

การใช้ประโยชน์ซีเมนต์จากการเผาซากไก่และเปลือกไข่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล

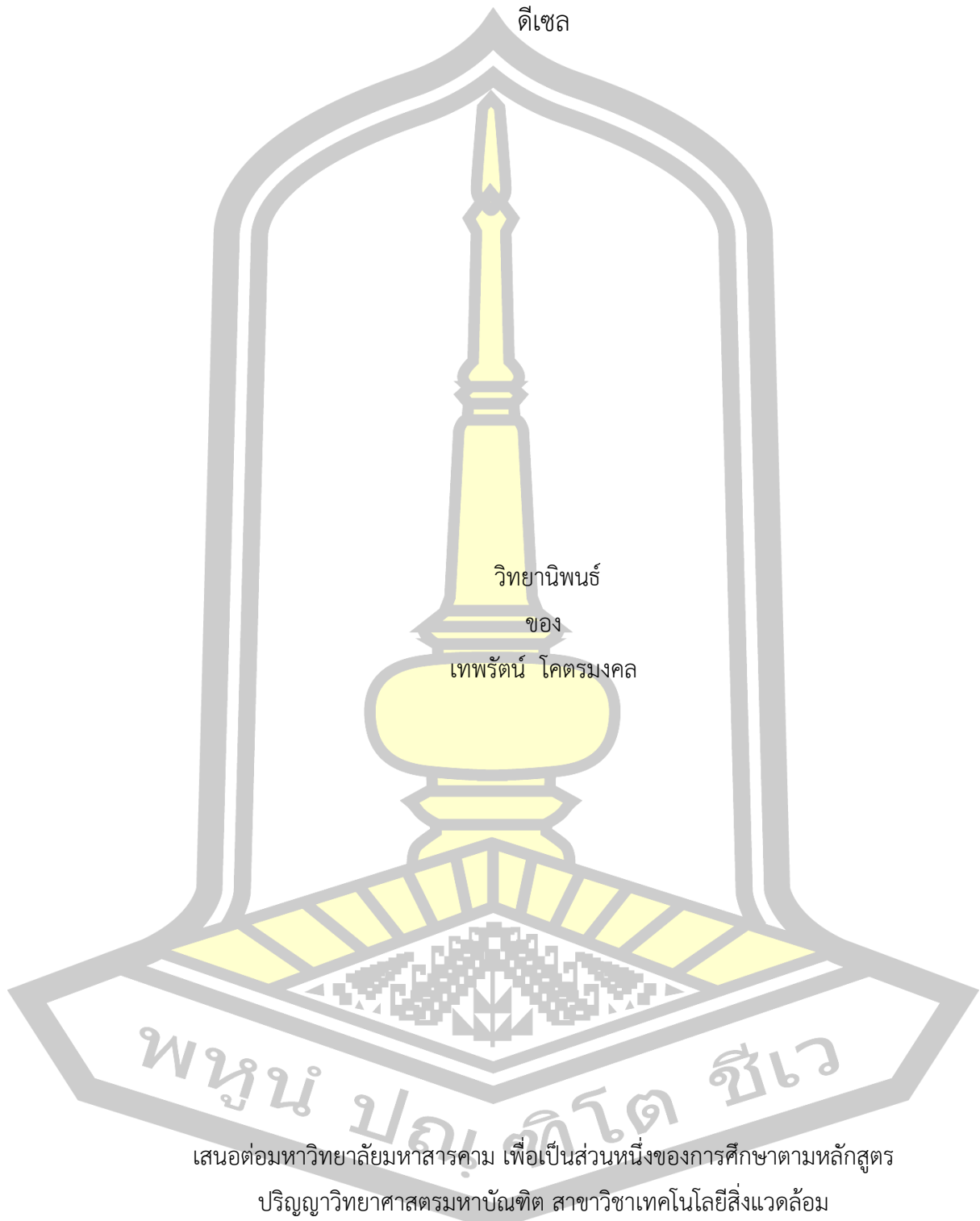
วิทยานิพนธ์
ของ
เทพรัตน์ โคตรมงคล

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2560

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การใช้ประโยชน์ที่ได้จากการเผาซากไก่และเปลือกไข่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอ

