

การใช้ประโยชน์เค้ากะลาปาล์มเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2560  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

UTILIZATION OF PALM KERNEL ASH FOR BIODIESEL PRODUCTION CATALYST



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and Management

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ประโยชน์เก้าอี้กลาปาล์มเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล
โดย	นายสุเชษฐ เทพอาษา
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วีวรรณนะเดช
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.รจพรธณ นิรัญศิลป์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนุญ หนูจักร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วีวรรณนะเดช)  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(อาจารย์ ดร.รจพรธณ นิรัญศิลป์)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภางค์ จุฬาลักษณ์านุกูล)

สุเชษฐ เทพอาษา : การใช้ประโยชน์เถ้ากะลาปาล์มเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล (UTILIZATION OF PALM KERNEL ASH FOR BIODIESEL PRODUCTION CATALYST) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ดาวลัย วิวรรณเดช, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร.รจพรณ นิรัญศิลป์, 76 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์เถ้ากะลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยทำการทดลองที่หลากหลายสภาวะ อาทิ สัดส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันพืช ร้อยละโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาเถ้ากะลาปาล์ม เป็นต้น โดยที่ทำการทดลองใช้น้ำมันพืชปริมาณ 200 กรัม ทำปฏิกิริยาที่  $65^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการเผาเถ้ากะลาปาล์มที่  $900^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ให้ผลผลิตและคุณภาพไบโอดีเซลสูงกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการเผาเถ้ากะลาปาล์มที่  $800^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่าสภาวะการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วสำหรับการศึกษานี้ คือ การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการเผาเถ้ากะลาปาล์มที่  $900^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักน้ำมันพืชที่ใช้ตั้งต้น เดิมเมทานอล 3 เท่าโดยโมล น้ำมันพืช ทำปฏิกิริยาที่  $65^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทั้งนี้พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิต ณ สภาวะเหมาะสมนี้จะให้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงถึง 85.6% และมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดโดยกระทรวงพลังงานของประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 5987215220 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORDS: : BIODIESEL / PALM KERNEL / CATALYST / TRANSESTERIFICATION

SUCHEAT THAP-ARSA: UTILIZATION OF PALM KERNEL ASH FOR BIODIESEL PRODUCTION CATALYST. ADVISOR: ASSOC. PROF. DAWAN WIWATTANADATE, Ph.D., CO-ADVISOR: ROTJAPUN NIRUNSIN, Ph.D., 76 pp.

Utilization of palm kernel ash as a heterogeneous catalyst for biodiesel production from used vegetable oil was comparatively investigated at various conditions like methanol to oil ratio, percentage of catalyst used, ash ignited temperature and time, etc. All experiments were operated at 65 °C for 1 hour using 200 grams of vegetable oil feedstock for each experiment. The study found that the kernel ash ignited at 900 °C for 4 hours exhibited better biodiesel yield and quality than the ash ignited at 800 °C 4 hours. Moreover, an optimum condition for the biodiesel production from used vegetable oil was found to be using 1% by weight of palm kernel ash catalyst ignited 4 hours at 900 °C, adding methanol 3:1 mole ratio to oil feedstock, reacting at 65 °C for 1 hour. Biodiesel produced at the optimum condition was found to have 86.5% yields with quality complied with standard set by Thailand's Ministry of Energy.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Energy Technology and Management	Student's Signature .....
Academic Year: 2017	Advisor's Signature .....
	Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิศวกรรมเดช และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.รจพรธณ นิรัฐศิลป์ ที่ได้กรุณาเป็นที่ปรึกษาชี้แนะแนวทางตลอดการวิจัย ฝึกฝนให้ผู้วิจัยรู้จักการคิด วิเคราะห์ และนำเสนอความคิดเห็น ตลอดจนการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นตลอดการดำเนินงานวิจัย จนสามารถเข้าใจในวิธีการดำเนินงานวิจัยที่ดีได้

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ญาติพี่น้องและเพื่อนๆ ที่สนับสนุน ให้คำปรึกษา แบ่งเบารภาระและให้กำลังใจตลอดการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาชี้แนะแนวทางและให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ทั้งต่องานวิจัยและต่อผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในหลักสูตรสหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ ความเข้าใจแก่ผู้วิจัยจนสามารถดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ได้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในหลักสูตรสาขาวิชาพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ ความเข้าใจและห้องปฏิบัติการ แก่ผู้วิจัยจนสามารถดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ได้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป .....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.2.1 เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบการใช้กะลาปาล์มเป็นสารเร่งปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลเพื่อทดแทนการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH).....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	3
1.3.1 นำเถ้าจากกะลาปาล์มมาเผาผนึก (calcine) แทนการใช้เถ้าจากการเผาไหม้โดยตรง 3	
1.3.2 นำน้ำมันที่เหลือทิ้งจากการประกอบอาหารจากในครัวเรือนและอุตสาหกรรมขนาดย่อม เช่น การทอดแคบหมูมาใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล.....	3
1.3.3 ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยการเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มาเป็นเถ้ากะลาปาล์ม .....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย .....	4
1.4.1 สามารถช่วยลดปริมาณน้ำมันที่เหลือทิ้งจากในชุมชนและอุตสาหกรรมขนาดย่อมมาทำให้เกิดประโยชน์ .....	4

1.4.2	สามารถลดมลพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อมทั้งในกระบวนการผลิตและการใช้งาน.....	4
บทที่ 2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1	นิยาม ความหมายของไบโอดีเซล .....	5
2.2	ประเภทของไบโอดีเซล .....	5
2.5	คุณสมบัติของไบโอดีเซล .....	13
2.5.1	เมทิลเอสเทอร์ .....	14
2.5.3	ความหนืด.....	15
2.5.4	จุดวาบไฟ .....	15
2.5.6	น้ำ.....	15
2.5.7	ค่าความเป็นกรด.....	15
2.5.8	เมทานอล .....	15
2.6.1	อัตราส่วนระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน .....	16
2.6.2	อุณหภูมิ.....	17
2.6.5	ค่ากรดไขมันอิสระ.....	19
2.6.6	เมทานอล หรือ เมทิลแอลกอฮอล์ .....	19
2.6.7	โซดาไฟ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ .....	20
2.6.7	การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ้ำชีวมวล .....	21
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	26
1.1	วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินงานวิจัย .....	26
3.1.1	วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมถ้ำกะลาปาล์ม .....	26
3.1.2	วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล.....	27
3.1.3	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติไบโอดีเซล.....	33



1.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	34
3.1.4 การศึกษาข้อมูลของซีไธ้และเตรียมซีไธ้เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา .....	34
3.1.5 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน .....	35
3.1.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติไบโอดีเซล.....	42
บทที่ 4     ผลและอภิปรายผล.....	44
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา.....	44
4.2 การศึกษาสมบัติเคมีและทางกายภาพของน้ำมันพืชใช้แล้ว.....	46
4.3 ปัจจัยที่มีผลการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว .....	47
บทที่ 5     สรุปและข้อเสนอแนะ.....	58
รายการอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	64
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	76

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่1.1 อัตราการใช้ไบโอดีเซล ปี พ.ศ. 2552-2559 .....	1
รูปที่2.1 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน .....	8
รูปที่2.2 แผนภาพกระบวนการผลิตไบโอดีเซล .....	10
รูปที่2.3 เมทานอล หรือเมทิลแอลกอฮอล์.....	20
รูปที่2.4 โซดาไฟ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	21
รูปที่2.5 ถ้ำซีวมวล.....	22
รูปที่3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการเตรียมซี้ถ้ำ.....	26
รูปที่3.2 น้ำมันพืชใช้แล้ว .....	27
รูปที่3.3 ถ้ำกะลาปาล์มที่ทำการเผาแล้ว.....	28
รูปที่3.4 โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ 95%.....	28
รูปที่3.5 สารละลายโพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1N .....	29
รูปที่3.6 เมทานอล.....	29
รูปที่3.7 ไอโซโพรพานอล.....	30
รูปที่3.8 ฟีนอล์ฟทาลีน .....	30
รูปที่3.9 อุปกรณ์และเครื่องมือทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล .....	31
รูปที่3.10 Universal Indicator .....	33
รูปที่3.11 เครื่อง Bomb calorimeter .....	33
รูปที่3.12 เครื่องวัดจุดวาบไฟ จุดติดไฟ.....	34
รูปที่3.13 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	34
รูปที่3.14 การเตรียมซี้ถ้ำเพื่อใช้เป็นตัวเร่ง .....	35
รูปที่3.15 การเตรียมถ้ำกะลาปาล์มเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.....	35
รูปที่3.16 ชั่งน้ำมันตัวอย่าง 5 g.....	37

รูปที่3.17 เติมไอโซโพรพิล 25 ml .....	37
รูปที่3.18 ทำการไทเทรต.....	38
รูปที่3.19 ได้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู.....	38
รูปที่3.20 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน.....	40
รูปที่3.21 การทำปฏิกิริยาโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) .....	40
รูปที่3.22 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เถ้ากะลาปาล์มที่อุณหภูมิ 800 °C.....	41
รูปที่3.23 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เถ้ากะลาปาล์มที่อุณหภูมิ 900 °C.....	42
รูปที่ 4.1 ลักษณะของเถ้ากะลาปาล์มที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ .....	44
รูปที่ 4.2 ลักษณะอนุภาคของเถ้ากะลาปาล์มที่อุณหภูมิ 800 และ900 °C.....	45
รูปที่4.3 กราฟแสดงร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 4:1 และ 5:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง โดย.....	48
รูปที่4.4 กราฟแสดงความหนาแน่นที่อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 4:1 และ 5:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง .....	49
รูปที่4.5 กราฟแสดงความเป็นกรดที่อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 4:1 และ 5:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง.....	50
รูปที่4.6 กราฟแสดงค่า pH ที่อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 4:1 และ 5:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง .....	51
รูปที่4.7 กราฟแสดงค่าความร้อนที่อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 4:1 และ 5:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง.....	53

## สารบัญตาราง

หน้า

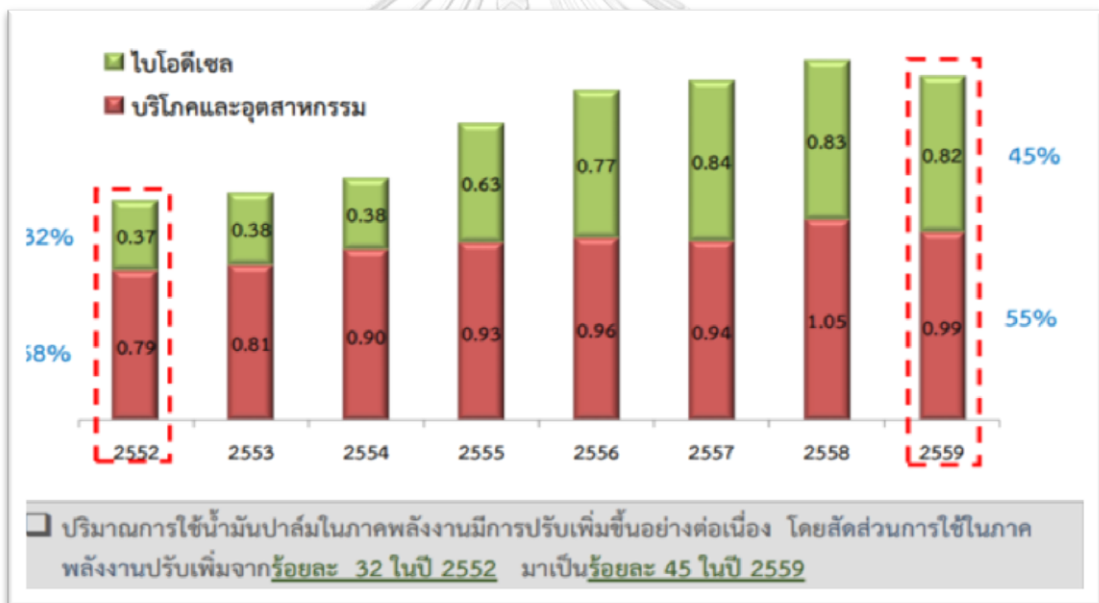
ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM .....	2
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนสารที่ใช้ อุณหภูมิเวลาในการทำปฏิกิริยาในการทดลอง .....	36
ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของแก๊สลาปาล์มที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง.....	45
ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของแก๊สลาปาล์ม.....	46
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์จุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%wt และ 2%wt .....	52
ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลมาตรฐานกับน้ำมันไบโอดีเซลในงานวิจัย.....	59

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศทางด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และการขนส่ง ส่วนใหญ่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นตัวขับเคลื่อน จึงจำเป็นต้องนำเข้าน้ำมันดีเซลประเภทดีเซลจากต่างประเทศต่างประเทเป็นจำนวนมาก “ไบโอดีเซล” จึงเป็นอีกหนึ่งในเชื้อเพลิงชีวภาพ ที่ได้รับความสนใจเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุทางเกษตร โดยเฉพาะพืชน้ำมัน เช่น น้ำมันจากปาล์ม ถั่วเหลือง สบู่ดำทานตะวัน มะพร้าว หรือไขมันจากสัตว์ เป็นต้น [1] และไบโอดีเซลยังสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชที่เหลือทิ้งและกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก



รูปที่ 1.1 อัตราการใช้ไบโอดีเซล ปี พ.ศ. 2552-2559

จากรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าอัตราการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในประเทศไทยที่เพิ่มขึ้นทุกๆ ปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2559 [2] จากร้อยละ 32 มาเป็นร้อยละ 45 ในปี พ.ศ.2559 และน้ำมันไบโอดีเซลนั้นยังมีคุณสมบัติเด่น คือ สามารถทดแทนน้ำมันดีเซลและไม่เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ปริมาณที่น้อย และไบโอดีเซลยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะได้โดยไม่จำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ เพราะคุณสมบัติของไบโอดีเซลมีความใกล้เคียงกับ

น้ำมันดีเซล นอกจากนี้ยังช่วยรักษาสภาพของเครื่องยนต์ให้ใช้งานได้นานและมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เนื่องจากออกซิเจนในไบโอดีเซลให้การสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซลทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 1.1

**ตารางที่ 1.1** การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM [1]

	น้ำมันดีเซล ASTM D975	ไบโอดีเซล ASTM D6751
องค์ประกอบ	ไฮโดรคาร์บอน (C10-C21)	เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน
ความหนืด (mm <sup>2</sup> /s)	1.9-4.1 ที่ 40 °C	1.9-6.1 ที่ 40 °C
ความถ่วงจำเพาะ	0.85	0.88
จุดวาบไฟ (°C)	60-80	100-170
ปริมาณน้ำ (%)	0.05	0.05
ปริมาณออกซิเจน (%)	0	11

ประกอบกับปัจจุบันในชุมชนต่างๆ ของประเทศไทยมีน้ำมันที่เหลือทิ้งจากการทอดสินค้าทางอุตสาหกรรมขนาดย่อมเป็นจำนวนมาก เช่น น้ำมันที่เหลือทิ้งจากการประกอบอาหาร เป็นต้น เพราะจะช่วยลดปัญหาการนำน้ำมันมาใช้ซ้ำซึ่งจะส่งผลเสียสุขภาพร่างกายของผู้บริโภคและยังสามารถสร้างรายได้ให้กับชุมชนอีกด้วย ซึ่งในการผลิตไบโอดีเซลสามารถนำน้ำมันที่เหลือทิ้งเหล่านี้มาผลิตด้วยกระบวนการทางเคมีหรือกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ร่วมกับ เมทานอล (CH<sub>3</sub>OH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การนำโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) มาผสมกับ เมทานอล(CH<sub>3</sub>OH) แล้วซึ่งจะเรียกว่า เมทอกไซด์ เป็นสารประกอบที่มีสารพิษปนเปื้อนจากกระบวนการน้ำทิ้งในการผลิตไบโอดีเซล ก่อให้เกิดสารตกค้างสร้างมลพิษในระบบนิเวศน์และส่งผลกระทบต่อผู้ผลิตไบโอดีเซล จึงได้ทำการศึกษาหาวิธีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากธรรมชาติ พบว่า เถ้าชีวมวล [1] สามารถนำมาทดลองใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาแทน โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และสามารถหาได้ง่ายในประเทศไทย จึงง่ายต่อการนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยเถ้าชีวมวลที่เหลือทิ้งจากวัสดุทางการเกษตรที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านั้น ต้องนำไปกำจัดทิ้งเพราะมีปริมาณมาก แต่ได้มีการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมพบว่าในต่างประเทศ สามารถนำเถ้าชีวมวลมาผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้ โดยการใชตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Catalyst) [3] เนื่องจากไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับสารตั้งต้น หลังสิ้นสุดกระบวนการผลิตสามารถแยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายด้วยการกรองหรือทิ้งไว้ให้ตกตะกอนได้ง่าย

และตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์การศึกษาหาตัวเร่งปฏิกิริยา วิวิธพันธ์ชนิดแคลเซียมออกไซด์ด้วยการสังเคราะห์จากเถ้ากะลาปาล์มเนื่องจากเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถแยกออกจากน้ำมันไบโอดีเซลได้ง่ายให้ผลผลิตปริมาณสูง ลดขั้นตอนการล้างน้ำมัน ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและช่วยลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมและไม่ส่งผลกระทบต่อเครื่องยนต์และสิ่งแวดล้อม เพราะเถ้ามีคุณสมบัติเทียบเท่ากับโซเดียมไฮดรอกไซด์แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และมีต้นทุนที่ไม่สูง

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการใช้เถ้ากะลาปาล์มมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล เพื่อศึกษาการใช้เถ้าชีวมวลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนสารเคมีและลดปริมาณเถ้าเหลือทิ้งให้น้อยลง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบการใช้กะลาปาล์มเป็นสารเร่งปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลเพื่อทดแทนการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงวิชาการระดับห้องปฏิบัติการ (Lab-scale Academic Research) ทำการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ ๓๐ องศาเซลเซียส ห้องปฏิบัติการ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ โดยกำหนดขอบเขตการวิจัยดังนี้

1.3.1 นำเถ้าจากกะลาปาล์มมาเผาผนึก (calcine) แทนการใช้เถ้าจากการเผาไหม้โดยตรง

1.3.2 นำน้ำมันที่เหลือทิ้งจากการประกอบอาหารจากในครัวเรือนและอุตสาหกรรมขนาดย่อม เช่น การทอดแคบหมูมาใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

1.3.3 ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชันโดยการเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มาเป็นเถ้ากะลาปาล์ม

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

หากงานวิจัยเรื่องการใช้เถ้ากะลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลได้จัดทำสำเร็จ คาดว่าจะได้รับประโยชน์จากการจัดทำดังต่อไปนี้

- 1.4.1 สามารถช่วยลดปริมาณน้ำมันที่เหลือทิ้งจากในชุมชนและอุตสาหกรรมขนาดย่อมมาทำให้เกิดประโยชน์
- 1.4.2 สามารถลดมลพิษที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อมทั้งในกระบวนการผลิตและการใช้งาน





## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือทิ้ง โดยใช้ แก้วกะลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย นิยามและความหมายของไบโอดีเซล ประเภทของไบโอดีเซล กระบวนการผลิตไบโอดีเซล ตัวเร่งปฏิกิริยา คุณสมบัติของไบโอดีเซล ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันคุณภาพและมาตรฐานไบโอดีเซล โดยสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

#### 2.1 นิยาม ความหมายของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (Biodiesel) [4] เชื้อเพลิงทดแทนประเภทดีเซลจากธรรมชาติ เช่น น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ มาผลิตไบโอดีเซลซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ มาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ Ethanol หรือ Methanol) และมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะได้ผลิตผลเป็นเอสเทอร์ (Ester) และผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้กลีเซอรอล ซึ่งเราจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์นี้ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์นี้มี คุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุดเพราะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล สารประเภทเอสเทอร์ ทำจากน้ำมันพืชผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยให้น้ำมันพืชสกัดโดยตรงหรือน้ำมันพืชที่เหลือทิ้งมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล และใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีลักษณะเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน การเรียกชื่อประเภทของไบโอดีเซลขึ้นอยู่กับชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา [4] เช่น เมทิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เมทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยาหรือเอทิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เอทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น

#### 2.2 ประเภทของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลแบ่งได้เป็น 3 ประเภท [5] คือ

1. น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ ไบโอดีเซลประเภทนี้ คือ น้ำมันพืชแท้ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้เลยโดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นๆ ไม่ต้องนำมาแปลงสมบัติของน้ำมันอีก

2. ไบโอดีเซลแบบผสมไบโอดีเซลประเภทนี้ เป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์กับน้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่สุด

3. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ไบโอดีเซลประเภทนี้มีกระบวนการที่ยุ่งยากมากต้องผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ การนำน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้เอสเทอร์

ในงานวิจัยนี้จึงเลือกการทำไบโอดีเซลประเภทที่ 3 ซึ่งประเภทที่ 1 และ 2 นั้นอาจส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์เพราะในน้ำมันอาจมีความหนืดและความชื้นเครื่องยนต์จะทำงานไม่เสถียร ในประเภทที่ 3 จะมีการไล่ความชื้นออกจากน้ำมันและใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับเอทานอลหรือเมทานอลทำให้น้ำมันที่นำมาใช้มีความเสถียรมากกว่าประเภทที่ 1 และ 2

### 2.3 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้และของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต ดังนี้

#### 1. การใช้โดยตรงและการผสม

การใช้โดยตรงคือ การนำจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาใช้เป็นน้ำมันไบโอดีเซลโดยตรงเช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันหมู เป็นต้น ใส่ลงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่มีการผสมสารเคมีอื่นหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน [6] พบว่าน้ำมันพืชจะมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลและอาจทำให้หัวฉีดน้ำมันในเครื่องยนต์เกิดเป็นฟอยได้ยาก ส่งผลให้เกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ การใช้ น้ำมันพืชโดยตรงจึงก่อให้เกิดความยุ่งยากและเครื่องยนต์อาจเกิดปัญหาได้ [7] สำหรับการผสมคือการนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาผสม กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซลเพื่อให้ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด และเป็นการลดความหนืดที่เกิดขึ้นจากการใช้ไบโอดีเซลโดยตรง [8]

#### 2. ไมโครอิมัลชัน

วิธีการไมโครอิมัลชัน คือ การผสมสาร 2 ชนิดที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยใช้สารลดแรงตึงผิว เป็นตัวประสาน ทำให้ อนุภาคแขวนลอยที่ได้มีขนาดเล็กมากอยู่ในช่วง 1-150 nm จมมองด้วยตาเปล่าเป็นสารเนื้อเดียวกันลักษณะใส วิธีนี้สามารถช่วยลดค่าความหนืดในน้ำมันพืชได้ โดยใช้ร่วมกับตัวทำละลาย เช่น เมทานอล เอทานอล และ 1-บิวทานอล

การผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีนี้เป็นกรรมวิธีการผลิตที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และไม่ต้องสูญเสียพลังงานในการผลิต เพียงแต่ต้องหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารแต่ละชนิด โมโคโรอิมัลชันที่ได้จะเป็นน้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่มีการสะสมตัวของคราบเกาะรอบๆ หัวฉีดและวาล์วของเครื่องยนต์ [9]

