	0.8704

ตัวอย่างการคำนวณ

แทนค่า ค่าความหนาแน่น (g/cm^3) $d = \frac{m}{v}$

เมื่อ d (Density) = ความหนาแน่น
 m (Mass) = น้ำหนักของไบโอดีเซล (กรัม)
 v (Volume) = ปริมาตรขวดที่บรรจุ (กระบอกตวง) ไบโอดีเซล (กรัม)
 สูตรมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3)

หมายเหตุ : ค่า m หาได้จาก

น้ำหนักของไบโอดีเซล = น้ำหนักกระบอกตวงที่มีไบโอดีเซลบรรจุเต็มขวด - น้ำหนักกระบอกตวง

วิธีการคำนวณหาน้ำหนักของไบโอดีเซล

น้ำหนักของไบโอดีเซล = $30.7656 - 26.4137$
 $= 4.3519$

แทนค่า ค่าความหนาแน่น (g/cm^3) $d = \frac{4.3519}{5}$
 $= 0.8704$

กาแฟในอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ได้รับทุนวิจัย
งบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2562

พ.ศ. 2564 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากแบตเตอรี่
และผงโกโก้ เพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตให้กับวิสาหกิจ
ชุมชนกลุ่มโกโก้บ้านจั่ว จังหวัดเพชรบูรณ์ ได้รับทุนวิจัย
โครงการ Pre talent ประจำปีงบประมาณ 2564

พ.ศ. 2565 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันกากกาแฟ ได้รับทุนวิจัยงบประมาณ
แผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2565

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นางสาวรุจิรา คุ่มทรัพย์

2. ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000

โทร. 082-6995469 email: Rupinkaew13@gmail.com

4. ประวัติการศึกษา

วท.ม.(เคมี)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

วท.บ.(เคมี)

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

เคมีวิเคราะห์

5. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

พ.ศ. 2565 การพัฒนาวิธีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณ

สารพิษตกค้างในตัวอย่างทางการเกษตร ให้มีความถูกต้อง

และแม่นยำ เพื่อรองรับมาตรฐานเกษตรปลอดภัยได้รับทุน

วิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2565