ดีเซล



เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

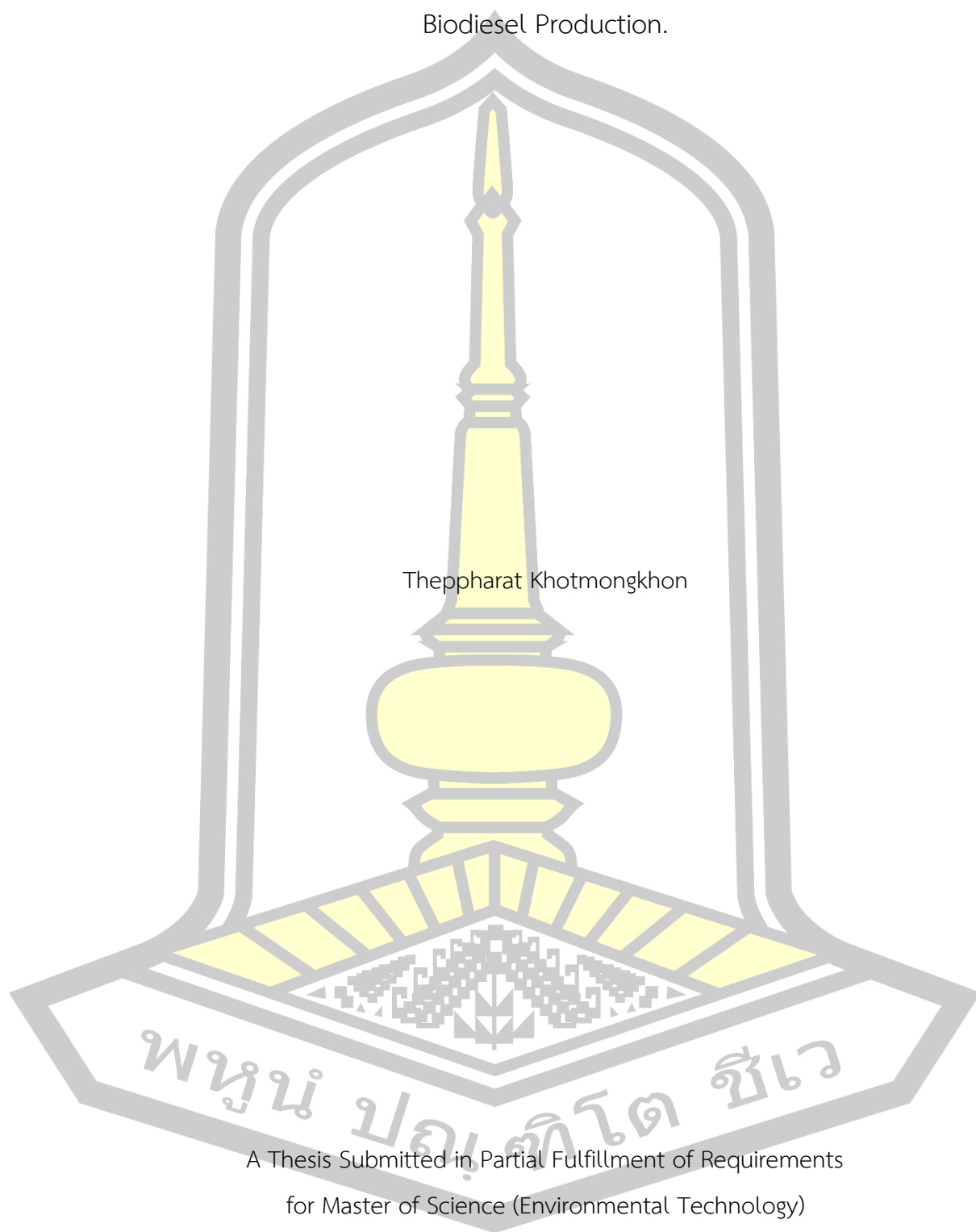
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2560

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Utilization of Ashes from Chicken Carcasses and Egg Shell as a Catalyst in
Biodiesel Production.

Theppharat Khotmongkhon



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Science (Environmental Technology)

Academic Year 2017

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายเทพรัตน์ โคตรมงคล
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(อ. ดร. วิจิตรา สิงห์หิรัญสรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. นิพนธ์ ตันไพบุลย์กุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อ. ดร. ยุวดี ไชยเชษฐ์)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. อภิพงษ์ พุ่มคำ)

.....กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(อ. ดร. นิตยัตตะยา ผาสุขพันธุ์)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(ผศ. ดร. ยรรยงค์ อินทร์ม่วง)

.....
(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วัน.....เดือน.....ปี.....

ชื่อเรื่อง การใช้ประโยชน์เชื้อเถ้าจากการเผาซากไก่และเปลือกไข่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล

ผู้วิจัย เทพรัตน์ โคตรมงคล

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ ตันไพบุลย์กุล
อาจารย์ ดร. ยวดี ไชยเชษฐ์

ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต **สาขาวิชา** เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีการศึกษา** 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำเอน้ำมันปาล์มทอดไก่ แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ และเถ้าจากการเผาซากไก่ ที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มทอดไก่และแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล โดยแคลเซียมออกไซด์ ได้แก่ ศึกษาปริมาณแคลเซียมออกไซด์ ตั้งแต่ 0 , 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 % (โดยน้ำหนัก) อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มทอดไก่ ตั้งแต่ 6:1 , 9:1 , 12:1 , 15:1 (โดยโมล) และการศึกษาอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา ตั้งแต่ อุณหภูมิห้อง , 55 , 60 , 65 , 70 และ 75 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาตั้งแต่ 0.5 , 1.5 , 2.0 , 2.5 และ 3.0 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เท่ากับ 6 % โดยน้ำหนักอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน เท่ากับ 6 ต่อ 1 โดยโมล ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ได้พื้นที่ของการเกิดสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล 11.86% และเมื่อมีการใช้เถ้าซากไก่มาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถเกิดร้อยละของพื้นที่ที่พบสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลระหว่าง 67 ถึง 88

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล, ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน, แคลเซียมออกไซด์, น้ำมันประกอบอาหาร ที่ใช้แล้ว, เถ้าซากไก่