### 3. การสลายด้วยความร้อน

การสลายด้วยความร้อน หรือที่เรียกว่า Pyrolysis Process เป็นกระบวนการใช้ความร้อนหรือใช้ความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเปลี่ยนสารประกอบหนึ่งชนิดไปเป็นสารประกอบอื่น ๆ มากกว่าหนึ่งชนิด ทำให้น้ำมันมีขนาดโมเลกุลเล็กลง นิยมใช้อุณหภูมิประมาณ 450 - 600 °C และมีการจำกัดปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ กลไกของกระบวนการแตกสลายทางความร้อน วัตถุประสงค์ที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการ นี้ได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน [9]

### 4. การทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤติ

เป็นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยนำน้ำมันวัตถุดิบมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤติ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจึงไม่มีของเสียจากกระบวนการ แต่จะต้องใช้อุณหภูมิและความดันในระดับที่ค่อนข้างสูงประมาณ 512.2 K และ 8.1 mPa ตามลำดับ เพื่อต้องทำให้เมทานอลอยู่ในสถานะเหนือวิกฤติ และวิธีการนี้ยังสามารถแก้ปัญหาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่มีค่าความเป็นกรดและปริมาณน้ำที่สูงได้ [9]

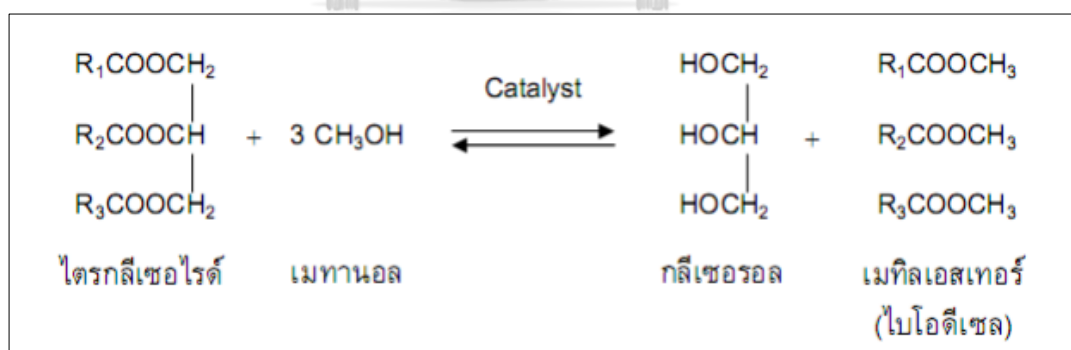
### 5. ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน คือ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้เป็นไตรกลีเซอไรด์ ทำให้มีกรดไขมันอิสระไม่เกิน 1% โดยใช้การทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรด โดยทั่วไปนิยมใช้กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) [21] ในสถานะอุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาทำปฏิกิริยานาน 1-2 ชั่วโมง [10] การผสมตัวเร่งปฏิกิริยา คือ กรด  $H_2SO_4$  ควรผสมกับ เมทานอลก่อน ถ้าใช้กรดประเภท ของเหลวต้องผสมให้เข้ากันก่อน แต่ถ้ากรดเป็นประเภทของแข็ง (เม็ดหรือเกล็ด) ทำการกวนผสมให้ ละลาย ปริมาณกรด  $H_2SO_4$  ที่ใช้เทียบกับปริมาณเมทานอล อยู่ในช่วงไม่เกิน 5%wt ของน้ำมันโดยผลการทดลองหลายงานวิจัยแนะนำให้ใช้กรด  $H_2SO_4$  ประมาณ 1.8%wt ของน้ำมัน [11]

ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจะใช้กรด  $H_2SO_4$  ผลผลิตที่ได้อย่างหนึ่งของกระบวนการนี้คือน้ำ ซึ่งจะแยกชั้นออกจากสารเอสเทอร์ ถ้าน้ำไม่แยกชั้นออกไปจากสารเอสเทอร์ จะไม่สามารถทำทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในขั้นตอนต่อไปได้เนื่องจากอาจเกิดสบู่ หลังจากการทำปฏิกิริยานาน 1-2 ชั่วโมงจะเป็นขั้นตอนการแยกชั้นให้ส่วนผสมน้ำกับเมทานอลแยกชั้นออกจากน้ำมันเมื่อสิ้นสุดกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันจะใช้เวลาแยกชั้นประมาณ 2 ชั่วโมง หรือนานกว่านั้น ในขั้นตอนนี้ น้ำและเมทานอลจะรวมตัวกันหลังจากทำการแยกน้ำมันออกแล้วสามารถกลั่นแยกเมทานอลออกจากน้ำเพื่อนำไปกลับมาใช้ใหม่ได้[8]

#### 6.ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ไบโอดีเซลเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันพืชที่ใช้แล้วกับ แอลกอฮอล์ [3] เช่น เมทานอล หรือเอทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นกรดหรือด่าง โดยปกติในน้ำมันพืชประกอบไปด้วยกรดไขมันอิสระ, Phospholipids, Sterols, น้ำ และสิ่งเจือปนอื่นๆ ดังนั้นในการนำน้ำมันมาใช้เป็นเชื้อเพลิง จำเป็นต้องผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นสายโซ่ตรง และหนึ่งในกระบวนการนั้น คือ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจาก ไตรกลีเซอไรด์ ให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์ หรือเอทิลเอสเทอร์ และกลีเซอริน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แต่ก็มีข้อจำกัดของการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ [12] นั่นก็คือ ปฏิกิริยาการเกิดไบโอดีเซล



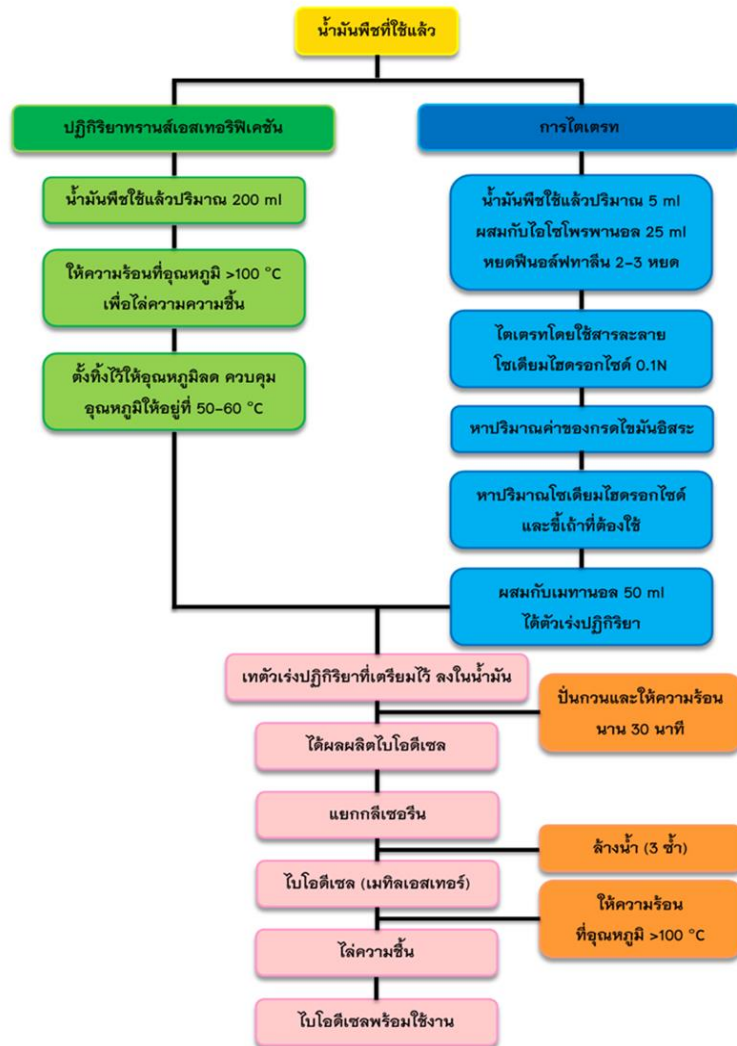
รูปที่ 2.1 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยานี้จะกระทำโดยตรงกับกลีเซอไรด์เท่านั้น กรดไขมันอิสระ ถือว่าเป็นอุปสรรคสำคัญของการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากกรดไขมันอิสระจะไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นถ้าใส่สารเคมีที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามากหรือน้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยา อาจทำให้เกิดไขสบู่ในน้ำมันไบโอดีเซลได้และไม่สามารถนำมาใช้ได้ น้ำมันจะมีความหนืดสูงและสารเคมีเกิดการระเหย โดยทั่วไปแล้วค่ากรดไขมันอิสระ ไม่ควรเกิน 2% ถ้าเกินไม่ควรนำมาผลิตไบโอดีเซลเพราะในน้ำมันอาจจะสกปรกมากเกินไป

ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาจะมีกลีเซอรอล หลุดแยกออกมาจากเมทิลเอสเทอร์ทำให้ปกคลุมพื้นที่การเกิดปฏิกิริยา จากประสบการณ์พบว่า การทำปฏิกิริยาครั้งแรกจะเกิดเมทิลเอสเทอร์ได้ประมาณ 90% เท่านั้น ที่เหลืออีก 6.5% ตามมาตรฐานจะต้องทำปฏิกิริยารอบสอง แต่ปฏิกิริยารอบสองนั้นไม่สามารถเกิดขึ้นสมบูรณ์ได้ถ้าหากสบู่ที่ละลายอยู่ในเอสเทอร์นั้นยังเป็นอุปสรรคของการทำปฏิกิริยา เราจึงจำเป็นต้องนำมาผ่านกระบวนการล้างด้วยน้ำกลั่นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อล้างกลีเซอรอลและไขสบู่ออกจากเมทิลเอสเทอร์และทำการไล่ความชื้นออกโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $>100\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยมีกระบวนการผลิตที่แสดงให้เห็นถึงกระบวนการผลิตอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.2

## แผนผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ในการผลิตไบโอดีเซลสามารถแสดงเป็นแผนผังการทำงานได้



รูปที่ 2.2 แผนผังกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ในการผลิตไบโอดีเซลเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพตามค่ามาตรฐานที่กำหนดนั้น เราควรที่จะศึกษาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไบโอดีเซลเพื่อให้กระบวนการผลิตนั้นมีประสิทธิภาพและสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ได้จริงไม่ส่งผลต่อระบบเครื่องยนต์เราจึงต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของไบโอดีเซลซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

## 2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ สารที่เพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้นหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลงจะเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปเดิม [13] การที่ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาให้ต่ำลง จึงทำให้มีโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าหรือเท่ากับพลังงานก่อกัมมันต์จำนวนมากขึ้น ปฏิกิริยาเคมีจึงเกิดเร็วขึ้น แต่จะไม่ทำให้พลังงานของปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงไป [14] การทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยามักจะเกิดขึ้นโดยการเกิดพันธะเคมีกับสารตั้งต้นอย่างน้อยหนึ่งชนิดในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะมีตัวเร่งปฏิกิริยา และแอลกอฮอล์ที่เป็นตัวช่วยทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีดำเนินการเสร็จสมบูรณ์ และได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลเร็วยิ่งขึ้น โดยรายละเอียดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมี 4 ประเภท ดังต่อไปนี้

### 1. ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอนไซม์

ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอนไซม์ที่นิยมใช้ ได้แก่ เอนไซม์ไลเปส สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันและเอสเทอริฟิเคชัน [15] ตัวเร่งชนิดนี้สามารถตรึงบนตัวรองรับได้ จึงแยกผลิตภัณฑ์ออกได้ง่ายขึ้น ไบโอดีเซลที่ได้จึงมีความบริสุทธิ์สูง ไม่จำเป็นต้องมีการล้างตัวเร่งปฏิกิริยาออก และสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ น้ำที่มีอยู่ในน้ำมันไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา สามารถใช้เอนไซม์ที่ความเข้มข้นสูงๆ เพื่อให้ความไวของปฏิกิริยายาวนานขึ้น แต่ต้องมีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิที่ใช้ และราคาค่อนข้างสูง

### 2. ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous) คือตัวเร่งที่อยู่ในสถานะเดียวกับสารที่ทำปฏิกิริยา ส่วนใหญ่มักเป็นสารที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับสารตั้งต้น ซึ่งเป็นผลให้การแพร่ของสารละลายเป็นไปได้อย่างดี ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มักเป็นโมเลกุลที่มีตำแหน่งสำหรับเร่งปฏิกิริยาชัดเจน เกิดการสลายตัวหรือเสียดสภาพในสถานะที่ใช้ความร้อนหรือความดันสูง ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มี 2 ชนิด [15] คือ

1.) ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์แบบกรด โดยส่วนมากกรดที่นิยมใช้คือ  $H_2SO_4$  สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิและความดันต่ำ ให้ผลผลิตไบโอดีเซลในปริมาณมากและใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาน้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยากรดชนิดอื่นๆ แต่การเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าการใช้เบสเป็นตัวเร่ง

เหมาะสำหรับกลีเซอไรด์ที่มีปริมาณค่ากรดไขมันอิสระ สูงมาก เช่น น้ำมันที่ผ่านการปรุงอาหารแล้ว [13]

2.) ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์แบบเบส โดยส่วนมากเบสที่นิยมใช้คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้รับความนิยมที่สุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่ให้ปริมาณไบโอดีเซลสูงในระยะเวลาอันสั้น มีราคาถูก แต่การใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องทำให้น้ำมันไม่มีน้ำหรือมีน้อยที่สุด เนื่องจากน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสบู่ ประสิทธิภาพของตัวเร่งจะปฏิกิริยาลดลง ไบโอดีเซลที่ได้จึงน้อยลง หลังสิ้นสุดปฏิกิริยาจำเป็นต้องทำการแยกตัวเร่งออกโดยการล้าง เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง ดังนั้นควรทำการไล่ความชื้นในน้ำมันที่จะนำมาทำปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยาออกก่อนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์จำเป็นต้องมีขั้นตอนการล้างเอาตัวเร่งปฏิกิริยาออกเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความบริสุทธิ์ ซึ่งต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ผลผลิตไบโอดีเซลที่จึงลดลง และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย [15]

### 3.) ตัวเร่งปฏิกิริยาวีรพันธ์

ตัวเร่งปฏิกิริยาวีรพันธ์หรือแบบของแข็ง (Heterogeneous) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในสถานะแตกต่างจากสารตั้งต้น เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็ง สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซหรือของเหลว จึงทำให้ไม่มีไอออนบวกซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดสบู่ สามารถทำปฏิกิริยาที่ความดันและอุณหภูมิสูงได้ แต่อาจใช้เวลานาน [13] ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้สามารถแยกตัวเร่งออกมาได้ง่ายโดยการกรองหรือการตกตะกอน และสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ ช่วยลดปริมาณน้ำเสียในขั้นตอนการล้างแยกผลิตภัณฑ์ จึงทำให้การผลิตไบโอดีเซลมีต้นทุนต่ำลง ซึ่งเป็นข้อดีกว่าตัวเร่งชนิดอื่นๆโดยทั่วไปนิยมใช้แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ สังกะสีออกไซด์ เนื่องจากเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไวในและใช้สภาวะในการทำปฏิกิริยาที่ง่ายกว่า [16] ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวีรพันธ์ชนิดเบส คือ แคลเซียมออกไซด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูงสามารถสังเคราะห์ได้จากแหล่งวัสดุเหลือทิ้งทางธรรมชาติจากพวกแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) เช่น เปลือกปู เปลือกไข่ และเปลือกหอยต่างๆ



#### 4.) แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

แอลกอฮอล์ (Alcohol) คือสารประกอบอินทรีย์ ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ต่อกับอะตอมคาร์บอนของหมู่แอลคิลหรือหมู่ที่แทนแอลคิลชื่อสารเคมีกลุ่มหนึ่ง แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซล โดยส่วนมากแบ่งออกได้ 2 ประเภท ดังนี้

- 1) เอทานอล (Ethanol) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) มีสูตรเคมีคือ  $C_2H_5OH$  [17] ลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ติดไฟง่าย มีความไวไฟ ไม่มีเขม่า ละลายน้ำได้ดี เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 99.8% จะมีค่าออกเทนสูงถึง 113 มีสมบัติเป็นของเหลว ใส ไม่มีสี มีกลิ่นหอม ติดไฟให้ความร้อนสูงสามารถผลิตได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี และกระบวนการหมักวัตถุดิบจำพวกแป้ง และน้ำตาลด้วยจุลินทรีย์ นิยมนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตสารเคมีอื่นๆหรือนำมาใช้ประโยชน์โดยตรง [18] เช่น ทำการผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อแก้ปัญหาวิกฤตการณ์น้ำมันราคาแพง โดยใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตั้งแต่ร้อยละ 95 เนื่องจากเอทานอลมีสมบัติช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำมัน จึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นและเป็นการลดมลพิษในอากาศ
- 2) เมทานอล (Methanol) หรือ เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl Alcohol) มีสูตรเคมีคือ  $CH_3OH$  ลักษณะเป็นของเหลวใส ระเหยง่าย ติดไฟง่าย มีความเป็นพิษ [19] ใช้ประโยชน์เป็นตัวทำละลายสารลดจุดเยือกแข็งเชื้อเพลิง และสารตั้งต้นในการผลิตสารเคมีเป็นแอลกอฮอล์หลักที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากมีราคาถูก มีขนาดโมเลกุลเล็ก คุณสมบัติดังกล่าวสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลได้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันได้อย่างรวดเร็ว โดยสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 3:1 แต่ในทางปฏิบัติต้องใช้อัตราส่วนที่มากกว่านั้น [13] เมทานอลสามารถระเหยออกสู่อากาศภายนอกแล้วสลายตัวได้คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) และน้ำ ( $H_2O$ ) หากเผาเมทานอลกับอากาศจะได้  $CO_2$  กับน้ำ

#### 2.5 คุณสมบัติของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล [20] โดยเครื่องยนต์บางรุ่นอาจต้องการการปรับปรุง ระบบเชื้อเพลิงและถังเชื้อเพลิงเล็กน้อย การใช้งานส่วนใหญ่จึงนิยมไปผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อช่วยลดความหนืดของน้ำมันลงและช่วยส่งเสริมให้เกิดการใช้ไบโอดีเซลอย่างแพร่หลาย หลายๆ ประเทศจึงต้องกำหนดมาตรฐาน สำหรับคุณภาพ ไบโอดีเซลขึ้น เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา มี

มาตรฐาน ASTM D6751 ในทวีปยุโรปมีมาตรฐานรวมกัน ที่ใช้ EN14214:2003 ประเทศสหพันธรัฐเยอรมนีมีมาตรฐาน DIN E51606 และประเทศออสเตรเลีย มีมาตรฐานที่กำหนดขึ้นใช้เองเรียกว่า Fuel standard (Biodiesel) determination 2003 เป็นต้น

สำหรับประเทศกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงานได้ออกประกาศเพื่อกำหนดคุณภาพและลักษณะของไบโอดีเซลชั้น 2 ฉบับ [20] ได้แก่

1. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพไบโอดีเซล ประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 สำหรับไบโอดีเซลที่จะนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ซึ่งสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทุกประเภท

2. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549 ประกาศขึ้นเพื่อกำกับคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นในชุมชนและใช้กันเองภายในชุมชน ใช้กับเครื่องจักรกลการเกษตรประเภทรอบต่ำเท่านั้น ซึ่งมาตรฐานของต่างประเทศ และของประเทศไทยที่กล่าวมา สำหรับมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2550 จะมีข้อกำหนด 23 ข้อ รวมกับสารเติมแต่งอีก 1 ข้อ รวมทั้งสิ้นเป็น 24 ข้อ

ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ศึกษาคุณสมบัติเป็นบางข้อเท่านั้น ซึ่งคุณสมบัติแต่ละข้อสามารถอธิบายได้ดังนี้

### 2.5.1 เมทิลเอสเทอร์

ค่าเมทิลเอสเทอร์ [20] คือ ปริมาณโมเลกุลเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล ค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานบ่งชี้ว่าการผลิตไบโอดีเซลให้ได้โมเลกุลไบโอดีเซลมากตามเกณฑ์ โมเลกุลหรือสารอื่นๆ ที่ปะปนมาจะมีน้อย ซึ่งทำให้ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในทุกๆ ด้านดีตามไปด้วย การนำไปใช้จะให้ผลด้านประสิทธิภาพการสึกหรอ เขม่าควัน หรือคุณสมบัติอื่นๆ ในทางที่ดีทั้งหมดใช้ระบุนความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล วิธีทดสอบใช้ตาม EN14103 ซึ่งตรวจวัดโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี และผลที่ได้ต้องให้ค่าต่ำกว่า 96.5%wt

### 2.5.2 ความหนาแน่น

เป็นค่าที่ระบุคุณสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพของไบโอดีเซล[20] ทดสอบตามวิธี ASTM D1298 ซึ่งผลที่ได้จะได้ค่าไม่ต่ำกว่า 860 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และไม่สูงกว่า 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ 15 °C

### 2.5.3 ความหนืด

ความหนืดในน้ำมันมีความสำคัญมากในการใช้งานเครื่องยนต์ [20] เพราะเป็นตัวบอกลักษณะความสามารถในการต้านทานการไหลและบอกถึงคุณสมบัติในการหล่อลื่นพื้นผิว ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D445 ซึ่งผลที่ได้ให้ค่าในช่วง 3.5-5.0 (เซนติสโตกส์, cSt) ณ อุณหภูมิ 40 °C

### 2.5.4 จุดวาบไฟ

คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงเกิดการระเหย [20] มีจำนวนเพียงพอที่จะลุกติดไฟได้วูบหนึ่งแล้วดับเมื่อมีเปลวไฟผ่านเข้ามา ให้ใช้วิธีตาม ASTM D93 (Pensky Martens Closed Cup Tester) ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่ต่ำกว่า 120 °C จุดวาบไฟนั้นนอกจากจะใช้ประเมินการจุดติดไฟของผลิตภัณฑ์แล้วยังเป็นตัวที่จะบอกถึงความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ที่เกิดการเผาไหม้อีกด้วย โดยสรุปแล้วจุดวาบไฟมีความสำคัญในแง่ความปลอดภัยในการเก็บรักษา และขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิง

### 2.5.6 น้ำ

คือ การตรวจหาน้ำอิสระที่อยู่ในน้ำมัน [20] เพราะการมีน้ำปริมาณสูงเกินไปจะเร่งให้เกิดออกซิเดชันได้ง่าย ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์และอายุการใช้งานต่ำลงเพราะการเกิดสนิมและตะกอนตกค้างในส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งเพาะจุลินทรีย์ทำให้เกิดกรดและนำไปสู่การกัดกร่อนและอุดตันระบบกรองน้ำมัน การทดสอบใช้มาตรฐาน EN ISO 12937 ซึ่งต้องให้ค่าไม่เกิน 0.050%wt

### 2.5.7 ค่าความเป็นกรด

ในไบโอดีเซลใช้บ่งชี้ถึงกรดไขมันอิสระที่ทำปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ [20] หรือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดหรือมีข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลที่มีการเติมกรดช่วยปรับ pH เป็นกลางการมีค่าความเป็นกรดในน้ำมันสูงเกินไป ส่งผลให้อายุการใช้งานของระบบจ่ายน้ำมันและเครื่องสูบล้าง กำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี ASTM D664 ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่สูงกว่า 0.5 mg KOH/g