TITLE	Utilization of Ashes from Chicken Carcasses and Egg Shell as a Catalyst in Biodiesel Production.		
AUTHOR	Theppharat Khotmongkhon		
ADVISORS	Assistant Professor Nipon Tanpaiboonkul , Ph.D. Yuvadee Chaiyachet , Ph.D.		
DEGREE	Master of Science	MAJOR	Environmental Technology
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2017

ABSTRACT

This research, biodiesel was produced from fried -chicken palm oil via transesterification process with calcium oxide catalyst derived from egg shell waste and chicken carcasses ashes. The main objectives of this studies are to determined the properties of both fried-chicken palm oil and calcium oxide obtained from eggshell waste followed by the effect of the various factors on the obtained biodiesel. These two primary factors including, the amount of catalyst and the molar ratio of methanol to oil which varied from 0 to 7 %w. and 6:1 to 15:1, respectively. the another two factors including room temperature and reaction time which varied from 55 to 75 °C and 0.5-3.0 hour, respectively. The experimental results showed that the optimum condition on biodiesel production found on 1 hour reaction time with 6%w of calcium oxide, 6:1 methanol to oil ratio and at 65°C. This optimum condition yielded 11.96% of biodiesel content. The area of of biodiesel can be obtained between 67% and 88%.

Keyword : Biodiesel, Transesterification, Calcium Oxide, Waste Cooking Oil, Chicken carcass ash

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับทุนและความอนุเคราะห์วัสดุในการทำวิจัยจากบริษัทซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด มหาชน ร่วมกับโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโทประจำปีงบประมาณ 2557 และทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 และศูนย์วิจัยสิ่งแวดล้อมและพลังงานที่ยั่งยืน (Sustainable Environment & Energy Research Center, SEER)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับกรุณาจากท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ท่านอาจารย์ ดร.ยุวดี ไชยเชษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ท่านอาจารย์ทุกท่าน ตลอดจนบุคลากรเจ้าหน้าที่ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่กรุณาให้คำชี้แนะ อนุเคราะห์เครื่องมือในการทำวิจัย ตลอดจนอำนวยความสะดวกให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปด้วยดี

เทพรัตน์ โคตรมงคล

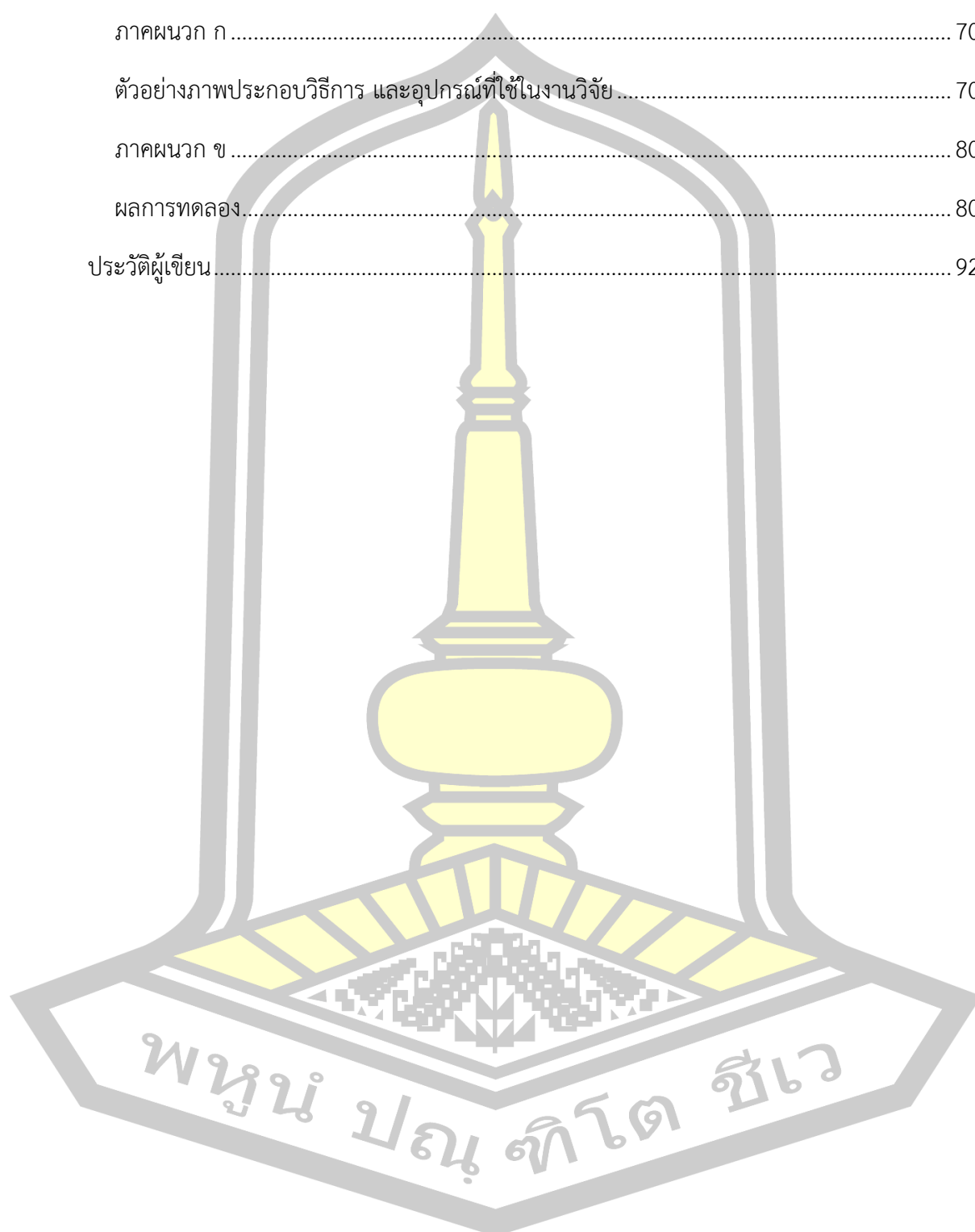


สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฌ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2	5
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 แนวโน้มการใช้ไบโอดีเซลในประเทศไทย.....	5
2.2 ความหมายและนิยามของน้ำมันไบโอดีเซล	5
2.3 ประเภทของไบโอดีเซล.....	6
2.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล.....	6
2.5 เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	8
2.6 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	8
2.7 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	12

2.8 แคลเซียมออกไซด์.....	15
2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	22
2.10 คุณสมบัติและคุณภาพของไบโอดีเซล	27
2.11 ข้อดีและข้อเสียของไบโอดีเซล	30
2.12 ความแตกต่างของไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล	32
บทที่ 3	34
อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	34
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	34
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	34
3.4 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์	35
3.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	35
3.5.1 การเตรียมวัสดุและวิเคราะห์สมบัติของเปลือกไข่และซากไก่.....	35
3.5.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล (ตารางประกอบ 7)	39
3.5.3 การศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำในการผลิตไบโอดีเซล	41
บทที่ 4	42
ผลการดำเนินงาน	42
4.1 การศึกษาสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มทอดไก่และแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่.....	42
4.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล	50
4.3 ศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำในการผลิตไบโอดีเซล.....	61
บทที่ 5	63
สรุปผลการวิจัย	63
5.1 สรุปผลการวิจัย	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	63
บรรณานุกรม.....	65

ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก.....	70
ตัวอย่างภาพประกอบวิธีการ และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	70
ภาคผนวก ข.....	80
ผลการทดลอง.....	80
ประวัติผู้เขียน.....	92



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์และปฏิกิริยาแบบวิวิพันธ์	14
ตารางที่ 2	องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่.....	17
ตารางที่ 3	องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของไก่เนื้อ.....	21
ตารางที่ 4	เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM.....	29
ตารางที่ 5	เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการใช้ไบโอดีเซล.....	32
ตารางที่ 6	เปรียบเทียบสมบัติการปลดปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมของไบโอดีเซล B100 กับ B20	33
ตารางที่ 7	การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล.....	41
ตารางที่ 8	องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ไก่และแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrophotometer.....	44
ตารางที่ 9	ฟลักของเปลือกไข่ไก่และแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่โดยใช้เทคนิค X-Ray Diffraction	44
ตารางที่ 10	องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าซากไก่โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrophotometer	48
ตารางที่ 11	มุมของการเลี้ยวเบนของสารที่ตรวจพบในเถ้าซากไก่ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ JCPDS data.....	49
ตารางที่ 12	ค่าสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว	50
ตารางที่ 13	การวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ของการใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ต่างกันด้วย One Way Anova	51
ตารางที่ 14	พื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ที่มีการใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ต่างกัน.....	52
ตารางที่ 15	การวิเคราะห์ผลทางสถิติของพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ในการใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ต่างกันด้วย One Way Anova	54

ตารางที่ 16 พื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ที่มีการใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันต่างกัน	54
ตารางที่ 17 การวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ของการใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่ต่างกันด้วย One Way Anova.	56
ตารางที่ 18 พื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ที่มีการใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน	56
ตารางที่ 19 ค่าสมบัติเบื้องต้นในน้ำมันไบโอดีเซล	59
ตารางที่ 20 พื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด มีการใช้อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน.....	60
ตารางที่ 21 การวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ของการใช้อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกันด้วย One Way Anova	61
ตารางที่ 22 การวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ของการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำในการผลิตไบโอดีเซลด้วย One Way Anova	62
ตารางที่ 23 พื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ที่มีการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำในการผลิตไบโอดีเซล	62



สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 1 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์.....	9
ภาพประกอบ 2 คุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกริยาแบบวิวิธพันธ์ที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซล.....	14
ภาพประกอบ 3 โครงสร้างและองค์ประกอบของไข่.....	16
ภาพประกอบ 4 เปลือกไข่อบหรือตากแห้งบดละเอียด.....	18
ภาพประกอบ 5 แคลเซียมออกไซด์ที่มีจำหน่ายทั่วไป	19
ภาพประกอบ 6 แก้วชาไก่ที่ผ่านการบดแล้ว.....	21
ภาพประกอบ 7 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกริยาวิวิธพันธ์	35
ภาพประกอบ 8 ภาพถ่ายเปลือกไข่จากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 8,000 เท่า	42
ภาพประกอบ 9 ภาพถ่ายแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่จากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 10,000 เท่า	43
ภาพประกอบ 10 XRD pattern ของผลึกสารต่างๆในเปลือกไข่.....	45
ภาพประกอบ 11 การเทียบสีความแรงเบสของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ด้วยวิธี Hammett indicators method	46
ภาพประกอบ 12 ภาพถ่ายแก้วชาไก่จากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)	47
ภาพประกอบ 13 พีคของผลึกสารต่างๆในแก้วชาไก่ที่วิเคราะห์โดยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)	48
ภาพประกอบ 14 การเทียบสีความแรงเบสของแก้วชาไก่ด้วยวิธี Hammett indicators method	49