### 2.5.8 เมทานอล

เป็นการทดสอบหาเมทานอลในไบโอดีเซล [20] ถ้าในน้ำมันไบโอดีเซลมีเมทานอลปนอยู่มากจะมีความเสี่ยงมากขึ้นที่จะลุกติดไฟในการขนย้ายและจัดเก็บ ในข้อกำหนดของไบโอดีเซล

ประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14110 ซึ่งตรวจวัดโดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ผลทดสอบต้องมีเมทานอลในไบโอดีเซลไม่สูงกว่า 0.20%wt

### 2.5.9 ค่าความร้อน

เป็นปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาต่อหน่วยน้ำหนักเมื่อวัสดุถูกนำไปเผาไหม้อย่างสมบูรณ์กับออกซิเจน โดยการนำวัสดุไปวิเคราะห์ในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) และบันทึกอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงยิ่งสูงจะแสดงถึงคุณภาพที่ดีของเชื้อเพลิงนั้นๆ ค่าความร้อนอาจรายงานเป็นหน่วยต่างๆแล้วแต่ประเทศที่ใช้ เช่น MJ/Kg, BTU/Lb, Cal/g หรือ Kcal/Kg [21]

### 2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไบโอดีเซล

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและการเร่งปฏิกิริยา มีอยู่หลายปัจจัย [20] ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิ เวลา ความเข้มข้นและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา และการปน กวน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ถือเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการผลิตเป็นอย่างมาก ถ้ามีในส่วนมากใดมากหรือน้อยเกินไปอาจทำให้ประสิทธิภาพของไบโอดีเซลต่ำลงหรืออาจทำให้กระบวนการทำปฏิกิริยาไม่เกิดปฏิกิริยา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 2.6.1 อัตราส่วนระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน

แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยามีหลายชนิด [20] เช่น เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล แม้ว่าการเร่งปฏิกิริยาด้วยเมทานอลจะให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าที่สุด แต่มี 2 ปัจจัย ที่มีผลต่อการเข้ากันได้ของสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา คือ การเพิ่มความปริมาณการใช้ และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เนื่องจากการเพิ่มของน้ำหนักโมเลกุลของแอลกอฮอล์ ในทางทฤษฎีพบว่าต้องใช้เมทานอล 3 โมล ต่อไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล เพื่อให้ได้เมทิลเอสเทอร์ 3 โมล และกลีเซอรอล 1 โมล (อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 3:1) อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้น้ำมันบริสุทธิ์โดยใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด ถ้ามีปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วและสมบูรณ์ขึ้น รวมทั้งเกิดเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น แต่ปฏิกิริยายังเกิดไม่สมบูรณ์ เมื่อใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันสูงกว่าอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 นอกจากนี้ยังทำให้การแยกชั้นระหว่างชั้นเอสเทอร์และชั้นน้ำมีความลำบาก ใช้เวลานานและเสีย

ค่าใช้จ่ายในการแยกมากขึ้น สำหรับน้ำมันที่ใช้แล้วพบว่า ต้องใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 7:1 จะทำให้ได้เอสเทอร์มากที่สุด โดยมากกว่าการใช้น้ำมันบริสุทธิ์

อาจเป็นเพราะน้ำมันที่ใช้แล้วมีความหนืดสูงกว่าทำให้ต้องใช้ปริมาณเมทานอลมาก เพื่อไปละลายน้ำมันและทำให้เกิดการสัมผัสกันของน้ำมันและเมทานอล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันมีผลมากกว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ แม้ว่าการใช้แอลกอฮอล์ต่างชนิดกัน จะทำให้มีความแตกต่างกันในกลไกการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณเอสเทอร์ที่ได้

### 2.6.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตไบโอดีเซล [20] การใช้อุณหภูมิสูงในการทำปฏิกิริยาจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นโดยอุณหภูมิสูงจะทำให้การแยกตัวของแต่ละเฟสลดลง ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นและเพิ่มการเข้ากันได้ของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เวลาในการทำปฏิกิริยาลดลงแต่การใช้อุณหภูมิสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดไขสบู่มากขึ้นสำหรับ น้ำมันบริสุทธิ์ [22] ส่วนในน้ำมันที่ใช้แล้ว การใช้อุณหภูมิสูงจะเพิ่มความหนืดของไบโอดีเซลและมีผลต่อการเกิดสบู่และทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ลดลง ทำให้การละลายของน้ำมันในเมทานอลดีขึ้นและเพิ่มพื้นที่การสัมผัสทำให้เกิดไตรกลีเซอไรด์สูงขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดดีและเร็ว แต่มีผลในการเร่งการเกิดสบู่ด้วย แสดงว่าอุณหภูมิสูงมีผลในทางลบต่อน้ำมันบริสุทธิ์ แต่มีผลทางบวกต่อน้ำมันที่ใช้แล้วเพราะทำให้มีความหนืดมาก ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้จะสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ ควรหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิที่มากกว่าจุดเดือดของแอลกอฮอล์ เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการเกิดสบู่ของกลีเซอไรด์

### 2.6.3 เวลา

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [20] เกิดอย่างสมบูรณ์มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา กล่าวคือ ถ้าใช้อุณหภูมิสูง ระยะเวลาที่ใช้จะน้อย แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์จะใช้เวลานานขึ้น ส่วนกลไกการเกิดปฏิกิริยาพบว่า ถ้าใช้เวลา 15 นาที ในการเกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยาจะเกิดเร็วในช่วง 5 นาทีแรก โดยเกิดเป็นเอสเทอร์ถึง 90 % จากนั้นปฏิกิริยาจะเกิดอย่างช้าๆ จนเกิดสมบูรณ์ที่ 15 นาที และถ้าปล่อยเวลาให้ผ่านไปจนกระทั่งอยู่ในช่วง 15-30 นาที พบว่าปริมาณเอสเทอร์ที่ได้ไม่เพิ่มขึ้น แต่จะไปลดผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากเวลาที่มากจะทำให้เกิดการไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์ ทำให้ปริมาณเอส

เทอร์ลดลง มีกรดไขมันเพิ่มและเกิดสบู่ในที่สุด เมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นสบู่มากขึ้น ดังนั้นต้องควบคุมไม่ให้ใช้เวลานานเกินไป เนื่องจากจะไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาผันกลับทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็น การเพิ่มการผสมกันของสารตั้งต้นและการกระจายตัวของเมทานอลในน้ำมัน

#### 2.6.4 ความเข้มข้นและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาล้าน้อยเกินไปจะไม่เพียงพอต่อการเร่งปฏิกิริยา แต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์น้อยลง [20] เนื่องจากเกิดสบู่ขึ้นแทน ทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่ม ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากมีการถ่ายเทมวลน้อยของอัตราส่วนเมทานอล ต่อ น้ำมันในระดับต่ำ แต่ถ้าใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อ น้ำมันสูงจะเพิ่มการสัมผัสของเมทานอลกับน้ำมันมากขึ้น จึงทำให้ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นด้วย แต่การเพิ่มของเมทานอลที่มากเกินไปจะทำให้เกิดเอสเทอร์เพิ่มและจะไปรบกวนการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอริน เนื่องจากเมทานอลไปทำให้การละลายของทั้งสองชั้นดีขึ้น นอกจากนี้การเกิดผลิตภัณฑ์ที่ลดลงยังเพิ่มการละลายเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นการลดการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอริน อัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณกรดมากขึ้น แต่การใช้กรดมากจะกระตุ้นให้เกิดอีเทอร์จากปฏิกิริยา Alcohol degradation มากขึ้น การใช้ด่างมากเกินไปจะทำให้ไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นสบู่ยิ่งมีด่างมาก ไตรกลีเซอไรด์ยิ่งเปลี่ยนเป็นสบู่มาก ทำให้เปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ได้น้อยลง ตัวอย่างเช่น การลดลงของผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มความเข้มข้น ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ จาก 0.5 เป็น 1.5 เนื่องจากมีการเกิดสบู่ในปฏิกิริยา การเกิดสบู่จะทำให้เมทิลเอสเทอร์ละลายในชั้นกลีเซอรอล ทำให้การแยกชั้นเมทิลเอสเทอร์กับชั้นกลีเซอรอลทำได้ยากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลถึงการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีมากเกินไปและการกำจัดสบู่ที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลมากกว่าอุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนของเมทานอลต่อ น้ำมันที่ใช้

จากปัจจัยที่ได้แสดงมาข้างต้นถือว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลถ้าในกระบวนการผลิตขาดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอาจจะส่งผลให้การทำปฏิกิริยาของไบโอดีเซลนั้นไม่สมบูรณ์ได้จึงจำเป็นต้องศึกษาในทุกปัจจัยในการเกิดไบโอดีเซลเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลสมบูรณ์สามารถใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

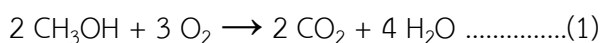
### 2.6.5 ค่ากรดไขมันอิสระ

ค่าของกรดไขมันอิสระโดยทั่วไปแล้วในแต่ละครั้งของกระบวนการผลิตเราควรที่จะหาของกรดไขมันอิสระตามสูตรของ %FFA (Free fatty acid) ซึ่งค่าจากการคำนวณไม่ควรเกิน 2 % ถ้าค่าเกินไม่ควรนำมาผ่านกระบวนการทดลองเพราะน้ำมันอาจสกปรกเกินไปและมีไขมันสูงทำให้เกิดความหนืดของน้ำมัน

กรดไขมันอิสระ หมายถึง กรดไขมัน [23] ที่ไม่ได้รวมอยู่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ โดยปกติ กรดไขมันซึ่งจัดเป็นลิพิด มักพบอยู่ในน้ำมันและไขมันที่ใช้ปรุงอาหารบริโภค โดยจะรวมกันในรูปของไตรกลีเซอไรด์ หากถูกแยกออกมาโดยการไฮโดรไลซ์ จะอยู่ในรูปของกรดไขมันอิสระ การเกิดกรดไขมันอิสระในอาหาร เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันพืช ไขมัน และน้ำมันทอดซ้ำ รวมทั้งอาหารที่มีไขมันสูง ปริมาณกรดไขมันอิสระเป็นต้นเหตุสำคัญของการเสื่อมเสียอาหาร คือการเกิดกลิ่นผิดปกติ ที่เรียกว่า กลิ่นหืน และทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำมันสูงขึ้นสาเหตุของการเกิดกรดไขมันอิสระ คือ ไตรกลีเซอไรด์ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ไลเปส โดยมีน้ำเป็นส่วนร่วมในปฏิกิริยา เรียกว่า Hydrolytic rancidity

### 2.6.6 เมทานอล หรือ เมทิลแอลกอฮอล์

มีสูตรโครงสร้างแบบย่อ  $\text{CH}_3\text{OH}$  [20] เป็นของเหลวใส ระเหยง่าย เป็นพิษ นิยมใช้เป็นตัวทำละลายและ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในธรรมชาติ เมทานอลเป็นผลิตภัณฑ์จากการสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียหลายชนิด ซึ่งเมทานอลจะระเหยออกสู่อากาศภายนอก แล้วสลายตัวได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ หากเผาเมทานอลกับอากาศ จะได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ดังแสดงในสมการที่ 1





รูปที่ 2.3 เมทานอล หรือเมทิลแอลกอฮอล์

เมทานอลส่วนใหญ่ นำไปเป็นสารฟอร์มัลดีไฮด์ เพื่อผลิตพลาสติก ไม้อัด สี วัตถุระเบิด และการจัดกลีบผ้าถาวร สารแปรรูปของเมทานอลถูกนำไปผสมกับ LPG เพื่อใช้ในครัวเรือน หรือผสมกับน้ำมันดีเซลทำเป็นไบโอดีเซล[20]

#### 2.6.7 โซดาไฟ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์

มีสถานะเป็นของแข็งสีขาวหรืออาจอยู่ในรูปของเหลวที่เป็นสารละลาย [24] ถือเป็นสารเคมีที่มีความสำคัญมากในภาคอุตสาหกรรม โดยปัจจุบันมีจำหน่ายทั้งในสถานะของแข็งและของเหลว ดังแสดงในรูปที่ 5 โซดาไฟหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ มี 2 สถานะดังนี้

โซดาไฟก้อน [24] เป็นสถานะปกติของโซดาไฟที่อยู่ในรูปของแข็ง มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงสีขาว มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี เมื่อละลายน้ำจะให้ฤทธิ์เป็นด่างแก่ ใช้มากในภาคอุตสาหกรรม และมีใช้บ้างในภาคครัวเรือน และการเกษตร

โซดาไฟเหลว [24] เป็นผลิตภัณฑ์ของโซดาไฟที่อยู่ในรูปของเหลวที่ละลายอยู่ในตัวทำละลาย (น้ำ) มีฤทธิ์เป็นด่าง ไม่มีกลิ่น แต่สามารถเกิดไอระเหยได้ เมื่อสัมผัสจะลื่นเหมือนสบู่ พบจำหน่ายมากในปัจจุบัน ได้แก่ โซดาไฟ 32% และ 50% เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้มากในภาคอุตสาหกรรม





รูปที่ 2.4 โซดาไฟ หรือไฮดรอกไซด์

ประโยชน์ของโซดาไฟ โซดาไฟสามารถใช้ในรูปของโซดาไฟก้อนและโซดาไฟเหลวในด้านต่างๆ คือ

- เป็นสารตั้งต้นในการผลิตโซดาไฟเหลว
- ใช้สำหรับอุตสาหกรรมผลิตสบู่ ด้วยการทำปฏิกิริยากับไขมันเปลี่ยนเป็นสบู่
- ใช้สำหรับขจัดคราบสกปรก และสิ่งอุดตันในท่อระบายน้ำ ด้วยก้อนหรือละลายน้ำเทราดบริเวณที่มีการอุดตันของท่อ
- ใช้สำหรับปรับสภาพความเป็นกรดของน้ำให้เป็นด่าง โดยเฉพาะในระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ
- ใช้สำหรับการตกตะกอนของแร่ธาตุหรือโลหะหนักในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย
- ใช้ฟื้นฟูสภาพของเรซินของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ
- ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมไหม โดยเฉพาะขั้นตอนการลอกกาไหมที่ต้องต้มละลายกาไหมด้วยโซดาไฟ สำหรับการฟอกไหมในระดับครัวเรือน ชาวบ้านเรียกโซดาไฟว่า ผงมัน ซึ่งหาซื้อได้ตามร้านขายเคมีฟอกไหม

#### 2.6.7 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเถ้าชีวมวล

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของเถ้าชีวมวลนั้นเพื่อที่จะทราบความเหมาะสมของเถ้าชีวมวลที่จะนำไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เถ้าจะต้องพิจารณาจากความละเอียดของพื้นผิวและเป็นเถ้าเทาซึ่งคุณสมบัตินี้จะเกิดได้ต่อเมื่อเถ้าเกิดการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ  $> 800\text{ }^{\circ}\text{C}$  จะทำให้เถ้ามีความละเอียด พื้นผิวเรียบจะทำให้

ปฏิกิริยาได้ดีในการผลิตไบโอดีเซล เพราะซีเถ้าจะความเบาตกลึกได้ช้าลงจะทำปฏิกิริยาได้นานขึ้น ทำให้เกิดกระบวนการอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 2.5 เถ้าชีวมวล

การวิเคราะห์คุณสมบัติหรือลักษณะของเถ้าชีวมวล โดยจะวิเคราะห์ค่าดังนี้

- การหาน้ำหนักของซีเถ้าด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ ลำรังสีเอ็กซ์ที่ได้จากเครื่อง X-ray generator จะถูกส่งไปยังสารตัวอย่างเพื่อให้เกิดอันตรกิริยากับธาตุต่างๆ ในสารตัวอย่าง แล้วเกิดเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ขึ้น ให้เอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ผ่านคอลลิเมเตอร์ เพื่อทำให้ลำรังสีเอ็กซ์เป็นลำขนานและไปในทิศทางที่ต้องการ คือ ให้ไป Analyzing crystal ซึ่งอยู่ในสเปกโตรมิเตอร์ที่ทำให้เป็นสัญญาณหรือความกดดันต่ำมากๆ Analyzing crystal จะทำหน้าที่กระจายหรือแยกรังสีเอ็กซ์ออกไปให้มีความยาวคลื่นต่างๆ รังสีเอ็กซ์ที่มีความยาวคลื่นต่างๆ กันจะถูกวัดความเข้มหรือกำลังด้วยการสแกนของดีแทคเตอร์ สัญญาณที่วัดได้จะถูกส่งไปยังเครื่องเก็บข้อมูลแล้วถ่ายถอดออกมาเป็นสเปกตรัมด้วยเครื่องปริ้นหรือ Recorder จากข้อมูลที่เก็บได้ทั้งหมดของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างสามารถนำไปใช้วิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณได้

- การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

ใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบ และพิสูจน์เกี่ยวกับโมเลกุลของสาร โดยศึกษาทรานซิชั่นของการสั่นหรือการหมุนของหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลนั้นๆ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด เลขคลื่นอยู่ในช่วง

(12800-10  $\text{cm}^{-1}$ ) แบ่งย่อยออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ อินฟราเรดย่านไกล (200-10  $\text{cm}^{-1}$ ) อินฟราเรดย่านกลาง (4000-200  $\text{cm}^{-1}$ ) และอินฟราเรดย่านใกล้ (12800-4000  $\text{cm}^{-1}$ )

- การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอน จะผ่านเลนส์รวบรวมรังสีเพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับขนาดของลำอิเล็กตรอนให้มีขนาดใหญ่และเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดต้องปรับขนาดของลำอิเล็กตรอนให้มีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุลงไปยังผิวของชิ้นงานที่ทำการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ สัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมิจะถูกบันทึกและแปลงไปเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์แล้วถูกสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์

- ศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์

เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ เป็นเทคนิคที่ใช้หาสูตรโครงสร้างของสารได้อย่างกว้างขวาง บางครั้งวิธีหาสูตรโครงสร้างจำเป็นต้องใช้วิธีคำนวณที่ยุ่งยากจึงต้องใช้คอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ได้มีข้อมูลซึ่งรวบรวมไว้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์กับผงเหมือนผลึกเป็นจำนวนมาก การหาโครงสร้างของผลึก วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้กันทั่วไปทางเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ คือ Single crystal method ซึ่งสารตัวอย่างที่จะหาโครงสร้างของผลึกจะต้องตกผลึกให้ออกมาเป็น Single crystal แล้วนำไปศึกษาด้วยเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ วิธีที่ 2 ที่นิยมทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างจะถูกบดให้ละเอียดและใช้ได้เป็นอย่างดี กับสถานะของ Bragg ในการวิเคราะห์สมัยใหม่จะใช้เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ ที่มีดีเทคเตอร์หา ค่ามุมเลี้ยวเบนและความเข้มของเอ็กซ์เรย์ที่เลี้ยวเบนออกมาและมี Recorder ทำหน้าที่พล็อตความเข้มของลำแสงเอ็กซ์เรย์ที่เลี้ยวเบนออกมากับมุมที่เลี้ยวเบนแบบอัตโนมัติ

จากการวิเคราะห์งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพราะต้องการทราบความละเอียดของพื้นผิวของซีเมนต์เพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาของกระบวนการผลิตโปเตสเซลเพราะถ้าซีเมนต์มีความละเอียดจะทำให้การทำปฏิกิริยาได้สมบูรณ์

จากการศึกษาการใช้ซีเถ้าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล มีเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหัวข้อดังต่อไปนี้

Meeta Sharma etc al. (2012) [25] ศึกษาการใช้เถ้าไม้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีศักยภาพแตกต่างกันสำหรับการสังเคราะห์ไบโอดีเซล ผลการศึกษาพบว่า การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่จากเถ้าไม้เผา ที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะประกอบไปด้วย  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot 0.05\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  โดยการให้ความร้อนและการสังเคราะห์ทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาเถ้าไม้ แสดงให้เห็นถึงการเร่งปฏิกิริยาที่ดีในกระบวนการ Transesterification ของน้ำมันสบู่ดำกับเมทานอล รวมทั้งการแปลงเอสเทอร์ในช่วง 97-99% สามารถทำได้ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเถ้าไม้ และได้ค่าตามมาตรฐาน ASTM D-6751 ของไบโอดีเซล อีกทั้งยังพบว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาจากเถ้าไม้ที่มีความแตกต่างกัน ทั้งมีศักยภาพและราคาถูก สำหรับใช้ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล ซึ่งสามารถหาวิธีที่จะใช้ประโยชน์จากเถ้าไม้ที่อยู่มากมาย

ปภาณิน จันตะสอน [26] ศึกษาการสังเคราะห์แคลเซียมซิลิเกตจากเปลือกหอยเชอร์รี่และเถ้าแกลบโดยปฏิกิริยาของแข็ง ผลการศึกษาพบว่า การเตรียมแคลเซียมซิลิเกตโดยซิลิกาจากเถ้าแกลบและแคลเซียมออกไซด์ด้วยแคลไซน์เปลือกหอยเชอร์รี่ ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเถ้าแกลบและแคลเซียมออกไซด์ เป็น 1:1 ผสมกันในโถรงบและบดด้วยมือเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง แบบบดแห้งและบดเปียก ผลฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดและเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน ยืนยันการเกิดแคลเซียมซิลิเกตที่เวลาบดเปียก 4 ชั่วโมง หลังการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1000 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงรูปร่างของแคลเซียมซิลิเกตค่อนข้างกลม แคลเซียมซิลิเกตสามารถประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งไบโอดีเซล

Kung-Tung Chen etc al. (2013) [27] ศึกษาการใช้ซีเถ้าแกลบเป็นสารตั้งต้นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ผลการศึกษาพบว่า การนำซีเถ้ามาสังเคราะห์ ตัวเร่งปฏิกิริยา  $\text{Li}_2\text{SiO}_3$  ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติแล้ว เห็นว่ามีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาได้ดี จึงได้นำไปทดลอง โดยใช้เมทานอลต่อน้ำมัน ในอัตราส่วน 24:1, ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 4% และควบคุมอุณหภูมิที่ 65 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง วิธีนี้ประสบความสำเร็จในการแปลงเป็นไบโอดีเซล 99.5%

Márcia Cardoso Manique etc al. (2012) [28] ศึกษาการใช้ซีเถ้าแกลบเป็นตัวดูดซับสำหรับทำไบโอดีเซลบริสุทธิ์จากน้ำมันทอดใช้แล้ว ผลการศึกษาพบว่า ซีเถ้าแกลบมีประสิทธิภาพในการดูดซับสิ่งสกปรกอินทรีย์และอนินทรีย์ในไบโอดีเซล ทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ เนื่องจากในพื้นที่ผิวของ

ซีไธรมีรูพรุนขนาดใหญ่จึงช่วยจับโมเลกุลขนาดใหญ่ได้ง่าย ทั้งยังมีปริมาณซิลิกาที่สูง ซึ่งจะช่วยให้มีความจุในการดูดซับได้มากขึ้น โดยยืนยันจากการวิเคราะห์ EDS และ FTIR