พจน ปรณ จิตโต ชีวะ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กากของเสียอุตสาหกรรมเป็นปัญหาที่ทุกฝ่ายทุกภาคส่วนทั้งหน่วยงานภาครัฐ เอกชน ผู้มีส่วนรวม รวมถึงผู้ที่ไม่มีส่วนรวมต่างให้ความสำคัญในการแก้ไขเพื่อให้มีมาตรการที่ดีในการกำจัดหรือบำบัด เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด แนวทางการจัดการกากอุตสาหกรรมที่เกิดจากกระบวนการผลิตต่างๆ นั้นที่มีอยู่หลายรูปแบบและมีวิธีการที่แตกต่างกันไป ขึ้นกับคุณสมบัติของกากของเสียที่เกิดขึ้น เช่น ของเสียที่เป็นของแข็งจะใช้วิธีการกำจัดแบบเผาหรือ ผงกลบ และวิธีการนำเอาของเสียกลับมาใช้ประโยชน์อีก เป็นต้น ซึ่งนอกจากจะมีการใช้หลักการของเทคโนโลยีในการบำบัดในรูปแบบต่างๆ แล้ว ยังมีการบูรณาการถึงการใช้อนุภาคนาโนในการจัดการที่เหมาะสมด้วย

จากอุตสาหกรรมโรงฟอกไซในจังหวัด นครราชสีมา มีการพบของเสียหลัก คือ เปลือกไซเป็นจำนวนมาก ซึ่งเปลือกไซเหล่านี้จะถูกนำไปกำจัดโดยการเผา แล้วนำไปผงกลบในพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตในปี 2556 และจากข้อมูลของ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2553) ในประเทศไทยมีการผลิตเฉพาะลูกไก่เนื้อ ทั่วประเทศประมาณ 1,100 ล้านตัว มีปริมาณเปลือกไซที่ต้องนำไปผงกลบมากถึง 660 ตัน โดยประมาณ ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดจำนวน 12,000 บาทต่อตัน หรือ 8 ล้านบาทต่อปี ซึ่งทำให้เกิดความไม่สะดวกต่อการจัดการเรื่องเอกสารต่างๆ รวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียเหล่านี้ ประกอบกับโรงงานแปรรูปอาหาร ได้มีการใช้น้ำมันพืชซึ่งมาจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองในการผลิตสินค้า ซึ่งทำให้เกิดของเสียนั้นก็คือ น้ำมันปาล์มทอดไก่ที่ไซแล้ว โดยพบว่าเปลือกไซมีองค์ประกอบทางเคมีที่น่าสนใจ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต มากถึง 98.2% โดยน้ำหนัก เมื่อนำไปเผาจะได้แคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเผาหินปูนหรือที่รู้จักกันในชื่อปูนขาว (lime) จากการวิเคราะห์ผลวิเคราะห์สารประกอบออกไซด์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) ของเปลือกไซที่พบว่าเปลือกไซมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นส่วนประกอบที่มีมากที่สุด 68.2%w และมีความบริสุทธิ์สูงของ CaO (ประมาณ 98.0%w) ซึ่งได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง จะให้พื้นที่ผิว 14.9 m^2 (ทีปกร พรไชย, อัจฉรา อิมคำ พุดคำ, 2559) ซึ่งประโยชน์ของแคลเซียมออกไซด์ที่ได้สามารถนำไปใช้ปรับสภาพของดินและน้ำที่เป็นกรดใช้ในการผลิตโซดาไฟและสารฟอกขาว และเป็นส่วนผสมของปูนฉาบ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นสารดูดความชื้นและสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ในการผลิตไบโอดีเซล (L.C. Meher, Vidya S.S. Dharmagadda, 2006) สำหรับกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ โดยสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) จะทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดย (alcohol) มีกรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้

อัลคิลเอสเทอร์ (alkyl ester) หรือเรียกโดยทั่วไปว่าไบโอดีเซล (Yijun Liu, Edgar Lotero James G. Goodwin Jr., 2007) และได้กลีเซอรอลที่เป็นผลผลิตพลอยได้ (By product) ซึ่งเอสเทอร์ที่พบจะต้องมี C12-C22 (C. Brunschwig, W. Moussavou, 2012)

ส่วนที่เฝ้าจากการเผาซากไก่อ้นั้น จากการศึกษางานวิจัยเบื้องต้นพบว่ามืองค์ประกอบของแร่ธาตุที่สำคัญคือโปแตสเซียมออกไซด์ 150 ปอนด์ต่อตัว (Robert T. Burns., 2000) และพบธาตุต่างๆ ได้แก่ โปแตสเซียม โซเดียมและแคลเซียม เป็นส่วนใหญ่ (Probst, 2009) จากข้อมูลดังกล่าวจึงมีความเป็นไปได้ในการนำไข่เฝ้าจากการเผาซากไก่อมาเป็นส่วนผสมในแคลเซียมออกไซด์มาปรับปรุงเป็นสารเร่งปฏิกิริยาแบบวิธีพ่นธในการผลิตไบโอดีเซลได้