Vinu Vadery et al. (2014) [29] ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำมากกว่าซีไธรมะพร้าวที่อุณหภูมิห้อง ผลการศึกษาพบว่า ที่อุณหภูมิห้อง  $45^{\circ}\text{C}$  ตัวเร่งปฏิกิริยาเตรียมโดยการเผาแคลบมะพร้าวที่อุณหภูมิ  $350^{\circ}\text{C}$  เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาเกิด Fatty Acid Methyl Ester ของไบโอดีเซลมากกว่า 97% ภายใน 30 นาที ของเวลาการเกิดปฏิกิริยา

นาโนเทค, สวทช.[30] ศึกษาการใช้เปลือกไข่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไบโอดีเซล ผลการศึกษาพบว่า เป็นของแข็งสีขาวและพื้นผิวมีสมบัติเป็นเบส ซึ่งเหมาะสมต่อการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซลได้เป็นอย่างดี กลีเซอรอลที่ได้ออกมามีความบริสุทธิ์มากกว่า 80% และไม่เกิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล อีกทั้งยังสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลใหม่ได้ เป็นการลดค่าใช้จ่ายอีกทางหนึ่ง

#### สรุปจากกรณีศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากกรณีศึกษาพบว่าไม้ด้วยทั่วไปถ้าเกิดการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิ  $< 800^{\circ}\text{C}$  จะมี  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  เมื่อนำไปผลิตไบโอดีเซลพบว่ามีคามเหนียวและยังไม่ประสบความสำเร็จในการผลิตไบโอดีเซล จึงได้ศึกษาเพิ่มเติมพบว่า การนำเถ้าที่มีอุณหภูมิ  $< 800^{\circ}\text{C}$  มีผลิตไบโอดีเซลจะเกิดปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์เกิดการตกผลึกเร็วเพราะซีไธรมีสิ่งเจือปน [3] แต่ถ้าใช้ซีไธรมีอุณหภูมิ  $> 800^{\circ}\text{C}$  ซีไธรมี  $\text{CaO}$  เพิ่มขึ้นและพบว่า  $\text{CaO}$  มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับ  $\text{NaOH}$  และ  $\text{KOH}$  จะสามารถทำปฏิกิริยาได้ดี ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลความหนืดลดลงและทำปฏิกิริยาได้นานขึ้นทำให้ได้น้ำมันไบโอดีเซลมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น [12] งานวิจัยของเราจึงเลือกที่จะใช้ซีไธรมีอุณหภูมิ  $> 800^{\circ}\text{C}$  เพื่อให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพที่ดี

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินงาน อุปกรณ์ วิธีการที่ใช้ดำเนินงานวิจัย เพื่อเป็นแบบแผนสำหรับการทำวิจัยการศึกษาการใช้ชี้เถ้ากะลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล เพื่อให้งานวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

#### 1.1 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินงานวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามลักษณะของกระบวนการศึกษา ได้แก่ ส่วนที่ 1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมชี้เถ้า ส่วนที่ 2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และส่วนที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติไบโอดีเซล ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

#### 3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมเถ้ากะลาปาล์ม

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมเถ้ากะลาปาล์ม ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการเตรียมชี้เถ้า

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ก. กะลาปาล์ม ที่ผ่านการทำความสะอาดและทำการตากแดดเพื่อไล่ความชื้นออกจากกะลาปาล์ม

ข. เตาชีวมวล เป็นเตาที่ออกแบบขึ้นเพื่อใช้หุงต้มในครัวเรือน โดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงและสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นแหล่งความร้อนในการหุงต้ม ควบคู่ไปกับการเผาไหม้ชีวมวลโดยตรง จึงทำให้เตาแก๊สชีวมวลสามารถใช้เชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเตาหุงต้มทั่วไป

ค. ถ้วยครุซิเบิล (Crucible) หรือถ้วยกระเบื้องใช้สำหรับบรรจุวัสดุที่จะใช้ในการดูดความร้อนสูง

ง. เตอบความร้อนสูงควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน สามารถแบ่งได้อีก 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล และส่วนที่ 2 อุปกรณ์ และเครื่องมือทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

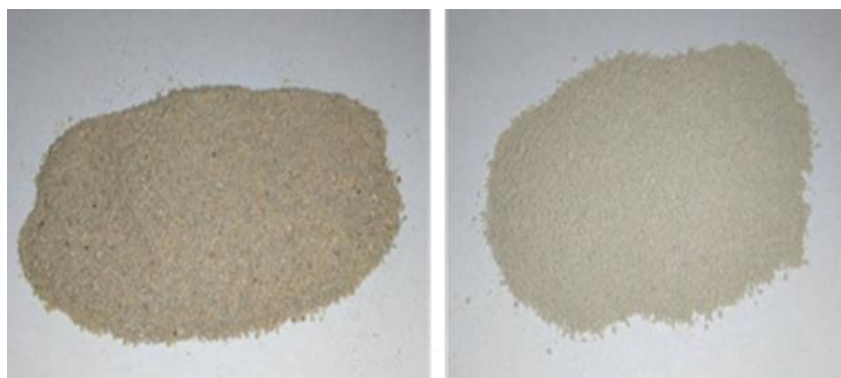
ส่วนที่ 1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ก. น้ำมันพืชที่เหลือทิ้ง เป็นน้ำมันที่ผ่านการใช้งานประกอบอาหารมาแล้ว ไม่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีก ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 น้ำมันพืชใช้แล้ว

ข. แก้วกะลาปาล์ม ที่ทำการเผาแล้ว เป็นแก้วที่ผ่านการเผาไหม้ซ้ำอีกครั้ง ที่อุณหภูมิ มากกว่า 800 °C เพื่อให้แก้วมีความบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่3.3 แก้วกะลาปาล์มที่ทำการเผาแล้ว

ค. โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ 95% หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ด่างคลี เป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์ของโพแทสเซียม ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่3.4 โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ 95%



ง. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1N เป็นสารละลายที่เจือจางโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5.6 g ต่อน้ำกลั่น 1000 ml ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1N

จ. เมทานอล เป็นของเหลวใส ระเหยง่าย เป็นพิษ นิยมใช้เป็นตัวทำละลาย และใช้เป็นเชื้อเพลิง ในธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เมทานอล

ฉ. ไอโซโพรพานอล เป็นตัวทำละลายประสิทธิภาพสูงและมีพิษน้อยกว่าตัวทำละลายชนิดอื่น  
ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่3.7 ไอโซโพรพานอล

ข. ฟีนอล์ฟทาลีน เป็นสารละลายใสไม่มีสีซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู เมื่อใช้ทดสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลายที่มีค่า pH อยู่ระหว่าง 8.3-10.0 ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่3.8 ฟีนอล์ฟทาลีน

ค. น้ำเปล่าที่อุณหภูมิห้อง เป็นของเหลวที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน

ส่วนที่ 2 อุปกรณ์และเครื่องมือทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 3.9



ก. บิวเรต



ข. ขวดรูปชมพู่



ค. กระบอกตวง



ง. ปีกเกอร์



จ. ขวดวัดปริมาตร



ฉ. หลอดหยดสาร



ช. แท่งแก้วคนสาร



ซ. เทอร์โมมิเตอร์



ฅ. แม่เหล็กคนสาร



ญ. เครื่องชั่งดิจิตอล



ฎ. ฮอทเพลท



ฏ. ขาตั้งบิวเรต

รูปที่ 3.9 อุปกรณ์และเครื่องมือทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ก. บิวเรต เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการไทเทรต มีลักษณะเป็นหลอดแก้วที่มีขีดบอกปริมาตรและมีวาล์วสำหรับเปิด-ปิด เพื่อควบคุมการปล่อยสารละลายภายในหลอดที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา จึงทำให้สามารถวัดปริมาตรสารที่ใช้ไปในการทดลองได้ อย่างแม่นยำ

ข. ขวดรูปชมพู่ ใช้สำหรับเตรียมสารละลายที่ต้องการความเข้มข้นแน่นอน เช่น สารละลายตัวอย่าง, สารละลายมาตรฐาน แล้วทำให้สารละลายที่ได้มีความเข้มข้นน้อยกว่าสารละลายเดิม

ค. กระบอกตวง ใช้สำหรับวัดปริมาตรโดยประมาณของของเหลว

ง. ปีกเกอร์ เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อบรรจุสารเคมีเพื่อให้ความร้อน ผสมสาร หรือทำปฏิกิริยากัน

จ. ขวดวัดปริมาตร เป็นขวดแก้วคอยาว มีขีดแสดงปริมาตรกำกับอยู่รอบคอขวดเพียงขีดเดียว และมีจุกปิดด้านบน เพื่อใช้ปิดเวลาเขย่าสารให้เข้ากัน ขวดวัดปริมาตร ใช้สำหรับเตรียมสารละลายที่ต้องการความเข้มข้นแน่นอน รวมทั้งใช้เจือจางสารให้ได้ความเข้มข้นและปริมาตรที่ต้องการ

ฉ. หลอดหยดสาร เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตวงของเหลวปริมาณน้อย ๆ ทำได้โดยการนับจำนวนหยดของของเหลวที่หยดลงไป

ช. แท่งแก้วคนสาร ใช้สำหรับคนสารละลาย ปลายด้านหนึ่งเป็นแบบพาย เพื่อช่วยในการกวนสาร

ซ. เทอร์โมมิเตอร์ เป็นเครื่องมือสำหรับวัดระดับความร้อน เมื่อได้รับความร้อน และหดตัวเมื่อคายความร้อน ของเหลวที่ใช้บรรจุในกระเปาะแก้วของเทอร์โมมิเตอร์ คือปรอทหรือแอลกอฮอล์ที่ผสมกับสีแดง เมื่อแอลกอฮอล์หรือปรอทได้รับความร้อน จะขยายตัวขึ้นไปตามหลอดแก้วเล็กๆ เหนือกระเปาะแก้ว และจะหดตัวลงไปอยู่ในกระเปาะตามเดิมถ้าอุณหภูมิลดลง

ฌ. แม่เหล็กกวนสาร ใช้ร่วมกับเครื่องกวนสาร ใช้สำหรับกวนสารเคมีแบบต่อเนื่องโดยใช้พลังงานจากสารแม่เหล็ก

ญ. เครื่องซังดิจิตอล เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวัดน้ำหนัก

ฎ. ฮอทเพลท เป็นเครื่องคนสารละลายอาศัยการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กและสามารถปรับอุณหภูมิได้

ฏ. ขาดังบิวเรต เป็นอุปกรณ์ ขาดัง และสแตนดาร์ดชนิดต่างๆ เพื่อยึดจับกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อทำให้ง่ายในการปรับทิศทางของอุปกรณ์ขณะทำการทดลอง

### 3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติไบโอดีเซล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ไบโอดีเซล มีรายละเอียดดังนี้

ก. Universal Indicator เป็นอินดิเคเตอร์ที่สามารถเปลี่ยนสีได้หลายสีเมื่อ pH ของสารละลายเปลี่ยนไป เตรียมขึ้นจากการผสมอินดิเคเตอร์ที่เลือกไว้หลาย ๆ ชนิดเข้าด้วยกัน ใช้บอก pH โดยประมาณของสารละลายโดยวิธีเทียบสีที่ให้ไว้ มีทั้งชนิดที่ทำเป็นสารละลายและชนิดที่ทำเป็นกระดาษ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่3.10 Universal Indicator

ข. เครื่อง Bomb calorimeter เป็นเครื่องทดสอบหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง สามารถทดสอบได้ ตามมาตรฐาน ASTM D240, D4809 และD5865 ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่3.11 เครื่อง Bomb calorimeter

ค. เครื่องวัดจุดวาบไฟ จุดติดไฟ เป็นเครื่องสำหรับทดสอบหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟ สามารถทดสอบได้ ตามมาตรฐาน ASTM D92 ดังแสดงในรูปที่ 3.12



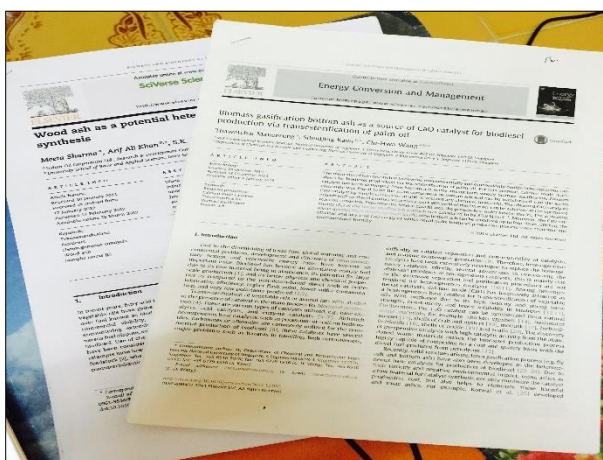
รูปที่ 3.12 เครื่องวัดจุดวาบไฟ จุดติดไฟ

## 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยประกอบไปด้วย 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่ ส่วนที่ 1 การศึกษาข้อมูลของเถ้ากะลาปาล์มและเตรียมเถ้ากะลาปาล์มเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนที่ 2 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และส่วนที่ 3 การวิเคราะห์คุณสมบัติไบโอดีเซล ซึ่งมีรายละเอียดของการศึกษาในแต่ละส่วนดังนี้

### 3.1.4 การศึกษาข้อมูลของซีเถ้าและเตรียมซีเถ้าเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1. การศึกษาองค์ประกอบของเถ้ากะลาปาล์ม โดยอ้างอิงข้อมูลเถ้าจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. การเตรียมกะลาปาล์มเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยนำกะลาปาล์มมาจากโรงงานในชุมชนในจังหวัดชุมพร ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่3.14 การเตรียมขี้เถ้าเพื่อใช้เป็นตัวเร่ง

3. การเผากะลาปาล์ม โดยใช้เตาอั้งโล่ในการเผาที่อุณหภูมิมากกว่า  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่3.15 การเตรียมเถ้ากะลาปาล์มเพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

### 3.1.5 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

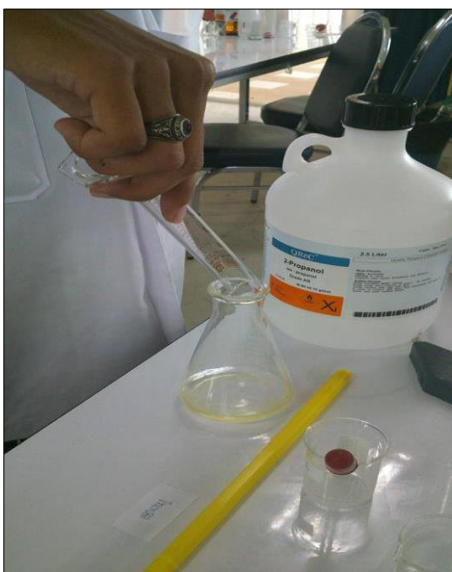
การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เถ้ากะลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้แบ่งการทดลองออกเป็น 12 เงื่อนไข ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยใช้ไขมันปริมาณ 200 ml เท่ากันทุกการทดลอง และแต่ละการทดลองจะใช้เถ้ากะลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดการทดลองดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนสารที่ใช้ อุณหภูมิเตสเวลาในการทำปฏิกิริยาในการทดลอง

อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อน้ำมัน	อุณหภูมิการเผา ตัวเร่งปฏิกิริยา (°C)	เวลาในการทำ ปฏิกิริยา (hr)	ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา %
3:1	800	1	1
3:1	900	1	1
3:1	800	1	2
3:1	900	1	2
4:1	800	1	1
4:1	900	1	1
4:1	800	1	2
4:1	900	1	2
5:1	800	1	1
5:1	900	1	1
5:1	800	1	2
5:1	900	1	2

1. การเตรียมน้ำมัน นำน้ำมันพืชที่เหลือทิ้งจากครัวเรือนมาใช้เป็นวัตถุดิบ
2. การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ในน้ำมันพืชใช้แล้วโดย
  - ชั่งน้ำมันตัวอย่าง 5 g ลงในขวดรูปชมพู่ ดังแสดงในรูปที่ 3.16





รูปที่3.16 ชั่งน้ำมันตัวอย่าง 5 g

- เติมไอโซโพรพิล 25 ml ลงไปในน้ำมันตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.17
- หยดฟีนอล์ฟทาลีน 3-4 หยด แล้วเขย่าให้เข้ากัน



รูปที่3.17 เติมไอโซโพรพิล 25 ml

- ทำการไทเทรต ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1N ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่3.18 ทำการไทเทรต

- ได้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู ดังแสดงในรูปที่ 3.19 จดบันทึกปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1N ที่ใช้ไปในการไทเทรต



รูปที่3.19 ได้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู

- คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) จากสูตร

$$\%FFA = \frac{\text{สารละลายต่างที่ใช้} \times \text{ความเข้มข้นของสารละลายต่าง} \times \text{โมเลกุลของกรดไขมัน} \times 100}{\text{น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง}}$$

โดย ความเข้มข้นของสารละลาย = 0.1 mol

โมเลกุลของกรดไขมัน = 256 g

- นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล จากสูตร

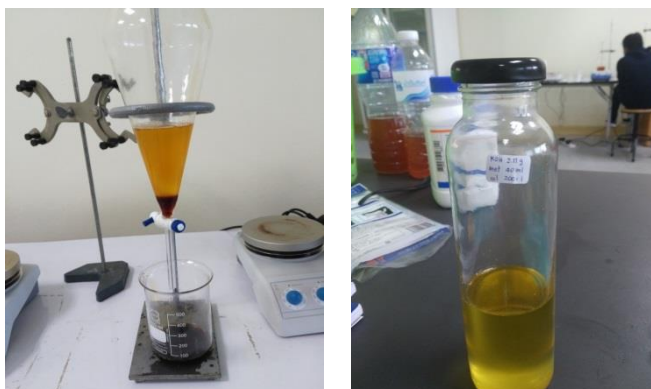
$$KOH = 0.8 \times \left( \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง}}{100} \times 1.4 + (\%FFA - 1) \times \left( \frac{56}{256} \right) \right)$$

โดย  $\frac{56}{256}$  = ค่าสัดส่วนเชิงมวลระหว่างน้ำมันตัวอย่างกับ KOH

3. การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ใช้อัตราส่วนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2.19 g : เมทานอล 40 g ดังแสดงในรูปที่ 3.20

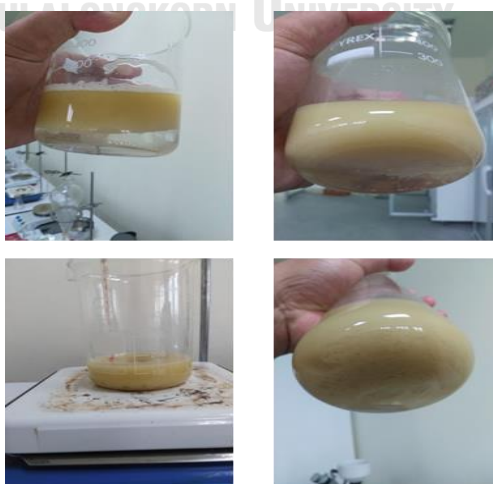
- 1) ให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิ 100 °C จากนั้นตั้งน้ำมันทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 65 °C
- 2) นำโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ผสมกับเมทานอล จากนั้นเทสารละลายที่ได้ลงในน้ำมันที่อุณหภูมิประมาณ 65 °C พร้อมกวนน้ำมัน ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ลดลงต่ำกว่า 60 °C เป็นเวลาประมาณ 30 นาที
- 3) หลังจากครบ 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกตัวของไบโอดีเซลกับกลีเซอริน
- 4) ทำการแยกไบโอดีเซล ล้างด้วยน้ำสะอาด
- 5) นำไบโอดีเซลที่ได้ ทดสอบคุณสมบัติของไบโอดีเซลตามค่ามาตรฐาน



รูปที่3.20 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

การทดลองที่ 2 ใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) 1% (2.19 g) และ 2% (4.38 g) : เมทานอล 40,50 และ 60 g ใช้น้ำมัน 200 g ดังแสดงในรูปที่ 3.21

- 1) ให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิ 100 °C จากนั้นตั้งน้ำมันทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 65 °C
- 2) นำแคลเซียมออกไซด์ ผสมกับเมทานอล จากนั้นเทลงในน้ำมันที่อุณหภูมิประมาณ 65 °C พร้อมอัตราการกวน 300 rpm ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ลดลงต่ำกว่า 65 °C เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง
- 3) หลังจากครบ 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกตัวของไบโอดีเซลและกลีเซอริน
- 4) ทำการแยกไบโอดีเซล ล้างด้วยน้ำสะอาด
- 5) นำไบโอดีเซลที่ได้ ทดสอบคุณสมบัติของไบโอดีเซลตามค่ามาตรฐาน



รูปที่3.21 การทำปฏิกิริยาโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO)

การทดลองที่ 3 ใช้เถ้ากะลาปาล์มที่อุณหภูมิ 800 °C 1% (2.19 g) และ 2% (4.38 g) : เมทานอล 40,50 และ 60 g ใช้น้ำมัน 200 g ดังแสดงในรูปที่ 3.22

- 6) ให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิ 100 °C จากนั้นตั้งน้ำมันทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 65 °C
- 7) นำเถ้ากะลาปาล์มผสมกับเมทานอล จากนั้นเทลงในน้ำมันที่อุณหภูมิประมาณ 65 °C พร้อมอัตราการกวน 300 rpm ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ลดลงต่ำกว่า 65 °C เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง
- 8) หลังจากครบ 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกตัวของไบโอดีเซล เถ้า และกลีเซอริน
- 9) ทำการแยกไบโอดีเซล ล้างด้วยน้ำสะอาด ประมาณ 3 ครั้ง
- 10) นำไบโอดีเซลที่ได้ ทดสอบคุณสมบัติของไบโอดีเซลตามค่ามาตรฐาน



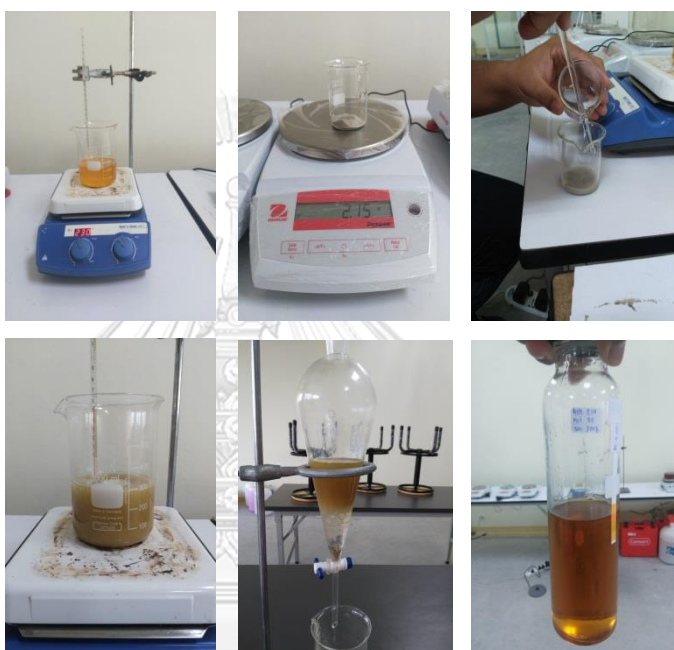
**รูปที่ 3.22** การทำปฏิกิริยาโดยใช้เถ้ากะลาปาล์มที่อุณหภูมิ 800 °C

ในการทดลองที่ 2 โดยการใส่เถ้ากะลาปาล์มที่อุณหภูมิ 800 °C พบว่ากรณีใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเผาที่ 800 °C ที่ทุกอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน (3:1, 4:1 และ 5:1) เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ น้ำมันยังมีความหนืดสูง เกิดเจลในน้ำมันขณะทำปฏิกิริยา และเกิดเจลแข็งในกระบวนการล้าง

การทดลองที่ 4-12 ใช้เถ้ากะลาปาล์มที่อุณหภูมิ 900 °C 1% (2.19 g) และ 2% (4.38 g) : เมทานอล 40,50 และ 60 g ตามลำดับ ใช้น้ำมัน 200 g ดังแสดงในรูปที่ 3.22

- 1) ให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิ 100 °C จากนั้นตั้งน้ำมันทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 65 °C

- 2) นำเอ็กเซลปาล์มผสมกับเมทานอล จากนั้นเทลงในน้ำมันที่อุณหภูมิประมาณ 65 °C พร้อมอัตราการกวน 300 rpm ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ลดลงต่ำกว่า 65 °C เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง
- 3) หลังจากครบ 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกตัวของไบโอดีเซล เอ็ก และกลีเซอริน
- 4) ทำการแยกไบโอดีเซล ล้างด้วยน้ำสะอาด
- 5) นำไบโอดีเซลที่ได้ ทดสอบคุณสมบัติของไบโอดีเซลตามค่ามาตรฐาน



รูปที่ 3.23 การทำปฏิกิริยาโดยใช้เอ็กเซลปาล์มที่อุณหภูมิ 900 °C

CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 3.1.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติไบโอดีเซล

การวิเคราะห์ไบโอดีเซล จะทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซล ประกอบไปด้วย 5 ส่วน ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

1. ค่าความเป็นกรด-ด่างของไบโอดีเซล วิเคราะห์โดยใช้ Universal Indicator วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของไบโอดีเซล แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน
2. ค่าความร้อนของไบโอดีเซล วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Bomb calorimeter หาค่าความร้อนของไบโอดีเซล แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน
3. จุดวาบไฟและจุดติดไฟของไบโอดีเซล วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดจุดวาบไฟ จุดติดไฟหาอุณหภูมิที่ไบโอดีเซลเกิดจุดวาบไฟและจุดติดไฟ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

4. การทดสอบลักษณะความใสของน้ำมัน ทดสอบด้วยตาเปล่า วิเคราะห์โดยดูจากลักษณะของไบโอดีเซล เช่น สี ความขุ่น-ใส เป็นต้น

5. การแยกชั้น ทดสอบด้วยน้ำ วิเคราะห์โดยดูลักษณะการแยกชั้นระหว่างน้ำกับน้ำมัน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## บทที่ 4

### ผลและอภิปรายผล

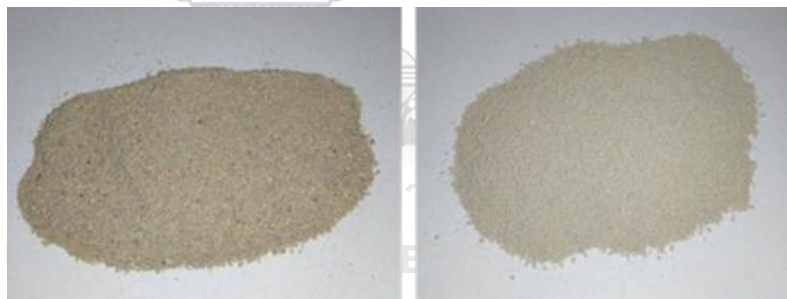
งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้กะลาปาล์มเผาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยแบ่งผลการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา (สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมี) ส่วนที่ 2 การศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันพืชใช้แล้ว ส่วนที่ 3 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ส่วนที่ 4 การวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซล

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้มาจากการเผากะลาปาล์ม ที่อุณหภูมิการเผา 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

##### ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของกะลาปาล์มเผาพบว่า ถ้ำของกะลาปาล์มที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C จะมีสีเทาเข้มและมีเนื้อหยาบ ส่วนถ้ำกะลาปาล์มที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C จะมีสีเทาอ่อนและมีเนื้อละเอียดกว่าถ้ำจากการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และสรุปในตารางที่ 4.1



(ก) 800 °C

(ข) 900 °C

#### รูปที่ 4.1 ลักษณะของถ้ำกะลาปาล์มที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ

(ก) 800 °C และ (ข) 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

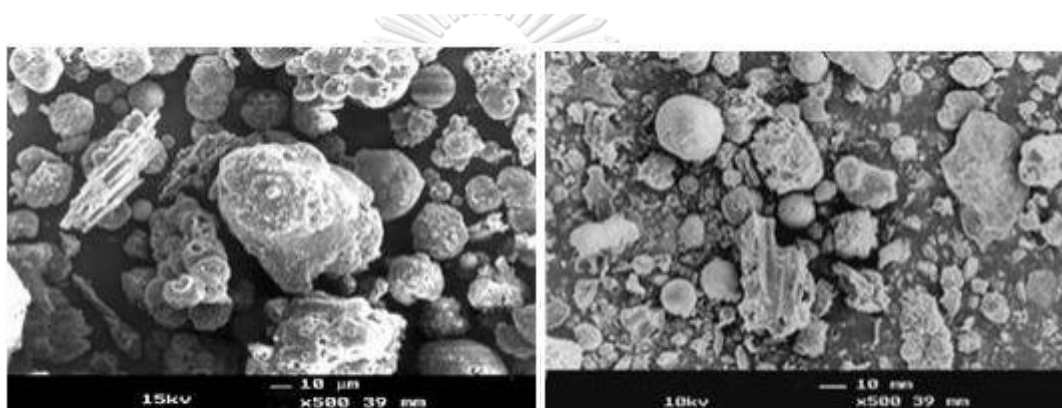
การที่ถ้ำกะลาปาล์มที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C มีสีเข้มกว่าและขนาดอนุภาคใหญ่กว่าเป็นผลเนื่องมาจากการเผาที่อุณหภูมิต่ำ สารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในถ้ำกะลาปาล์มเกิดการสลายตัวได้ไม่สมบูรณ์ [31] แต่เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้นเป็น 900 °C สารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในถ้ำกะลาปาล์มเกิดการสลายตัวได้ดียิ่งขึ้น ทำให้มีรูพรุนที่มีขนาดใกล้เคียงกัน รวมตัวกันได้ดีขนาดของอนุภาคจึงเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน [13] ส่งผลให้พื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น [32] จึงสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีมากขึ้น



**ตารางที่ 4.1** ลักษณะทางกายภาพของเถ้ากะลาปาล์มที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

อุณหภูมิการเผา (°C)	เวลา (hr)	ลักษณะทางกายภาพของเถ้ากะลาปาล์ม			
		น้ำหนักก่อนเผา (g)	น้ำหนักหลังเผา (g)	สี	อนุภาคเถ้า
800	4	100	95.00	เทาเข้ม	หยาบกว่า
900	4	100	93.45	เทาอ่อน	ละเอียดกว่า

**ลักษณะอนุภาคของเถ้ากะลาปาล์มที่อุณหภูมิ 800 และ 900 °C**



(ก) 800 °C

(ข) 900 °C

**รูปที่ 4.2** ลักษณะอนุภาคของเถ้ากะลาปาล์มที่อุณหภูมิ 800 และ 900 °C

จากรูปที่ 4.2 พบว่าเถ้ากะลาปาล์มที่อุณหภูมิ 800 °C มีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ ผิวขรุขระ ความพรุนสูง รูปร่างกลมมนติดต่อกันเป็นกลุ่มก้อน มีสีเทาเข้มและขนาดไม่สม่ำเสมอ ส่วนเถ้ากะลาปาล์มที่อุณหภูมิ 900 °C มีลักษณะอนุภาคเป็นเหลี่ยมมุม รูปร่างไม่แน่นอน อนุภาคมีขนาดและความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับเถ้ากะลาปาล์มที่อุณหภูมิ 800 °C มีความละเอียดต่ำและมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ [13] ซึ่งทำให้ให้ทราบได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อนซ้ำนั้นไม่เพียงเพิ่มความละเอียดของเถ้ากะลาปาล์มแต่ยังเป็นการลดความพรุนของเถ้ากะลาปาล์มอีกด้วย [31]

### องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบหลักจากการศึกษาในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่อุณหภูมิ 900 °C พบว่า แก้วกลาปาล์มมีปริมาณเบสของออกไซด์ที่สามารถนำมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ โดยพบว่ามีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ โพแทสเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์ ที่จะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งการศึกษานี้พบว่าความสอดคล้องกับงานวิจัย [33] ที่มีการนำแคลเซียมออกไซด์และตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งได้ปริมาณไบโอดีเซลสูงถึงร้อยละ 99 ดังแสดงสรุปในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของแก้วกลาปาล์ม

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (wt%)	References
	900 °C	
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO <sub>2</sub> )	22.48	[34]
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	34.97	[34]
โพแทสเซียมออกไซด์ (K <sub>2</sub> O)	13.16	[34]
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	7.18	[34]
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2.64	[34]

จากผลการศึกษาแก้วกลาปาล์มที่อุณหภูมิการเผาที่ 900°C ที่ผ่านมาพบว่าแก้วกลาปาล์มมีองค์ประกอบเบสของออกไซด์ที่ปริมาณสูงที่จะสามารถนำมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ [13] ซึ่งประกอบไปด้วย แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>) โพแทสเซียมออกไซด์ (K<sub>2</sub>O) จึงสามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลได้ดี ให้ประสิทธิภาพผลผลิตสูงถึง 97-99 % [33] จากตารางที่ 4.2 พบว่าแก้วกลาปาล์มก็มีองค์ประกอบทั้งสามสูงเช่นกัน กล่าวคือ มี CaO 34.97 % SiO<sub>2</sub> 22.48 %, และ K<sub>2</sub>O 13.16% ตามลำดับ จึงคาดว่าน่าจะมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลได้ดีเช่นกัน

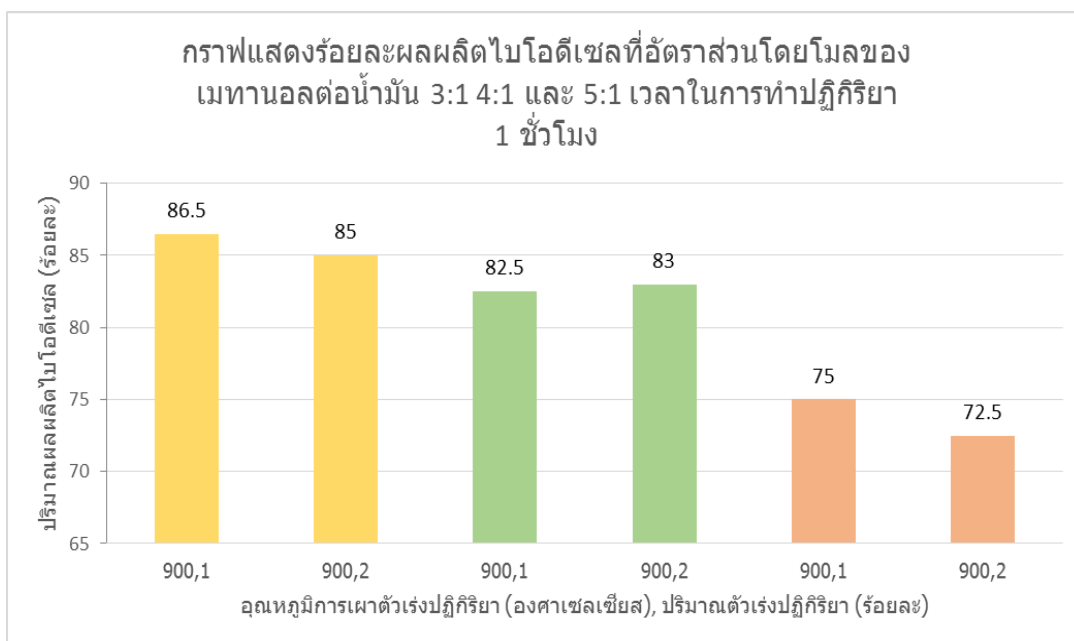
#### 4.2 การศึกษาสมบัติเคมีและทางกายภาพของน้ำมันพืชใช้แล้ว

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันพืชใช้แล้ว เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการไทเทรต การวัดค่าความหนาแน่น การวัดค่าความเป็นกรด พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) 0.89% ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานที่กำหนดให้ปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันควรมีค่าน้อยกว่า 3% [11] เนื่องจากจะส่งผลต่อปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้และปริมาณกลีเซอรินที่เกิดขึ้นหลังสิ้นสุดการทำปฏิกิริยา ส่วนค่าความหนาแน่นเป็นค่าที่ระบุสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพ

ของไบโอดีเซล โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1298 ที่อุณหภูมิ 15 °C ซึ่งกำหนดให้ค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 860-900 kg/m<sup>3</sup> จากการวิเคราะห์พบว่าน้ำมันพืชใช้แล้วมีค่าความหนาแน่น 901 kg/m<sup>3</sup> จากนั้นได้นำน้ำมันที่ผ่านการตรวจมาทำการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเถ้าของกะลาปาล์มที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิที่ 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตามลำดับ

#### 4.3 ปัจจัยที่มีผลการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

การศึกษาอิทธิพลของ อุณหภูมิการสังเคราะห์เถ้ากะลาปาล์ม อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืช ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้เถ้ากะลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เริ่มต้นจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืช 5:1 ตัวเร่งปฏิกิริยา (KOH) 1% ทำปฏิกิริยาที่ 65 °C อัตราการกวน 300 rpm เป็นเวลา 30 นาที ได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล 93% จากนั้นจึงนำสภาวะที่เหมาะสมที่คัดเลือกในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากกะลาปาล์มที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืช 5:1 ตัวเร่งปฏิกิริยา 1% ทำปฏิกิริยาที่ 65 °C อัตราการกวน 300 rpm เป็นเวลา 30 นาที ปรากฏว่าปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ จึงเพิ่มเวลาการทำปฏิกิริยาเป็น 1 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ หากทำปฏิกิริยานานเกินไป ปริมาณผลผลิตจะลดลงและเกิดสบู่เพิ่มขึ้น [16] ทำการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืช 3:1, 4:1 และ 5:1 และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเถ้ากะลาปาล์ม 1% และ 2% ตามลำดับ ปรากฏผลดังแสดงรูปที่ 4.3



**รูปที่ 4.3** กราฟแสดงร้อยละผลผลิตไบโอดีเซลที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 4:1 และ 5:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง โดย

จากผลพบว่ากรณีใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเผาที่ 800 °C ที่ทุกอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน (3:1, 4:1 และ 5:1) เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ น้ำมันยังมีความหนืดสูง เกิดเจลในน้ำมันขณะทำปฏิกิริยา และเกิดเจลแข็งในกระบวนการล้าง ขณะที่เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเผาที่ 900 °C เกิดปฏิกิริยาได้ดีที่ทุกอัตราส่วนโดยโมล ของเมทานอลต่อน้ำมัน (3:1, 4:1 และ 5:1) โดยพบปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด 86.5% เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเผาที่ 900 °C ปริมาณ 1% โดยน้ำหนัก

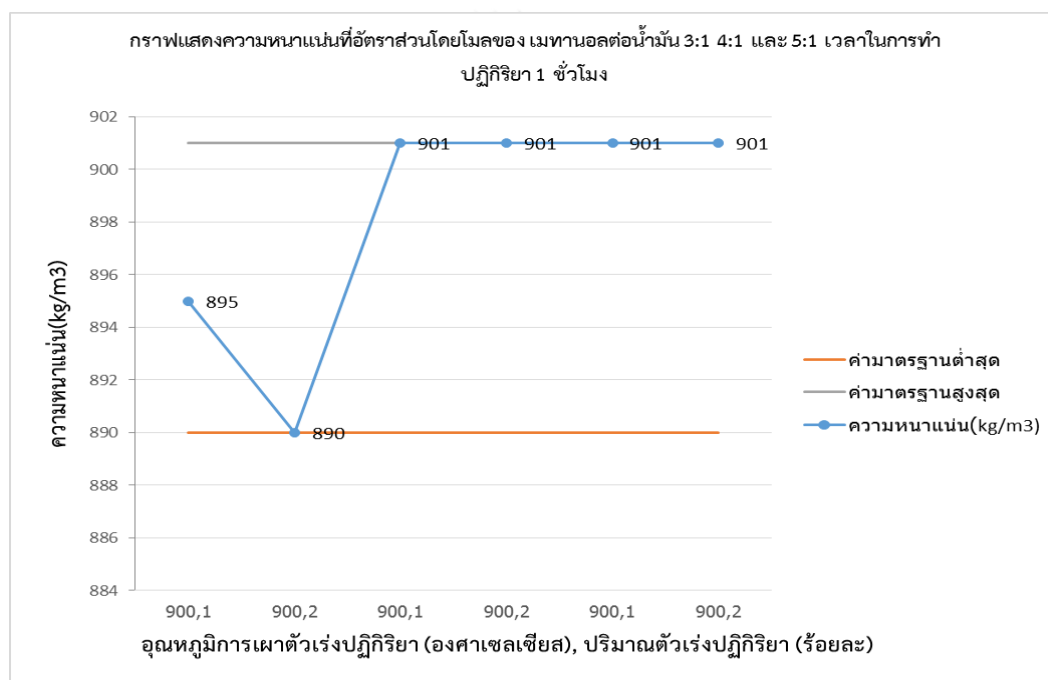
#### 4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติไบโอดีเซล

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองประกอบด้วย การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ความเป็นกรด ค่า pH จุดวาบไฟ ค่าความร้อน ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ โดยผลการวิเคราะห์สามารถอธิบายได้ดังนี้

การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้เอ็กสลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากได้น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองแล้วทั้งหมดนำไปทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ความเป็นกรด ค่า pH จุดวาบไฟ ค่าความร้อน ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ โดยผลการวิเคราะห์ ต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

## 1. ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซล

การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการทำปฏิกิริยาจากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 4:1 และ 5:1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอ็กซะลาปาล์มที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิที่ 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากการเติมปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%wt และ 2%wt ทั้งนี้กำหนดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 1 ชั่วโมง ทำการควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 65 °C และมีอัตราการกวน 300 rpm จากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ทั้งหมด โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1298 ผลการวิเคราะห์ดังในรูปที่ 4.4



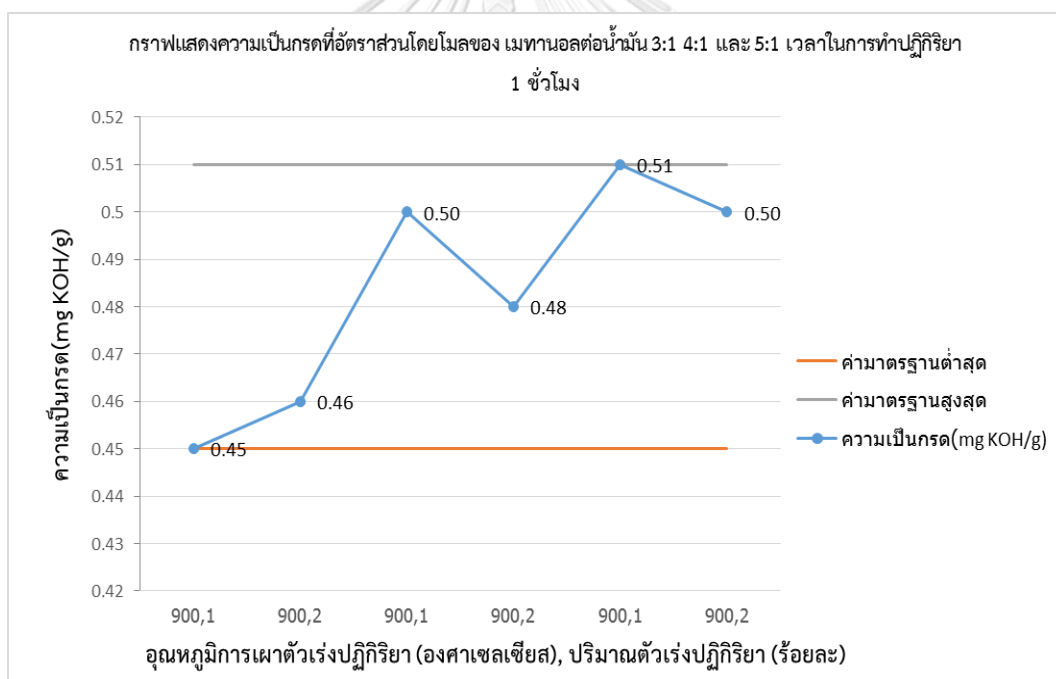
**รูปที่ 4.4** กราฟแสดงค่าความหนาแน่นที่อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 4:1 และ 5:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 4:1 และ 5:1 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเอ็กซะลาปาล์มที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิ 900 °C ที่ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%wt และ 2%wt พบว่าค่าความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 890-901 kg/m<sup>3</sup> ทั้งนี้เมื่อปริมาณของเมทานอลเพิ่มขึ้นและตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงจะทำให้ค่าความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซลโดยส่วนมากมีค่าลดลง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านอุณหภูมิการเผา 900 °C จะพบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่อัตราส่วนเท่ากันการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิ 900 °C และพบว่าการใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 3:1 จะมีผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นที่

ผ่านมาตรฐานมากที่สุด โดยจะมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 890-901  $\text{kg/m}^3$  ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D1298 ของกรมธุรกิจพลังงานที่กำหนดให้น้ำมันไบโอดีเซลควรมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 860-900  $\text{kg/m}^3$  [20]

## 2.ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของน้ำมันไบโอดีเซล

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการทำปฏิกิริยาจากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 4:1 และ 5:1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอ็กซะลาปาล์มที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%wt และ 2%wt ทั้งนี้กำหนดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 1 ชั่วโมง ทำการควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 65 °C และมีอัตราการกวน 300 rpm จากการวิเคราะห์ค่าความกรดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ทั้งหมด โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D664 ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.5