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิธีพ่นธในการผลิตไบโอดีเซลจะเป็นการใช้ปฏิกิริยาแบบทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันในระบบ เช่น ZnO , Zeolite เป็นต้น ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะช่วยแก้ไขการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งในระบบที่มีน้ำในปฏิกิริยา (Jaturong Jitputti , Boon YarachKitiyanan , Pramoch Rangsunvigit , Kunchana Bunyakiat , Lalita Attanatho, 2006) นอกจากนี้ยังมีการใช้ CaO ที่มีคุณสมบัติเป็นด่างมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการทำไบโอดีเซลด้วยเช่นกัน (พัชรนันท์ ภูสกุล, 2554) ที่มีการประยุกต์การใช้เปลือกไข่เป็นวัตถุดิบในการนำไปเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการทำไบโอดีเซล

จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำของเสียที่เกิดจากโรงงานของบริษัท ซีพีเอฟ จำกัด มหาชน มาใช้ประโยชน์และเป็นการกำจัดของเสียแบบครบวงจร เพื่อลดขั้นตอนดำเนินการในการจัดการโดยนำมาปรับปรุงเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ศึกษาการเตรียมสารเร่งปฏิกิริยาจากของเสีย ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มทอดไวกจากอุตสาหกรรมอาหารที่มีแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งปริมาณแคลเซียมออกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน อุณหภูมิและระยะเวลาในการผลิตไบโอดีเซล รวมไปถึงการนำเอาเฝ้าซากไก่อมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล และนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปใช้ซ้ำในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวิธีการเตรียมวัสดุที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล
2. ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล
3. ศึกษาสภาวะและอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล
4. ศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำในการผลิตไบโอดีเซล

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล คือ น้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว เปลือกไข่และซี้เถ้าซากไก่
ได้จาก บริษัท ซีพีเอฟ จำกัด มหาชน มีที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา
2. ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเปลือกไข่และซากไก่
 - 2.1 เปลือกไข่ เเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส
 - 2.2 เถ้าซากไก่มีการใช้อุณหภูมิตามที่โรงงานใช้ในการเผาปกติ คือ 1300-1350 องศาเซลเซียส หรือประมาณ 700 องศาเซลเซียส
3. ศึกษาคุณสมบัติของเปลือกไข่เผาและซี้เถ้าซากไก่
 - 3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ
 - 3.1.2 โครงสร้างทางจุลภาคด้วยเทคนิค SEM
 - 3.1.3 วิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิคการดูดซึ่มก๊าซไนโตรเจนและคำนวณด้วยวิธี Brunauer-Emmett-Teller Method (BET)
 - 3.2 คุณสมบัติทางเคมี
 - 3.2.1 วิเคราะห์สารประกอบออกไซด์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF)
 - 3.2.2 วิเคราะห์ผลึกของเปลือกไข่ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)
 - 3.2.3 วิเคราะห์ความแรงของเบสด้วยเทคนิควิธี Hammett Indicator Titration
4. ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันที่ใช้แล้ว ที่จะนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล
 - 4.1 Saponification Value (ASTM D464)
 - 4.2 Iodine Value (ASTM D5768-02)
 - 4.3 ความหนืด (Kinematic viscosity at 40 °C)
 - 4.4 กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)
5. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล
 - 5.1 ปริมาณแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล
 - 5.2 อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล
 - 5.3 อุณหภูมิและระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล
 - 5.4 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่และซี้เถ้าซากไก่ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล
6. การศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำในการผลิตไบโอดีเซล

ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการหาสภาวะที่เหมาะสม มาใช้ซ้ำในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. งานวิจัยนี้เป็นงานใช้ประโยชน์จากของเสียที่ไม่มีค่าและยังเป็นภาระค่าใช้จ่ายของผู้ประกอบการ ดังนั้นผลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้งานได้จริง ทำให้ผู้ประกอบการมีภาพลักษณ์ที่ดี สามารถนำไปใช้เป็นจุดขายสร้างประโยชน์ทางอ้อมให้กับบริษัทฯ อีกทั้งเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างยั่งยืนคุ้มค่ามากที่สุดซึ่งอาจจะประเมินได้ไม่แน่นอน
2. ได้ประโยชน์จากมาตรการจัดการสิ่งแวดล้อม เช่น การลดปริมาณคาร์บอน ลดปริมาณของเสียที่จะต้องมีการนำไปกำจัด ร่วมกับเป็นแนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืนทั้งขององค์กรและสาธารณะประโยชน์อีกด้วย
3. เป็นงานวิจัยที่ศึกษาการผลิตพลังงานทดแทน เพื่อที่จะนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงหลักที่กำลังจะหมดไปในอนาคต



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวโน้มการใช้ไบโอดีเซลในประเทศไทย

ในปัจจุบันราคาน้ำมันได้มีการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยมีการคาดการณ์ว่าปริมาณน้ำมันจะลดน้อยลง รวมถึงปัญหาทางด้านเศรษฐกิจและด้านสิ่งแวดล้อมที่มีเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะคิดค้นหาพลังงานทางเลือกใหม่ๆ เช่น พลังงานที่ใช้กับเครื่องยนต์ที่เราใช้แพร่หลายอยู่แล้วในปัจจุบันคือ แก๊สโซฮอล์และแก๊สเอ็นจีวี ส่วนพลังงานทดแทนอีกชนิดหนึ่งที่ผู้คนกล่าวถึงไม่แพ้กันนั่นก็คือ ไบโอดีเซล (Biodiesel) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

การนำไบโอดีเซลมาใช้ในเชิงพาณิชย์มีหลายหน่วยงาน ซึ่งการนำไบโอดีเซลมาใช้ในเชิงพาณิชย์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดนั้นควรได้รับการส่งเสริมให้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ประชาชนมั่นใจได้ว่าจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ คือ พัฒนาน้ำมันไบโอดีเซล ให้เป็นไบโอดีเซลเอสเทอร์ที่มีคุณภาพ ประเทศไทยเป็นประเทศที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้ เนื่องจากเป็นประเทศเกษตรกรรม มีแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในการทำไบโอดีเซลอยู่เป็นจำนวนมาก โดยนำเอามาแปรรูปเป็นน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อทดแทนการใช้ น้ำมันดีเซล ซึ่งจะเป็นการลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ส่งผลต่อด้านราคาสินค้าเกษตรกรรมและด้านสิ่งแวดล้อม แต่จะต้องมีการควบคุมในด้านของคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลและการชักจูงให้ประชาชนหันมาใช้ น้ำมันไบโอดีเซลให้แพร่หลายมากขึ้น (คณะกรรมการการพลังงานสภาผู้แทนราษฎร., ม.ป.ป.) (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2543)

2.2 ความหมายและนิยามของน้ำมันไบโอดีเซล

น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel) หมายถึง น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่ได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Tranesterification) โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลหรือเอทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างกรดไขมันจากไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและได้กลีเซอรินเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ ซึ่งจะให้คุณสมบัติคล้ายกับน้ำมันดีเซล

ปฏิกิริยาเพื่อให้ได้สารเอสเทอร์มี 2 กระบวนการด้วยกันได้แก่

- 1.) Esterification ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้กรดเป็นสารเร่งปฏิกิริยา
- 2.) Transesterification ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ด่างเป็นสารเร่งปฏิกิริยา

กระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้น เรียกว่า ปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ของกลีเซอรอลที่มียูในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์กับเอทานอลหรือเมทานอลโดยกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้อุณหภูมิสูงเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของกลีเซอรอลให้อยู่ในรูปของเอทิลเอสเทอร์หรือเมทิลเอสเทอร์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554)

2.3 ประเภทของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลที่มีการผลิตได้มีอยู่ 3 ประเภทใหญ่ คือ

1) ไบโอดีเซลที่ใช้น้ำมันของพืชหรือไขมันจากสัตว์โดยตรง เช่น ใช้น้ำมันปาล์มหรือน้ำมันงาเป็นต้น ใส่ลงไปเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่มีการผสมหรือเติมสารเคมีใดๆ แต่ต้องมีการอุ่นน้ำมันในทุกจุดที่มีน้ำมันผ่านอย่างน้อย 70 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้ได้น้ำมันราคาถูก แต่การที่จะนำมาใช้จะต้องมีการปรับสภาพ และลดความหนืดของน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งความหนืดที่สูงจะทำให้หัวฉีดน้ำมันฉีดน้ำมันป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้และเกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังระเหยเป็นไอได้ช้าและจุดระเบิดได้ยาก และจะส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของเครื่องยนต์อีกด้วย

2) ไบโอดีเซลแบบลูกผสม เป็นการนำเอาน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากสัตว์ ผสมน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซลเพื่อลดความหนืดของน้ำมันลง และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันก๊าดและน้ำมันพืชขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นที่ใช้งาน โดยอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมอยู่ที่ 20% น้ำมันก๊าด 80% น้ำมันพืช เนื่องจากน้ำมันก๊าดมีราคาที่สูงขึ้นจึงมีการใช้ในปริมาณที่น้อยลง ทำให้น้ำมันที่ได้เมื่อนำไปใช้จึงเกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ เช่น เกิดไขในท่อส่งน้ำมัน เกิดการอุดตัน เป็นต้น

3) ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ เป็นประเภทน้ำมันไบโอดีเซลที่มีคุณภาพดีที่สุดและใช้กันแพร่หลาย สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิด และอาจมีการผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ หรือใช้เป็นน้ำมันไบโอดีเซล 100% แต่ปัญหาหลักอยู่ที่ต้นทุนการผลิตที่สูงเมื่อเทียบกับไบโอดีเซลแบบอื่นๆ โดยคุณภาพของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์มีคุณภาพที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีความคงตัว ความหนืดมีค่าที่น้อยและไม่ส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554) (คณะกรรมการการพลังงานสภาผู้แทนราษฎร, ม.ป.ป.)