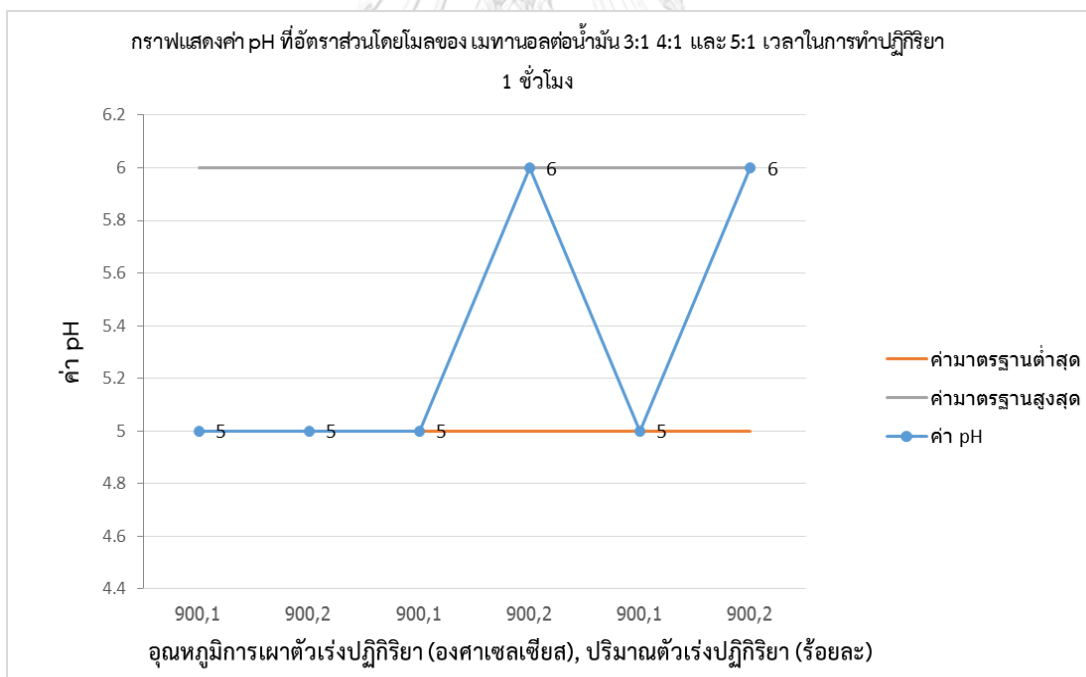
**รูปที่ 4.5** กราฟแสดงค่าความเป็นกรดที่อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 4:1 และ 5:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 4:1 และ 5:1 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเอ็กซะลาปาล์มเผาที่อุณหภูมิ 900 °C โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%wt และ 2%wt ทั้งนี้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 1 ชั่วโมง พบว่าค่าความเป็นกรดอยู่ในช่วง 0.45-0.51 mg KOH/g

และพบว่าการใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 3:1 มีค่าความเป็นกรดที่ลดลง โดยมีค่าความเป็นกรดเป็นไปตามมาตรฐานจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.45-0.51 mg KOH/g ซึ่งค่าความเป็นกรดในน้ำมันไบโอดีเซลเป็นตัวที่บ่งบอกถึงกรดไขมันอิสระที่ทำให้ปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ [16] โดยน้ำมันที่มีค่าความเป็นกรดมากเกินไปจะส่งผลให้ระบบจ่ายน้ำมันเกิดการกัดกร่อนเครื่องยนต์จะมีอายุการใช้งานสั้นลง [10] ทั้งนี้กรมธุรกิจพลังงานกำหนดให้น้ำมันไบโอดีเซลควรมีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D664 ที่กำหนดให้ค่าความเป็นกรดควรมีค่าต่ำกว่า 0.5 mg KOH/g [20]

### 3.ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของน้ำมันไบโอดีเซล

การวิเคราะห์ค่า pH เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรด-เบส ในน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการทำปฏิกิริยาจากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 4:1 และ 5:1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอ็กซาปาเลียมผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%wt และ 2%wt ทั้งนี้กำหนดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 1 ชั่วโมง ทำการควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 65 °C และมีอัตราการกวน 300 rpm จากการวิเคราะห์ค่าค่า pH ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ทั้งหมด โดยใช้ยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ในการวิเคราะห์ดังแสดงรูปที่ 4.6



**รูปที่ 4.6** กราฟแสดงค่า pH ที่อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 4:1 และ 5:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ค่า pH ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 4:1 และ 5:1 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเอ็ก

กะลาปาล์มเผาที่อุณหภูมิ 900 °C โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%wt และ 2%wt ทั้งนี้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 1 ชั่วโมง พบว่าค่า pH ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 5-6 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของไบโอดีเซลทั่วไป คืออยู่ในช่วง 5-6.5 [35] ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับความสะอาดในกระบวนการล้างไบโอดีเซลด้วย

#### 4. ผลการวิเคราะห์จุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซล

การวิเคราะห์จุดวาบไฟเป็นการวิเคราะห์จุดต่ำสุดของอุณหภูมิที่เชื้อเพลิงเกิดระเหยของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการทำปฏิกิริยาจากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 4:1 และ 5:1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากกะลาปาล์มผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%wt และ 2%wt ทั้งนี้กำหนดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 1 ชั่วโมง ทำการควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 65 °C และมีอัตราการกวน 300 rpm จากการวิเคราะห์จุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ทั้งหมด โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D93 ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** ผลการวิเคราะห์จุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%wt และ 2%wt

อัตราส่วน โดยโมลของ เมทานอลต่อ น้ำมัน	อุณหภูมิการเผา ตัวเร่งปฏิกิริยา (°C)	เวลาในการทำ ปฏิกิริยา (hr)	ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยา %	จุดวาบไฟ (°C)
3:1	900	1	1	>198
3:1	900	1	2	>200
4:1	900	1	1	>200
4:1	900	1	2	>200
5:1	900	1	1	>200
5:1	900	1	2	>200

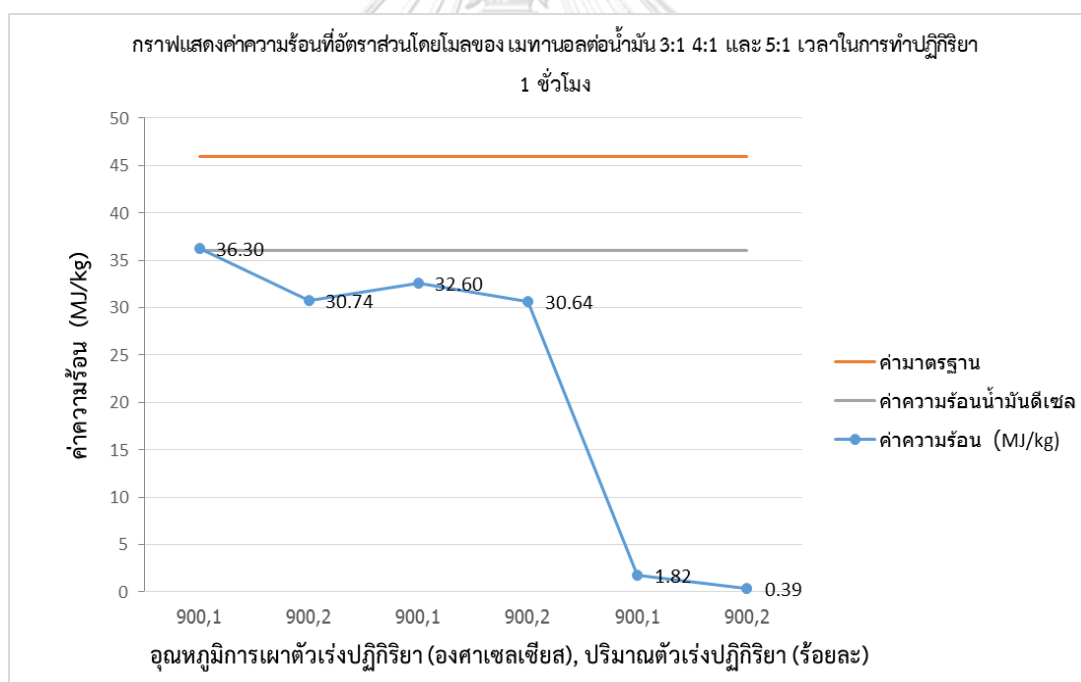
จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์จุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 4:1 และ 5:1 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากกะลาปาล์มเผาที่อุณหภูมิ 900 °C ที่การเติมปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%wt และ 2%wt ทั้งนี้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 1 ชั่วโมง พบว่า จุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ทุกการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 190-200 °C ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM D93 ที่กำหนดให้จุดวาบไฟของน้ำมัน



ไบโอดีเซลควรมีค่ามากกว่า 120 °C [10] โดยจุดวาบไฟและจุดติดไฟไม่มีผลต่อการให้กำลังของเครื่องยนต์ แต่เป็นตัวที่บ่งบอกถึงความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ต่อการเก็บรักษาหรือขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งพบว่าจุดวาบไฟและจุดติดไฟของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้สูงกว่าน้ำมันดีเซล แสดงให้เห็นว่าการกักเก็บและขนส่งน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีความปลอดภัย

### 5. ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน

การวิเคราะห์ค่าความร้อนเป็นการวิเคราะห์ค่าที่บ่งบอกถึงความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการทำปฏิกิริยาจากอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 4:1 และ 5:1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอ็กซะลาปาล์มผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1%wt และ 2%wt ทั้งนี้กำหนดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 1 ชั่วโมง ทำการควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 65 °C และมีอัตราการกวน 300 rpm จากการวิเคราะห์วิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ทั้งหมด โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D4809 ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.7



**รูปที่ 4.7** กราฟแสดงค่าความร้อนที่อัตราส่วนโดยโมลของ เมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 4:1 และ 5:1 เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง

จากผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำไบโอดีเซลที่ผลิตได้นี้ พบว่าค่าความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 30-36.30 MJ/kg ซึ่งตามมาตรฐาน ASTM D4809 กำหนดให้ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลควรมีค่าประมาณ 46 MJ/kg ซึ่งเป็นค่าความร้อนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล 36 MJ/kg จากผลการ

วิเคราะห์ค่าความร้อนของไบโอดีเซลพบว่า โดยส่วนมากค่าความร้อนของไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลเพียงเล็กน้อย หากค่าความร้อนของไบโอดีเซลมีค่าสูงแสดงถึงคุณภาพที่ดีของเชื้อเพลิง [21] และเมื่อนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์จะมีอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

#### 6. ผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี จากการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้นี้ พบว่ามีค่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ตั้งแต่ร้อยละ 37-60 โดยตามมาตรฐาน EN 14103 กำหนดให้ปริมาณ เมทิลเอสเทอร์ควรมีค่าร้อยละ 96.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์นั้นจะเป็นข้อบ่งชี้ถึงความบริสุทธิ์ของ ไบโอดีเซล โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในครั้งนี้จะพบว่ามีค่าที่ดีที่สุดคือ ร้อยละ 57.6 ซึ่งมีค่าน้อยกว่ามาตรฐานทางผู้วิจัยจะทำการศึกษาและพัฒนางานวิจัยนี้ให้ดียิ่งขึ้นไป

#### 4.5 ผลการศึกษาการใช้แคลเซียมออกไซด์ (สารเคมี) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล

จากการทดลองพบว่าการใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ปริมาณ 1%wt และ 2%wt และใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน (3:1, 4:1 และ 5:1) เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ น้ำมันยังมีความหนืดสูง เกิดเจลในน้ำมันขณะทำปฏิกิริยา และเกิดเจลแข็งในกระบวนการล้าง เมื่อทำการศึกษาวรรณกรรมพบว่าในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ส่วนใหญ่จะใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากธรรมชาติที่มีองค์ประกอบของธาตุอื่นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [36] เช่น โพแทสเซียมออกไซด์ ซิลิกอนออกไซด์ เป็นต้น และการปรับเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์และปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มมากขึ้น

#### 4.6 ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของกระบวนการ

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่เหลือทิ้ง โดยใช้เถ้ากะลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการวิเคราะห์จากต้นทุนในการผลิตตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการ โดยทำการเลือกผลการทดลองที่มีคุณสมบัติที่มีค่าผ่านมาตรฐานมากที่สุด คือ การทดลองจากเงื่อนไขการใช้อุณหภูมิในการเผาตัวเร่งปฏิกิริยา 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ 1%wt ทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 65 °C และมีอัตราการกวน 300 rpm สามารถอธิบายรายละเอียดต่างๆได้ดังนี้

## 1. การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตทางด้านไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตทางด้านไฟฟ้านั้น ค่าของการใช้ไฟฟ้าจากอุปกรณ์ในการผลิตไบโอดีเซลทุกส่วนของการผลิต โดยสามารถหาการคำนวณจากสูตรคำนวณค่าไฟฟ้า[37] จากสูตร  
สูตรในการคำนวณค่าไฟฟ้า

$$\frac{\text{กำลังไฟฟ้า (W) X จำนวนชั่วโมง (h)}}{1,000}$$

1.1 การคำนวณต้นทุนในการผลิตทางด้านไฟฟ้า ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากเถ้ากะลาปาล์ม เเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ในการเผา 1 ครั้ง จะมีต้นทุนในการผลิตดังต่อไปนี้

➤ เตาอบความร้อนสูง มีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 4,000 W โดยทำการเผาเถ้ากะลาปาล์มที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง  
เตาอบความร้อนสูง

$$\frac{4,000 \text{ W X } 4 \text{ h}}{1000} = 16 \text{ kWh}$$

ดังนั้น ในการทดลองการผลิตไบโอดีเซล 1 ครั้ง คิดต้นทุนการผลิตทางด้านไฟฟ้าในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาจากเถ้ากะลาปาล์ม มีค่าเท่ากับ (16 kWh /12 ครั้ง =1.33 kWh/ครั้ง

➤ เครื่องทำความร้อนและกวนสาร มีเครื่องให้ความร้อนกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1,000 W และมอเตอร์ในการกวนกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 15 W โดยทำการผลิตไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เครื่องทำความร้อนและกวนสาร

$$\frac{1000 \text{ w x } 1 \text{ h}}{1000} = 1 \text{ kWh}$$

มอเตอร์ในการกวน

$$\frac{15 \text{ w } \times 1 \text{ h}}{1000} = 0.15 \text{ kWh}$$

ดังนั้น กำลังไฟฟ้าในการผลิตไบโอดีเซล 1 ครั้ง เท่ากับ 1.015 kWh

จะได้ กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่เหลือทิ้ง โดยใช้เก้ากะลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เท่ากับ 2.345 kWh ต่อการผลิต 1 ครั้ง และ เมื่อกำหนดราคาไฟฟ้าเท่ากับ 3.2484 Baht/kWh [38] ดังนั้น ต้นทุนการผลิตทางด้านไฟฟ้าต่อการผลิต 1 ครั้ง เท่ากับ 7.66 Baht

## 2. การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตทางด้านวัตถุดิบ

- น้ำมันพืชที่เหลือทิ้งที่เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซลสามารถเก็บรวบรวมได้จากในครัวเรือนจึงไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้
- กะลาปาล์มได้รับการสนับสนุนจากชุมชนในจังหวัดชุมพรไม่เสียค่าจัดซื้อ เสียค่าจัดส่ง 150 Baht
- เมทานอล 200 l เท่ากับ 160 kg ราคา 35.37 Baht/kg ในการผลิต 1 ครั้งใช้ 200 g คิดเป็นราคาเท่ากับ 7.05 Baht

ดังนั้น ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว 1 ครั้ง จากการใช้ไขมันสารตั้งต้น 200 g จะมีต้นทุนในการผลิตทางด้านวัตถุดิบ คิดเป็นราคาเท่ากับ 7.05 Baht

## 3. การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตทั้งหมด

- การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลต่อครั้ง

จากการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตทางด้านไฟฟ้าและทางด้านวัตถุดิบของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่เหลือทิ้ง โดยใช้ไขมันสารตั้งต้น 200 g สามารถอธิบายได้ดังนี้

- |  |                |
|--|----------------|
| 1. การใช้ไฟฟ้าในการเผาเปลือกหอยขม กำลังไฟฟ้า 1.33 kWh    | ราคา 4.32 Baht |
| 2. เมทานอล 225 g   | ราคา 7.05 Baht |
| 3. การผลิตไบโอดีเซล                                      |                |
| - กำลังไฟฟ้าในการผลิตไบโอดีเซล 1 ครั้ง เท่ากับ 1.015 kWh | ราคา 3.30 Baht |

ดังนั้น ต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่เหลือทิ้ง โดยใช้เก้ากะลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการใช้ไขมันสารตั้งต้น 200 g มีค่าเท่ากับ 14.65 Baht โดยจะได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล 171.2 g โดยค่าที่คิดไม่รวมกับค่าจัดส่งกะลาปาล์ม 150 บาท

จากการวิเคราะห์ต้นทุนของการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ถั่วกะลาปาล์มเป็นสารเร่งปฏิกิริยา พบว่ามีอัตราการใช้ต้นทุนอยู่ที่ 14.65 Baht จากการคำนวณข้างต้นอาจไม่ได้คำนวณครบในทุกกระบวนการอาจมีค่าความคลาดเคลื่อนของต้นทุนในการผลิต ซึ่งเมื่อเทียบกับราคาของน้ำมันไบโอดีเซลต่อลิตรอยู่ที่ 23.64 บาท/ลิตร. [39] เมื่อเทียบกับไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยน้ำมันพืชที่เหลือทิ้งใช้ถั่วกะลาปาล์มเป็นสารเร่งปฏิกิริยา ถือว่าไบโอดีเซลในการทดลองยังมีราคาที่สูงกว่าไบโอดีเซลทั่วไป



## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าอุณหภูมิการเผาที่เหมาะสม 900 องศาเซลเซียส เนื่องจากจะส่งผลให้เถ้าที่ได้มีลักษณะเป็นเนื้อละเอียด สีเทา
2. การศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันพืชที่เหลือทิ้งเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการไทเทรต ค่าความหนาแน่น ค่าความเป็นกรด จากการศึกษพบว่าน้ำมันพืชที่เหลือทิ้งมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.89 มีค่าความหนาแน่น 901 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความเป็นกรด 1.12 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม
3. การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยใช้เถ้ากะลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลการศึกษาการทำปฏิกิริยาที่เงื่อนไขของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเถ้ากะลาปาล์มเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง การควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 65 องศาเซลเซียส และมีอัตราการกวน 300 rpm มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงสุดที่ร้อยละ 57.6 และมีปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงถึงร้อยละ 86.5
4. การวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่เหลือทิ้งโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเถ้ากะลาปาล์มพบว่า ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติเป็นไปตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงานงาน คือ มีค่าความหนาแน่น 895 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความเป็นกรด 0.45 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม ค่า pH >5 จุดวาบไฟ 198 องศาเซลเซียส ค่าความร้อน 36.30 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าผลการทดลองที่ได้ถือว่ามีใกล้เคียงกับมาตรฐาน

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลมาตรฐานกับน้ำมันไบโอดีเซลในงานวิจัย

การวิเคราะห์	ค่ามาตรฐาน	ผลวิจัย
ความหนาแน่น	890-900 kg/m <sup>3</sup>	895 kg/m <sup>3</sup>
ความเป็นกรด	0.45-0.51 mg KOH/g	0.45 mg KOH/g
pH	5-6	>5
จุดวาบไฟ	>120 °C	>198 °C
ความร้อน	46 MJ/kg	36.30 MJ/kg
ปริมาณเมทิลเอสเทอร์	96.5 %	57.60 %

จากตารางที่ 5.1 สรุปผลการวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้เก้ากะลาปาล์มเป็นสารเร่งปฏิกิริยาเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลทั่วไปซึ่งเลือกน้ำมันไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่สุด โดยใช้เก้ากะลาปาล์มร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อ น้ำมัน 3:1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเก้ากะลาปาล์มเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง การควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 65 องศาเซลเซียส และมีอัตราการกวน 300 rpm

#### ข้อเสนอแนะ

1. ก่อนการนำน้ำมันพืชที่เหลือทิ้งในขบวนการผลิตไบโอดีเซลควรทำการไล่ความชื้นที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง อีกครั้งเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะใช้นั้นไม่มีความชื้นปะปนอยู่และช่วยลดเวลาในการทดลองและประหยัดพลังงาน ช่วยลดต้นทุนอีกด้วย
2. เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทวิธัพันธ์ ก่อนทำปฏิกิริยากับน้ำมันสารตั้งต้นควรทำการผสมตัวเร่งปฏิกิริยากับเมทานอลทิ้งไว้ เพื่อให้สารประกอบในตัวเร่งปฏิกิริยาทำงานได้ดียิ่งขึ้น
3. ในกระบวนการแยกและกระบวนการล้างน้ำมันไบโอดีเซลหลังจากแยกน้ำมันไบโอดีเซลกับกลีเซอรินและเก้ากะลาปาล์มควรทำการกรองน้ำมันก่อนกระบวนการล้างเพื่อช่วยน้ำมันไบโอดีเซลมีเก้ากะลาปาล์มติดไปน้อยที่สุดล้างในจำนวนที่น้อยลงและได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มมากขึ้น

## รายการอ้างอิง

1. กุลณภา จันทน์น้อย และ พิชญานงค์ ศิริจันทร์, การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า, in คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2553, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
2. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (*Technology and biodiesel production*), กรมวิทยาศาสตร์บริการ, Editor. 2553.
3. *Free fatty acid* / กรดไขมันอิสระ. 22 กุมภาพันธ์ 2558]; Available from: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1537/free-fatty-acid-กรดไขมันอิสระ>.
4. Sharma M, et al., *Wood ash as a potential heterogeneous catalyst for biodiesel synthesis*. Biomass Bioenergy 2012. 41: p. 94-106.
5. ไบโอดีเซล. 26 มกราคม 2560]; Available from: <http://th.wikipedia.org/wiki/ไบโอดีเซล>.
6. อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย. ไบโอดีเซล (*Biodiesel*). 2549 10 มกราคม 2561]; Available from: <http://www.vcharkarn.com/varticle/409>.
7. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. การทบทวนทบทวนเอกสารเกี่ยวข้อง. 26 มีนาคม 2561]; Available from: <http://digi.library.tu.ac.th/thesis/en/0407/03chapter2.pdf>
8. เคยไบโอดีเซล. ความรู้เกี่ยวกับไบโอดีเซล. 2555 10 มกราคม 2561]; Available from: [http://www.biodiesel.rdi.ku.ac.th/index.php?option=com\\_content&task=view&id=7&Itemid=12](http://www.biodiesel.rdi.ku.ac.th/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=12)
9. พัชรนันท์ ภูสกุล, ศึกษาการใช้  $CaO$  เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซลโดยมีการป้อนกลับของแอลกอฮอล์, in วิศวกรรมศาสตร์. 2554, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
10. ศูนย์บริการวิชาการที่ 3. สารละลายตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งสำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซล. 2553 4 เมษายน 2561]; Available from: <https://old.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/1681>.
11. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาและจัดทำเครื่องต้นแบบผลิตไบโอดีเซล จากน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ระดับชุมชน. . 2552 4 เมษายน 2561]; Available from: <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/849>
12. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์. 26 มกราคม 2560]; Available from: <http://www.vcharkarn.com/varticle/409>.
13. สุรศิษฐ์ ดีสวัสดิ์, การเตรียมและการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรสำหรับการผลิตไบโอดีเซล, in บัณฑิตวิทยาลัย. 2556 มหาวิทยาลัยศิลปากร.



14. โรงเรียนนาหนังพัฒนศึกษา. พลังงานก่อกัมมันต์หรือพลังงานกระตุ้น. 2548 4 เมษายน 2561]; Available from: <http://www.thaigoodview.com/library/teachershow/nongkhai/onuma-b/chemical/sec01p06.html>.
15. อัจฉรา อิมคำ พุฒคำ, อ.พ., การสังเคราะห์และคุณลักษณะของแคลเซียมออกไซด์ ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร, 2557. ฉบับที่ 3: p. 29-46
16. รุ่งทิพย์ ชัยเดช, การผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันทอดใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทออกไซด์, in คณะ วิศวกรรมศาสตร์. 2557, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
17. วิชาการ.คอม. เอทานอล (*Ethanol*). 2556; Available from: <http://www.vcharkarn.com/varticle/40659>.
18. Siamchemi.com. [ม.ป.ป.]. กูทานอล/เอทิลแอลกอฮอล์.; Available from: <http://www.siamchemi.com/%E0%B9%80%E0%B8%AD%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%A5/>.
19. วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. [ม.ป.ป.]. เมทานอล. Available from: <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%80%E0%B8%A1%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%A5>.
20. ศูนย์บริการวิชาการที่3. เทคนิคการผลิตไบโอดีเซลให้ได้คุณภาพ. 2553 Available from: <http://www2.dede.go.th/bett/Activities/KM/BioDiesel%20Manual.pdf>.
21. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. คู่มือบริหารจัดการพลังงานความร้อน. 2550; Available from: <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/244>.
22. Pajaree Pusitsirisab, การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์โดยปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์.
23. พลังงานทดแทน:ไบโอดีเซล (*biodiesel*)” สาขาเคมี สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.).
24. เคมีอุตสาหกรรม. โซดาไฟ/โซเดียมไฮดรอกไซด์. Available from: <http://www.siamchemi.com/%E0%B9%82%E0%B8%8B%E0%B8%94%E0%B8%B2%E0%B9%84%E0%B8%9F/>.
25. MeetaSharmaa, et al., *Wood ash as a potential heterogeneous catalyst for biodiesel synthesis*. Biomass and Bioenergy, 2012. 41: p. 94-106.
26. ปภาณิน จันดีสอน, การสังเคราะห์แคลเซียมซิลิเกตจากเปลือกหอยเชอร์รี่และเถ้าแกลบโดยปฏิกิริยาของแข็ง in คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

27. Kung-Tung Chen, et al., *Rice husk ashes as a catalyst precursor for biodiesel production*. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers., 2013. 44(4): p. 622-629.
28. Márcia Cardoso Manique, et al., *Rice husk ash as an adsorbent for purifying biodiesel from waste frying oil*. Fuel, 2012. 92(1): p. 56-61.
29. Vinu Vadery, et al., *Room temperature production of jatropha biodiesel over coconut husk ash*. Energy, 2014. 70: p. 81.
30. นาโนเทค. เปลือกไข่ ตัวเร่งปฏิกิริยาผลิตไบโอดีเซลได้อย่างไร. 2553; Available from: <https://www2.nanotec.or.th/th/?p=2904>.
31. คอนกรีต + แก้วกลาปาล์มน้ำมัน. Available from: <https://sites.google.com/a/email.nu.ac.th/hybrid-building/home/week-5-concreat>.
32. ศิริวัฒนา หัทสนธ์, ร.โ.แ.ก., การเปรียบเทียบการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา  $CaO$  จากเปลือกหอยแครง และเปลือกปูทะเล ในการผลิตไบโอดีเซล. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 2556. 44(2): p. 552-556.
33. ยุทธการ บุญยืน, รัตชัย ไพรินทร์, and แก้วกันยา สุดประเสริฐ, การศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกไซด์ผสมแคลเซียมออกไซด์, ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์และซิงค์ออกไซด์. ว.วิทย์ กษ 45(2)(พิเศษ), 2557: p. 189-192.
34. ชีระชัย สายแก้ว, ผลชนิดของชีวมวลต่อการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์และไนตรัสออกไซด์ในเตาเผาฟลูอิดไอดีแบบหมุนเวียน, in คณะวิทยาศาสตร์. 2552, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
35. PSU Biodiesel. เว็บไซต์แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับไบโอดีเซล. 2551; Available from: <http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/webboard/view.php?No=559>.
36. อ้นธิกา หุตะจุฑะ, et al., การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันหมูที่ได้จากอุตสาหกรรมแปรรูปหมูโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา, in คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
37. บริษัท โซล่าฮับ จำกัด. การคำนวณค่าไฟฟ้า. 2559; Available from: <http://www.solarhub.co.th/solar-information/solar-provision/354-electricalestimate>.
38. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. อัตราค่าไฟฟ้าขายปลีก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2560; Available from: <http://www.eppo.go.th/index.php/th/electricity/electricity-bill/pea-rate>.
39. บริษัท มติชน จำกัด (มหาชน). "ไบโอดีเซล B100" ล้นประเทศ 6ล้านลิตรต่อวัน โรงงานดัมพ์ราคาหนีตาย ! 2560; Available from: <https://www.prachachat.net/economy/news-87356>.



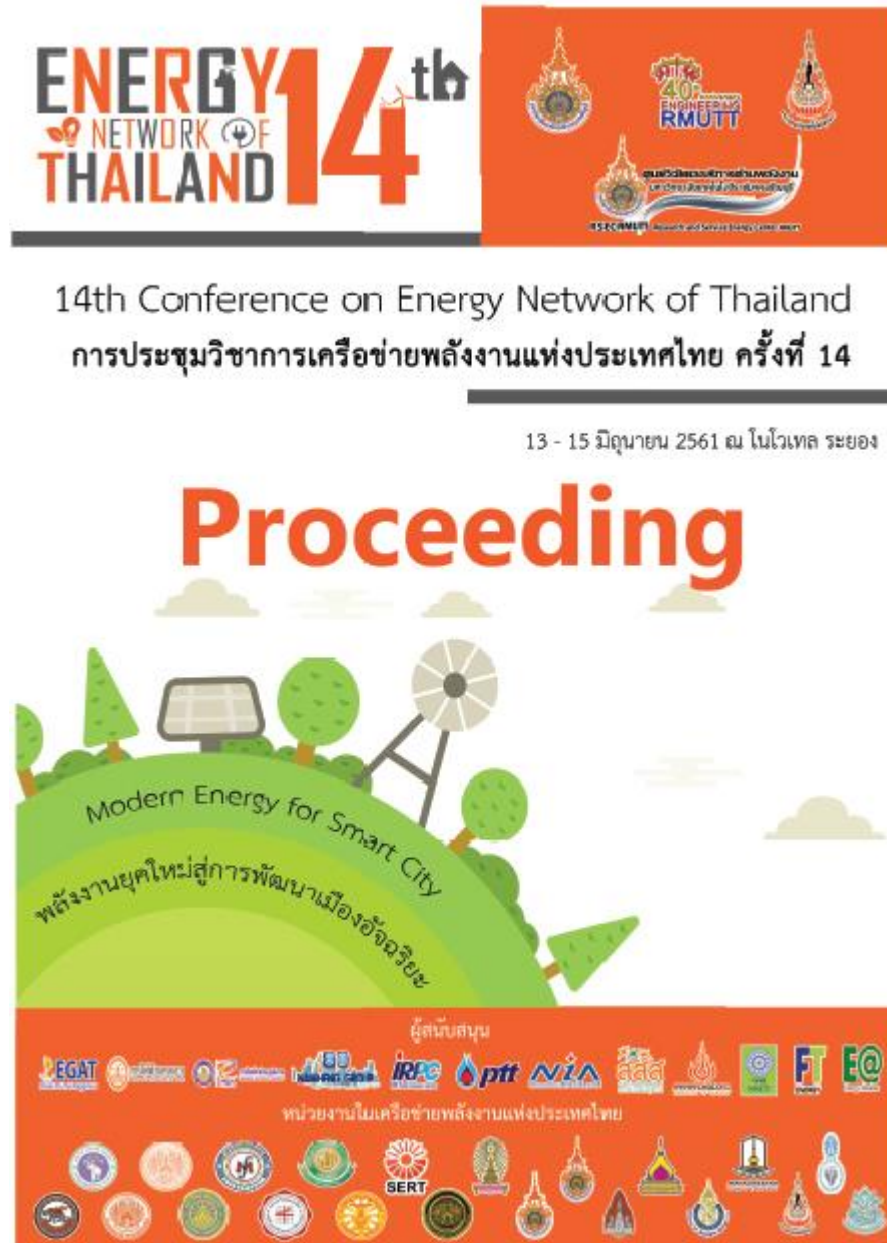
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

บทความตีพิมพ์งานวิจัย การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 วันที่ 13-15 มิถุนายน 2561 ณ โนวเทล ระยอง นำเสนอผลงานในกลุ่มหัวข้อ พลังงานทดแทน



**การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14**  
14th Conference On Energy Network of Thailand (E-NETT)



**Modern Energy for Smart City**  
**14th Conference on Energy Network of Thailand**  
June 13-15, 2018  
Novotel Rayong  
Rim Pae Resort Hotel



การใช้ประโยชน์เถ้ากะลาปาล์มเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล  
 UTILIZATION OF PALM KERNEL ASH FOR BIODIESEL PRODUCTION CATALYST  
 อรุณรุ่ง เสงี่ยมานะ<sup>1</sup>, ศาวิทย์ ใจวรรณเขต<sup>2</sup> และระพีพรณ ธีรบุญศิลา<sup>3</sup>

<sup>1</sup> วิทยาลัยสหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

<sup>2</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่  
 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

<sup>3</sup> ภาควิชาพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่  
 เลขที่ 63 ตำบลหนองหาร อำเภอเมืองจาง จังหวัดเชียงใหม่ 50290

\*ผู้ติดต่อ : rotjapun\_energy@hotmail.com,081-8056559

**RE-01-147**

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์เถ้ากะลาปาล์มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ทำการศึกษาระยะสั้น 12 สภาวะการทดลอง โดยใช้ปริมาณน้ำมันพืช 200 กรัม ความดันของปฏิกิริยาที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เท่ากับทุกสภาวะการทดลอง ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเถ้ากะลาปาล์มที่ผ่านการเผาที่ 800 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปริมาณร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนักน้ำมันพืชที่ใช้ และทำการทดลองโดยแปรเปลี่ยนอัตราส่วนของโมลของเมทานอลต่อน้ำมันพืช 3:1, 4:1 และ 5:1 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าสภาวะการทดลองที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเถ้ากะลาปาล์มที่ผ่านการเผาที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักน้ำมันพืชที่ใช้ และใช้โมลของเมทานอลต่อโมลของน้ำมันพืชใช้ 3 เท่าของน้ำมันพืชที่ใช้ ทำการทดลองที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและมีปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลร้อยละ 86.5 คำเป็นไปตลอดการทดลอง

**คำสำคัญ:** ไบโอดีเซล, เถ้ากะลาปาล์ม, ตัวเร่งปฏิกิริยา, ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

**Abstract**

This research aims to study palm kernel ash utilization as a catalyst for transesterification reaction in biodiesel production from used vegetable oil from potato chip frying in a community. The experiments were comparatively investigated under 12 experimental conditions, using 200 grams of vegetable oil feedstock for each experiment. All experiments were operated at 65 °C for 1 hour. Two types of palm kernel ash catalyst are comparatively investigated, ignited at 800 °C and 900 °C for 4 hours. Amounts of palm kernel ash catalyst used in the present study are varied at 1% and 2% by weight of vegetable oil feedstock and the mole ratios of methanol to vegetable oil feedstock are varied at 3:1, 4:1 and 5:1 respectively. Optimum condition found in the present study is using 1% by weight of palm kernel ash catalyst ignited at 900 °C for 4 hours and using methanol at 3:1 mole ratio of methanol to vegetable oil feedstock , operated at 65 °C for 1hour and Biodiesel yield at the optimum condition is 86.5%

**Keywords:** Biodiesel, Palm Kernel, Catalyst, transesterification

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศทางด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และการขนส่ง ส่วนใหญ่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นตัวขับเคลื่อน จึงจำเป็นต้องนำเข้าน้ำมันดีเซลจากต่างประเทศต่างประเทศเป็นจำนวนมาก "ไบโอดีเซล" จึงเป็นอีกหนึ่งในเชื้อเพลิงชีวภาพ ที่ได้รับความสนใจเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุทางการเกษตร โดยเฉพาะพืชน้ำมัน เช่น น้ำมันจากปาล์ม ยางพารา ฝ้าย คำทานตะวัน มะพร้าว หรือไขมันจากสัตว์ เป็นต้น[1] และไบโอดีเซลยังสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชที่เหลือทิ้ง และกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก



รูปที่ 1 อัตราการใช้ไบโอดีเซล ปี พ.ศ. 2552-2559 [2]

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าอัตราการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในประเทศไทยเพิ่มขึ้นทุกปี ปีตั้งแต่ ปีพ.ศ. 2552-2559 [2] จากร้อยละ 32 มาเป็นร้อยละ 45 ในปี พ.ศ.2559 และน้ำมันไบโอดีเซลนั้นยังมีคุณสมบัติเด่น คือ สามารถทดแทนน้ำมันดีเซลและก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ปริมาณที่น้อย และไบโอดีเซลยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะได้โดยไม่จำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ เพราะคุณสมบัติของไบโอดีเซลมีความใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ยังช่วยรักษาสุขภาพของเครื่องยนต์ให้ใช้งานได้นานและมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เนื่องจากออกซิเจนในไบโอดีเซลได้ทางอากาศที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซลทั่วไป ดังนั้นในตารางที่ 1

	บ่งชี้ด้วย ASTM D975	ไบโอดีเซล ASTM D675
องค์ประกอบ	ไฮโดรคาร์บอน (C10-C21)	เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน
ความหนืด (mm <sup>2</sup> /s)	1.9-4.1	1.9-4.1
ความหนาแน่น	0.85	0.88

คุณสมบัติ	60-80	100-170
จุดควบไอน้ำ (จุดควบดีเซล)		
ปริมาณกำมะถัน (ร้อยละ)	0.05	0.05
ปริมาณออกซิเจน (ร้อยละ)	0	11

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM [3]

ประเทศไทยในปัจจุบันในชุมชนต่างๆ ของประเทศไทยมีน้ำมันที่เหลือทิ้งจากการผลิตสินค้าทางอุตสาหกรรมขนาดย่อมเป็นจำนวนมาก เช่น น้ำมันที่เหลือทิ้งจากการประกอบอาหาร เป็นต้น เพราะจะขจัดปัญหาการนำน้ำมันมาใช้ซึ่งส่งผลเสียสุขภาพร่างกายของผู้บริโภคและยังสามารถสร้างรายได้ให้กับชุมชนอีกด้วย ซึ่งในการผลิตไบโอดีเซลสามารถนำน้ำมันที่เหลือทิ้งเหล่านี้มาผลิตด้วยกระบวนการทางเคมีหรือกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ร่วมกับ เมทานอล (CH<sub>3</sub>OH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การนำโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) มาผสมกับเมทานอล (CH<sub>3</sub>OH) แล้วซึ่งจะเรียกว่า เมทานอลไซด์ เป็นสารประกอบที่มีสีฟ้าปนเปลี่ยนจากกระบวนการนำตั้งต้นการผลิตไบโอดีเซล ที่มีสีน้ำตาลดำหรือสีเทาขุ่นในกระบวนการนี้ และส่งผลผลิตคือได้ผลิตไบโอดีเซล จึงได้ทำการศึกษาหาวิธีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากธรรมชาติ พบว่า เกลือซิมวอล [1] สามารถนำมาทดลองใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาแทนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และสามารถทำได้ง่ายในประเทศไทย จึงนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้น คือ นำไปกำจัดทิ้งเพราะมีปริมาณมาก แต่ได้มีการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมพบว่า ในต่างประเทศ สามารถนำน้ำชีวมวลมาผลิต ไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้ โดยการนำตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิเฮชัน (Heterogeneous Catalyst) [6] เนื่องจากไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับสารตั้งต้น หรือมีลักษณะการเกิดสามารถแยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายด้วยการกรองหรือทิ้งไว้ให้ตกตะกอนได้บ้าง และตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์การศึกษาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา วิชเชียนชีวมวลเอสเทอริฟิเคชันการสังเคราะห์จากผักกาดปลายนั่น เนื่องจากเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถแยกออกจากน้ำมันไบโอดีเซลได้ง่ายไม่ส่งผลผลิตปริมาณสูง ลดขั้นตอนการล้างน้ำมัน ทำให้กระบวนการใช้ได้ง่ายและช่วยลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและใช้พื้นที่น้อย เพราะจะมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในแง่ผลกระทบ



ต่อสิ่งแวดลอมและมีต้นทุนที่ไม่สูง ทั้งนี้ได้มีการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นข้อมูลประกอบของนักวิชาการป้อนเพื่อใช้ประกอบการออกรายการลดและผลการเกิดปฏิกริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันดังนี้

ปกานิน จันดีเสถียร[11] ศึกษาการสังเคราะห์แคลเซียมซัลไฟด์จากเปลือกหอยเชอรี่และเปลือกของปฏิกิริยาของแข็ง ผลการศึกษาพบว่า การเตรียมแคลเซียมซัลไฟด์จากเปลือกหอยเชอรี่ และแคลเซียมออกไซด์ด้วยการแคลไซน์เปลือกหอยเชอรี่ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราส่วนโมลน้ำมันของเปลือกหอยและแคลเซียมออกไซด์ เป็น 1:1 พบว่ามีโมลของผลผลิตต่อโมลเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง แปรผกผันและพบปฏิกิริยาผลป้อนเร่งที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นว่าผลผลิตแคลเซียมซัลไฟด์มีลักษณะขรุขระ และแคลเซียมซัลไฟด์สามารถประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Thawatchai Manonung et al.[9] : ศึกษาการใช้เปลือกหอยที่เป็นผลผลิตของตัวเร่งปฏิกิริยา CaO สำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันปาล์มพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่ได้นั้น มาจากเปลือกหอยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลักสามารถเปลี่ยนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แคลเซียมออกไซด์ โดยการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส โดยไม่ต้องใช้สารเคมีใดๆ จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาและแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งสามารถนำไปผลิตไบโอดีเซลแล้วได้อัตราผลผลิตสูงกว่าร้อยละ 90 ของเมทิลเอสเตอร์ โดยสามารถทำได้ในเงื่อนไขของปฏิกิริยาที่ดีที่สุด

ศศิประภา แก้วแดง[7]การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยกระบวนการทรานส์ เอสเตอร์ฟิเคชันโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) จากเปลือกหอยผสมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการเผาเปลือกหอยที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันที่อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน (6:1, 9:1 และ 12:1) ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (1, 2 และ 3%) และเวลาในการทำปฏิกิริยา (1, 2 และ 3 ชั่วโมง) โดยกำหนดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส คุณสมบัติไบโอดีเซลเบื้องต้น อาทิค่าความหนาแน่น ค่าความเป็นกรด ค่า pH จุดควบไฟ ค่าความหนืด ปริมาณที่ออกซิเจนอิสระ และค่าความหนืด ผลการศึกษาพบว่าการทำปฏิกิริยาที่เงื่อนไข

ของอัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกหอยผสมเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง มีปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงถึงร้อยละ 92.50 จากการทำปฏิกิริยาที่เงื่อนไขดังกล่าวสามารถนำไปใช้ผลิตไบโอดีเซลที่มีค่าคุณสมบัติต่างๆ เป็นไปตาม ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา

Kung-Tung Chen etc al. (2013) [10]ศึกษาการใช้เปลือกหอยเป็นสารตั้งต้นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ผลการศึกษาพบว่า การนำเปลือกหอยสังเคราะห์ ตัวเร่งปฏิกิริยา  $CaO, CaCO_3$  ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติแล้ว พบว่ามีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาได้ดี จึงได้นำไปทดลอง โดยใช้เมทานอลต่อน้ำมัน โมลอัตราส่วน 24:1 ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 4% และควบคุมอุณหภูมิที่ 65 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง วิธีนี้ประสบความสำเร็จในการแปลงเป็นไบโอดีเซล 99.9%

2.วิธีการศึกษา

การศึกษาการใช้เปลือกหอยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากการผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไปเป็นการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน โดยใช้สารเคมีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือใช้เคมีไฮดรอกไซด์มาผสมกับเมทานอล และใช้น้ำมันที่ได้จากการสกัดจากพืช ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม และพบว่า ถ้าเอเล็ลิ่งจากการเผาเปลือกหอยสามารถนำมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลได้ จึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าประกอบของเปลือกหอยที่ผลต่อการผลิตไบโอดีเซลและได้นำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันพืชที่เหลือทิ้งจากการทอดคั่วบ่มผงภายในชุมชนมาผลิตไบโอดีเซลแทนการสกัดน้ำมันจากพืช มีวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

- 2.1 การเตรียมน้ำมัน น้ำมันพืชเหลือทิ้งจากการทอดสินค้าทางอุตสาหกรรมชุมชน
- 2.2 การเตรียมเปลือก นำเปลือกที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส
- 2.3 การศึกษาหาองค์ประกอบของเปลือกหอยทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2.4 การวิเคราะห์การปริมาณกรดไขมันอิสระ (วัดด้วย FFA) ในน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้น้ำมันตัวต่อ 5 กรัม ลงในขวดสุป

ชมพู เติมน้ำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25 มิลลิเมตร ลงไปในน้ำส้มด้วยอย่าง และ  
 ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส 3-4 ทดสอบซ้ำอีก 3-4 ครั้ง ทำการไทเทรต ดัง  
 แสดงในรูปที่ 4 ด้วยสารละลายไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1N จนได้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู จุดนั้นที่  
 ปริมาตรสารละลายไฮดรอกไซด์ที่เติมคือความเข้มข้น 0.1N ที่ใช้  
 ไปในการไทเทรต ค่ามวลโมลาร์ของโพแทสเซียมฟอสเฟต (โพแทสเซียมฟอสเฟต) ที่  
 เติมน้ำตาลที่ได้ในคำนวณหาค่าปริมาณการใช้ด้วยปฏิบัติการในการ  
 ทำน้ำส้มชนิดนี้คือ

การคำนวณหาปริมาณของกรดไขมันอิสระ (กรดไขมันอิสระ) จาก  
 สูตร

$$\text{กรดไขมันอิสระ} = \frac{\text{ค่าความเข้มข้นของสารละลาย} \times \text{ปริมาตรของสารละลาย} \times \text{น้ำหนักโมเลกุล}}{\text{น้ำหนักโมเลกุล}} \quad (1)$$

โดย ความเข้มข้นของสารละลาย = 0.1 โมล  
 ปริมาตรของกรดไขมันอิสระ = 256 กรัม



รูปที่ 4 การไทเทรต  
 ก. น้ำส้ม 5 มล. ข. NaOH 0.1N ค. ไนเตรต

การคำนวณหาปริมาณด้วยปฏิบัติการในการทำ น้ำ  
 ส้มชนิด จากสูตร

$$\text{KOH} = 0.8 \times \frac{\text{น้ำหนักไขมันอิสระ}}{100} \times 14 + \text{MFA} \times \frac{56}{100} \quad (2)$$

โดย = ค่าสัดส่วนเชิงมวลระหว่างน้ำส้มด้วยอย่างกับ KOH  
 2.5 การผลิตน้ำส้มชนิดนี้ด้วยปฏิบัติการทางเคมีของ  
 วิจัยเชิงปฏิบัติงานทดลองนี้จะใช้ตัวอย่างที่เกี่ยวกับการใช้  
 โพลีเอทิลีนไกลีคอลในการผลิตน้ำส้มชนิดนี้ ซึ่งผลทดลองดัง  
 แสดงในตารางที่ 2

ปริมาณที่ เติมน้ำ (กรัม)	ปริมาณ KOH (กรัม)	ปริมาณ น้ำตาล (กรัม)	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณ ของแข็ง (ร้อยละ)
200	2.19	40	45	0.30	93

ตารางที่ 2 การผลิตน้ำส้มชนิดนี้ด้วยปฏิบัติการทางเคมีของ  
 วิจัยเชิงปฏิบัติโพลีเอทิลีนไกลีคอล

โดยการผลิตของแข็งของแข็งเป็น 12 การทดลอง โดยจะเทียบ  
 จากการผลิตโพลีเอทิลีนไกลีคอลมาตรฐานจากการคำนวณได้ว่าใช้  
 โพลีเอทิลีนไกลีคอลใช้ 2.19 กรัม โดยแต่ละการทดลองจะใช้  
 น้ำตาลประมาณเป็นตัวอย่างปฏิบัติการและใช้น้ำส้มปริมาณ 200  
 กรัม เท่ากับทุกการทดลองใช้ น้ำ (กรัม) : น้ำตาล (กรัม)  
 ทุกการทดลอง ซึ่งได้จากการใช้ตัวอย่างและคิดเป็นร้อยละ  
 1 โดยน้ำหนัก และร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ในการผลิตโพลีเอทิลีน  
 ซึ่งการทดลองใช้ น้ำตาลในอุณหภูมิที่ 800 และ 900  
 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการทำปฏิบัติการ 1 ชั่วโมง  
 อัตราส่วนโพลีเอทิลีนไกลีคอลต่อปริมาณน้ำคือ 3:1, 4:1 และ 5:1  
 ทำการควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิบัติการที่ 65 องศาเซลเซียส  
 และลดการควบคุม 300 ทุกครั้งผลิตใน

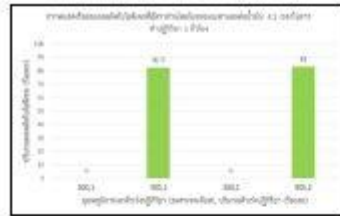
ตารางที่ 3

อัตราส่วน โพลีเอทิลีน ไกลีคอลต่อ ปริมาณ น้ำส้ม	อุณหภูมิของ ตัวอย่าง (องศาเซลเซียส)	เวลา ในการทำ ปฏิบัติการ (ชั่วโมง)	ปริมาณ ของแข็ง (ร้อยละ)
3:1	800	1	1
3:1	900	1	1
3:1	800	1	2
3:1	900	1	2
4:1	800	1	1
4:1	900	1	1
4:1	800	1	2
4:1	900	1	2
5:1	800	1	1
5:1	900	1	1
5:1	800	1	2
5:1	900	1	2

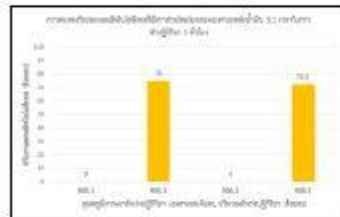
ตารางที่ 3 การทดลองใช้ตัวอย่างปริมาณเป็นตัวอย่างปฏิบัติการ

3. ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา  
 3.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ  
 ส้มที่ทำ  
 จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำส้มที่ทำ  
 ได้จากการผสมน้ำตาลที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และ  
 900 องศาเซลเซียส พบว่าจากการผสมน้ำตาลที่ทำ  
 อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีสีที่อ่อนกว่าและเนื้อของน้ำ  
 ส้มจากการทำ 800 องศาเซลเซียส





(จ) กราฟแสดงถึงผลของอัตราส่วนน้ำซีเมนต์ต่อความแข็งแรงของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำซีเมนต์ต่อปูน 4:1 ทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง



(ข) กราฟแสดงถึงผลของอัตราส่วนน้ำซีเมนต์ต่อความแข็งแรงของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำซีเมนต์ต่อปูน 5:1 ทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง

รูปที่ 6 ปริมาณผลผลิตโบโลตซีเมนต์ที่ผลิตได้จากการศึกษาที่อัตราส่วนน้ำซีเมนต์ของผสมคอนกรีตที่ (ก)3:1,(ข)4:1 และ (ค) 5:1

3.3.2 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาและอุณหภูมิ การเผากรอบที่ผลิตโบโลตซีเมนต์จากการศึกษา เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 1 ชั่วโมง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาเป็นเจ้ากรรมวิธีที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วน โบโลตซีเมนต์ของผสมคอนกรีตที่ใช้น้ำคือ 3:1, 4:1 และ 5:1 ทำการ ทดสอบอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 65 องศาเซลเซียส และมี อัตราการอบ 300 rpm จากการเผากรอบที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการหมุนที่ 300 รอบต่อชั่วโมงระหว่างปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากับ อุณหภูมิการเผาตัวเร่ง ปฏิกิริยา 900 องศาเซลเซียส เมื่อด้วยเหตุผู้ทำการทดลอง ไม่ได้นำเจ้ากรรมวิธีที่ 800 องศาเซลเซียส มีทำการทดลอง ต่อเนื่องจากการทดลองก่อนหน้าจึงผลการทดลองที่ไม่สมบูรณ์

จึงนำเฉพาะผลการทดลองที่ใช้เจ้ากรรมวิธี 900 องศาเซลเซียส จะพบว่า ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง จะมีปริมาณผลผลิต โบโลตซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 80 โดยปริมาณผลผลิตโบโลตซีเมนต์ค่าที่ต่ำ เนื่องจากปฏิกิริยา ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นเป็นปฏิกิริยาก่อนกลับได้ การทำ ปฏิกิริยาที่ระยะเวลาตามเก็บไปจะส่งผลให้กินสภาวะสมดุล ของระบบ ปริมาณผลผลิตที่มีค่าลดลง และ เกิดปริมาณ สบู่เพิ่มขึ้น[8] จึงกล่าวได้ว่าระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่ เหมาะสมใน การศึกษานี้คือ 1 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณา แล้วพบว่า อัตราส่วนโบโลตซีเมนต์ของผสมคอนกรีตที่ เหมาะ กับการทำปฏิกิริยาในระบบการเผาโบโลตซีเมนต์ที่ใช้น้ำนี้ คือ 3:1 โดยใช้ตัวเร่ง 1 โดยน้ำหนัก ซึ่งได้ผลผลิตที่ ร้อยละ 86.5

3.3.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติโบโลตซีเมนต์

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของโบโลตซีเมนต์ได้จากการทดลองประกอบด้วย การ วิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ความเป็กรก ค่า pH จดค่าพี ค่าความชื้น ปริมาณเมทิลเฮลเพอร์ โดยผลการวิเคราะห์ สามารถอธิบายได้ดังนี้

- ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของน้ำในโบโลตซีเมนต์ ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของน้ำในโบโลตซีเมนต์ที่ผ่านการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโบโลตซีเมนต์ของผสม คอนกรีตที่ 3:1, 4:1 และ 5:1 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเจ้า กรรมวิธีที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และร้อยละ 2 โดยน้ำหนักพบว่าค่าความหนาแน่นของน้ำในโบโลตซีเมนต์ที่ ได้อยู่ในช่วง 890-901 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นเมื่อ ปริมาณของผสมคอนกรีตที่ใช้น้ำและตัวเร่งปฏิกิริยาของจะทำให้ ค่าความหนาแน่นของน้ำใน โบโลตซีเมนต์ส่วนมากมีค่าลดลง โดยใช้เวลาเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านอุณหภูมิการเผา 900 องศา เซลเซียส จะพบว่าอัตราส่วนโบโลตซีเมนต์ของผสมคอนกรีตที่ อัตราส่วนเท่ากัน การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเผาด้วย อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และพบว่าการใช้ตัวเร่งโบโลตซีเมนต์ของผสมคอนกรีตที่ 3:1 และสามารถใช้เวลาเร่ง ปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เพราะเมื่อเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ไม่มีผลต่อความหนาแน่นของ น้ำในโบโลตซีเมนต์ และมีผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นตาม มาตรฐานมากที่สุด โดยจะมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 890-901 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังกล่าว เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D1298 ของกรมอุทกศาสตร์ที่ กำหนดให้น้ำในโบโลตซีเมนต์มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 860-900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[5] ดังนั้นในตารางที่ 4

อัตราส่วน โพลีเอสเตอร์ และอนุภาค น้ำมัน	อุณหภูมิ การอบ ตัวผง ปฏิกิริยา (๑๓๓ หรือ ๑๕๐)	เวลาใน ภาชนะ ปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ปริมาณ ตัวผง ปฏิกิริยา (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร)
3:1	900	1	1	895
3:1	900	1	2	898
4:1	900	1	1	901
4:1	900	1	2	901
5:1	900	1	1	901
5:1	900	1	2	901

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของอนุภาคน้ำมันในโพลีเอสเตอร์

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของอนุภาคน้ำมันในโพลีเอสเตอร์ที่ผ่านการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโพลีเอสเตอร์ของอนุภาคน้ำมัน 3:1, 4:1 และ 5:1 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกถั่วปากอ่าวที่มีอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส โพลีเอสเตอร์ที่มีมวลตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และ ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ที่ปฏิกิริยาเวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 1 ชั่วโมง พบว่าค่าความหนาแน่นของอนุภาคน้ำมันมีค่าอยู่ในช่วง 0.45-0.51 มีลักษณะโพลีเอสเตอร์ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และพบว่าค่าการใช้อัตราส่วนโพลีเอสเตอร์ของอนุภาคน้ำมันที่ 3:1 มีความหนาแน่นที่ต่ำกว่า โพลีเอสเตอร์ที่ปฏิกิริยาเป็นโพลีเอสเตอร์ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.45-0.51 มีลักษณะโพลีเอสเตอร์ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งค่าความหนาแน่นของอนุภาคน้ำมันในโพลีเอสเตอร์เป็นค่าที่แปรผกผันกับอัตราส่วนของอัตราส่วนโพลีเอสเตอร์ต่ออนุภาคน้ำมัน [8] โพลีเอสเตอร์ที่มีความหนาแน่นที่ต่ำกว่าจะนำไปสู่การให้ระบบอนุภาคน้ำมันเกิดการกักตัวอนุภาคที่อนุภาคจะมีอายุการใช้งานสั้นลงซึ่งการรวมอนุภาคที่ทำงานกำหนดให้อนุภาคน้ำมันในโพลีเอสเตอร์มีความหนาแน่นไปตามมาตรฐาน ASTM D664 ที่กำหนดให้ความหนาแน่นของอนุภาคมีค่าต่ำกว่า 0.5 มีลักษณะโพลีเอสเตอร์ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [5] คำนึงถึงในตารางที่ 5

อัตราส่วน โพลีเอสเตอร์ ต่อ อนุภาคน้ำมัน	อุณหภูมิ การอบ ตัวผง ปฏิกิริยา (๑๓๓ หรือ ๑๕๐)	เวลาใน ภาชนะ ปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ปริมาณ ตัวผง ปฏิกิริยา (ร้อยละ)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร)
3:1	900	1	1	0.45
3:1	900	1	2	0.48

4:1	900	1	1	0.50
4:1	900	1	2	0.48
5:1	900	1	1	0.51
5:1	900	1	2	0.50

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของอนุภาคน้ำมันในโพลีเอสเตอร์

ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของอนุภาคน้ำมันในโพลีเอสเตอร์ และผลการวิเคราะห์ค่า pH ของอนุภาคน้ำมันในโพลีเอสเตอร์ที่ผ่านการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโพลีเอสเตอร์ของอนุภาคน้ำมัน 3:1, 4:1 และ 5:1 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกถั่วปากอ่าวที่มีอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส โพลีเอสเตอร์ที่มีมวลตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และ ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ที่ปฏิกิริยาเวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 1 ชั่วโมง พบว่าค่า pH ของอนุภาคน้ำมันในโพลีเอสเตอร์มีค่าอยู่ในช่วง 5-6 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของโพลีเอสเตอร์ทั่วไป คืออยู่ในช่วง 5-6.5 (PSU Biochem.2551) คำนึงถึงในตารางที่ 6

อัตราส่วน โพลีเอสเตอร์ และอนุภาค น้ำมัน	อุณหภูมิ การอบ ตัวผง ปฏิกิริยา (๑๓๓ หรือ ๑๕๐)	เวลาในภา ชนะ ปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	ปริมาณ ตัวผง ปฏิกิริยา (ร้อยละ)	ค่า pH
3:1	900	1	1	>5
3:1	900	1	2	>5
4:1	900	1	1	>5
4:1	900	1	2	6
5:1	900	1	1	>5
5:1	900	1	2	6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของอนุภาคน้ำมันในโพลีเอสเตอร์

ผลการวิเคราะห์ค่าความใสของอนุภาคน้ำมันในโพลีเอสเตอร์ที่ผ่านการทำปฏิกิริยาที่อัตราส่วนโพลีเอสเตอร์ของอนุภาคน้ำมัน 3:1, 4:1 และ 5:1 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเปลือกถั่วปากอ่าวที่มีอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ที่การเติมปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และ ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ที่ปฏิกิริยาเวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 1 ชั่วโมง พบว่าความใสของอนุภาคน้ำมันในโพลีเอสเตอร์ที่ผลิตด้วยการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 190-200 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM D93 ที่กำหนดให้ค่าความใสของอนุภาคน้ำมันในโพลีเอสเตอร์มีค่ามากกว่า 120 องศาเซลเซียส [5] โดยค่าความใสและจุดตัดไฟไม่มีผลต่อการให้ค่าดัชนีของอนุภาคน้ำมันเป็นตัวที่แปรผกผัน

ความปลอดภัยของหินก้อนที่ผ่านการบดที่ขาหาวหินบนน้ำมัน  
 เชื้อเพลิง ซึ่งพบว่าจุดวาบไฟและจุดติดไฟของน้ำมันในโถคังเซีย  
 ที่ผลิตได้สูงกว่าน้ำมันคังเซียผลิตให้เห็นว่าการกักเก็บและขนถ่าย  
 น้ำมันในโถคังเซียที่ผลิตได้มีความปลอดภัย (กระทรวงพลังงาน,  
 2560) ดังแสดงในตารางที่ 7

อัตราส่วน โถคังเซียต่อ นํ้ามัน	จุดจุดไฟ การกัก เก็บ ปฏิทิน (๑๕๓ เคลเซีย)	เวลาในการ ทำ ปฏิทิน (ชั่วโมง)	ปริมาณ ตัวเร่ง ปฏิทิน (ร้อยละ)	จุดวาบ ไฟ (๑๕๓ เคลเซีย)
3:1	900	1	1	>196
3:1	900	1	2	>200
4:1	900	1	1	>200
4:1	900	1	2	>200
5:1	900	1	1	>200
5:1	900	1	2	>200

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์จุดวาบไฟของน้ำมันในโถคังเซีย

• ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันในโถคังเซียที่ผลิต  
 ได้นี้ พบว่าค่าความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 30-36.30 เมกะจูลต่อ  
 กิโลกรัม ซึ่งตามมาตรฐาน ASTM D4809 กำหนดให้ค่าความ  
 ร้อนของน้ำมันในโถคังเซียควรมีค่าประมาณ 46 เมกะจูลต่อ  
 กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าความร้อนที่สูงกว่าน้ำมันคังเซีย 36 เมกะจูล  
 ต่อกิโลกรัม จากผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของโถคังเซีย  
 พบว่า โถคังเซียมากค่าความร้อนของโถคังเซียมีค่าสูงกว่า  
 น้ำมันคังเซียเพียงเล็กน้อย หากค่าความร้อนของโถคังเซียมีค่า  
 สูงถึงระดับคุณภาพที่คังเซียเชื้อเพลิง (กระทรวงพลังงาน,2550)  
 และเมื่อนำไปใช้ร่วมกับเครื่องกลจะมีอัตราการสิ้นเปลืองของ  
 เชื้อเพลิงต่ำกว่าการใช้กับน้ำมันคังเซีย ดังแสดงในตารางที่ 8

อัตราส่วน โถคังเซียต่อ นํ้ามัน	จุดจุดไฟ การกัก เก็บ ปฏิทิน (๑๕๓ เคลเซีย)	เวลาในการ ทำ ปฏิทิน (ชั่วโมง)	ปริมาณ ตัวเร่ง ปฏิทิน (ร้อยละ)	ค่าความ ร้อน โถคัง (เมกะจูล ต่อกิโลกรัม)
3:1	900	1	1	36.30
3:1	900	1	2	30.74
4:1	900	1	1	32.60
4:1	900	1	2	30.64
5:1	900	1	1	1.62
5:1	900	1	2	0.59

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน

• ผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทธิลเอทเธอร์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทธิลเอทเธอร์ โดยเทคนิค  
 แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรีจากผลการวิเคราะห์  
 ปริมาณเมทธิลเอทเธอร์ของน้ำมันในโถคังเซียที่ผลิตได้นี้ พบว่ามี  
 ค่าปริมาณเมทธิลเอทเธอร์ตั้งแต่ร้อยละ 37-60 โดยตาม  
 มาตรฐาน EN 14103 กำหนดให้ปริมาณเมทธิลเอทเธอร์ควรมี  
 ค่าร้อยละ 96.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเมทธิลเอทเธอร์ในระ  
 เป็นข้อบ่งชี้ถึงความบริสุทธิ์ของโถคังเซีย โดยผลการวิเคราะห์  
 ปริมาณเมทธิลเอทเธอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในครั้งนี้นั้นพบว่ามี  
 ค่าที่ต่ำกว่าคือ ร้อยละ 57.6 ซึ่งมีค่าที่น้อยกว่ามาตรฐานทาง  
 ผู้เกี่ยวข้องการศึกษาและพัฒนาการวิจัยในโถคังเซียไป

4. สรุปผลการศึกษา

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิริยา พบว่าจุดจุดไฟ  
 การกักเก็บประมาณ 900 องศาเซลเซียส เนื่องจากผลผลิตโถ  
 คังเซียที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นโถคังเซียสีเทา
2. การศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันพืชที่  
 ผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตโถคังเซีย โดยใช้  
 ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการไทเทรต ค่า  
 ความหนาแน่น ค่าความหนืด จากการศึกษาพบว่าน้ำมันพืช  
 ที่ผลิตขึ้นมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.89 มีความ  
 หนาแน่น 901 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความหนืด  
 1.12 มิลลิกรัมโพลาไรเซชันต่อเดกรีซี
3. การผลิตโถคังเซียด้วยปฏิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน โดย  
 ใช้สภาวะการป้อนเป็นตัวเร่งปฏิริยา จากผลการศึกษการที่  
 ปฏิริยาที่เร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาของเมทานอลต่อน้ำมัน  
 3:1 โดยใช้น้ำมันพืชจากสภาวะการป้อนเมทานอลของ  
 900 องศาเซลเซียส ปริมาณตัวเร่งปฏิริยาร้อยละ 1 โถ  
 น้ำหนัก เวลาในการทำปฏิริยา 1 ชั่วโมง การควบคุมอุณหภูมิ  
 ในการทำปฏิริยาที่ 65 องศาเซลเซียส และมีอัตราการ  
 300 rpm มีปริมาณเมทธิลเอทเธอร์ร้อยละ 57.6 และ  
 มีปริมาณผลิตโถคังเซียอยู่ที่ร้อยละ 86.5
4. การวิเคราะห์คุณสมบัติของโถคังเซียจากน้ำมันพืชที่ผลิต  
 ขึ้นโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากสภาวะการป้อนโถคังเซียที่  
 ผลิตได้มีคุณสมบัติเป็นไปตามประกาศกระทรวงพลังงาน  
 งาน คือ มีความหนาแน่น 895 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่า  
 ความหนืด 0.45 มิลลิกรัมโพลาไรเซชันต่อเดกรีซีต่อกรัม  
 ค่า pH >5 จุดวาบไฟ 196 องศาเซลเซียส ค่าความร้อน 36.30  
 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าผลการทดสอบที่ได้นี้ถือว่ามีความ  
 ใกล้เคียงกับมาตรฐานของดีเซล

### 5. กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ขอบใจได้รับการสนับสนุน และได้รับความร่วมมือจาก

ขอขอบพระคุณ สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพ และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ศูนย์วิจัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้และวิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบผลิตภัณฑ์ต่างๆ

[11] ปาณีนันท์ จันทร์สอน. "การสังเคราะห์แคทาลิซิสจากเปลือกหอยเชอรี่และเถ้าถ่านโดยปฏิกิริยาของแข็ง" ศึกษาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[12] อชาวิทย์ อินสุพรรณ.(2556).การศึกษาองค์ประกอบแร่ ป่าสนป่ามัน เถ้าข้าวลื้อ และวัสดุปลูกใช้จากขี้คัส. (3 พฤษภาคม 2561)

### 6. บรรณานุกรม

[1] อู๋ซิงยู เทพธยานพพนม โค้วคำ. (2558)การใช้เถ้าจากชีวมวลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล. (2 กุมภาพันธ์ 2561)

[2] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2560). สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม – พฤศจิกายน 2560. กระทรวงพลังงาน.(22 มกราคม 2561)

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2552).คู่มือผลิตไบโอดีเซลเปรียบเทียบน้ำมันดีเซล.สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยกระทรวงพลังงาน. (2 กุมภาพันธ์ 2561)

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2560).สถานการณ์พลังงานของประเทศไทยกระทรวงพลังงาน. (2 กุมภาพันธ์ 2561)

[5] ศูนย์บริการวิชาการที่ 3. 2553.เทคนิคการผลิตไบโอดีเซลให้คุณภาพ.รายงานออนไลน์ไม่สงวนลิขสิทธิ์. <http://www2.dede.go.th/bett/Activities/KM/BioDiesel%20Manual.pdf> (27 มกราคม 2561).

[6] ศูนย์การันตีสัญญาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2556). รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย. กระทรวงพลังงาน.

[7] ศศิประภา แก้วแสง. (2560)การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) จากเปลือกหอยเชอรี่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา.(2 กุมภาพันธ์ 2561)

[8] วุฑฒิย์ ชื่นเชษฐ์. (2557). การผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันหอยใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงซ้อนแคลเซียมออกไซด์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยศิลปากรศรีนครินทร์.(27 มกราคม 2561)

[9] Thawatjai Manasung et al. (2014). ศึกษาการใช้เถ้าชีวมวลที่เป็นผลของตัวเร่งปฏิกิริยา CaO สำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันปาล์ม.(27 มกราคม 2561).

[10] Kung-Tung Chen etc al. (2013)ศึกษาการใช้เถ้าถ่านเป็นสารตั้งต้นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซล.(26 กุมภาพันธ์ 2561)

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ : นายสุเชษฐ เทพอาษา

เกิด : วันศุกร์ที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2536 อายุ 25 ปี

ประวัติการศึกษา : ระดับปริญญาตรีในปี พ.ศ.2558

สาขาวิชาพลังงานทดแทน

วิทยาลัยพลังงานทดแทน

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

ประวัติการทำงาน : บริษัท คอนเนอร์สโตน โซลูชั่น จำกัด ในปี พ.ศ.2561

ตำแหน่ง ผู้ช่วยนักวิจัย