2.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

วัตถุดิบที่ใช้ในปฏิกริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น น้ำมันแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาวัตถุดิบหลักหรือสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซลคือน้ำมันพืชและไขมันสัตว์และอาจมีการใช้น้ำมันที่ใช้แล้วสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลซึ่งมีราคาที่ถูกลง

การปนเปื้อนของเศษอาหารซึ่งคุณสมบัติอาจด้อยกว่าน้ำมันที่ยังไม่ใช้งาน วัตถุดิบประเภทน้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันมี 3 ชนิด มีดังต่อไปนี้

2.4.1 น้ำมันพืช

วัตถุดิบที่นำมาผลิตไบโอดีเซลมีหลายชนิด เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และยังมีน้ำมันจากพืชชนิดอื่นๆ ที่สามารถนำน้ำมันมาสกัดเพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ เช่น สบู่ดำ เป็นต้น

2.4.2 ไขมันสัตว์

ไขมันจากสัตว์ที่นำมาผลิตไบโอดีเซล เช่น ไขมันจากไก่ น้ำมันหมูและไขมันและจากสัตว์ชนิดอื่นๆ โดยไขมันสัตว์สัตว์มีปริมาณของกรดไขมันที่สามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ การใช้ไขมันสัตว์ในการผลิตไบโอดีเซลมีข้อดี คือ ราคาไม่แพง และหาได้จากอุตสาหกรรมอาหาร แต่มีข้อเสียคือ ไบโอดีเซลที่ได้จะมีคุณสมบัติในการไหลเท (pour point) ต่ำ แต่สามารถแก้ไขได้โดยการกลั่นแยกส่วนก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (T. Wyatt, A. Hess, O. Dunn, A. Foglia, J. Haas, 2005)

2.4.3 น้ำมันที่ใช้แล้ว

น้ำมันที่ใช้แล้วมีปริมาณกรดไขมันอิสระที่ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลสูงกว่าน้ำมันที่ยังไม่ได้ใช้งาน และยังมีสิ่งเจือปนมากกว่าน้ำมันที่ยังไม่ได้ใช้งาน แต่ข้อดีคือ ทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลง และยังเป็นนำเอาวัตถุดิบที่เหลือทิ้งจากการประกอบอาหารมาใช้ประโยชน์ น้ำมันที่ใช้แล้วจะมีคุณภาพที่ต่ำ จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของวัตถุดิบก่อนนำมาผลิตไบโอดีเซล เช่น การกรองเอาสิ่งปนเปื้อนออกก่อน แต่ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่สูงเกินไปอาจทำให้น้ำมันเกิดสบู่ปะปนออกมาด้วย ซึ่งไม่เหมาะกับการนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล

ชนิดของน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ยกตัวอย่างเช่น น้ำมันถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ใช้กับใช้แล้ว เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ คือ ไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ใช้จะมีความเสถียรมากกรองลงมาคือน้ำมันที่ได้จากน้ำมันถั่วเหลืองกลั่นบริสุทธิ์และน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้ว เนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ยังไม่ได้ใช้มีสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ เช่น สารโทโคเฟอรอลซึ่งเป็นสารเพิ่มความเสถียรในน้ำมันและช่วยให้การเกิดออกซิเดชันน้อยลง ส่วนในน้ำมันถั่วเหลืองกลั่นบริสุทธิ์ พบว่ากระบวนการผลิตมีส่วนทำให้เกิดการสูญเสียสารต้านอนุมูลอิสระไปบางส่วนในขั้นตอนการกำจัดกลิ่น ส่วนน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้วมีการเกิดออกซิเดชันและการสลายตัวของสารเนื่องจากอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่พึงประสงค์และความเสถียรของเมทิลเอสเทอร์ลดลง ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวสูงจะช่วยให้การเก็บรักษามีความเสถียรมากขึ้นเมื่อเทียบกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ เช่น auto-oxidation และ polymerization (He, 2005)

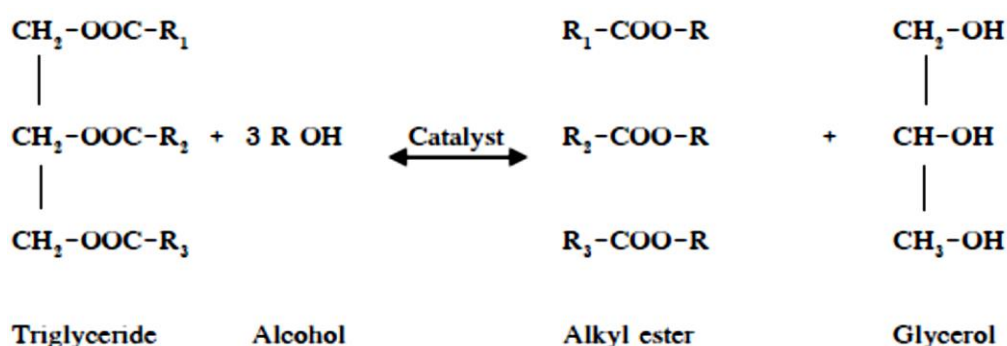
2.5 เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

การผลิตไบโอดีเซลจะมีการใช้มีส่วนที่เป็นน้ำมันและจะต้องมีแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็น กรด ต่างหรือเอนไซม์ โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน การทำปฏิกิริยาต้องนำน้ำมันจะต้องเติมตัวเร่งปฏิกิริยาทันที จากนั้นนำไปปั่นกววน โดยกำหนดระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์จะได้สารละลายแยกเป็น 2 ชั้น ชั้นบนเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันและชั้นล่างเป็นกลีเซอรอล นำชั้นบนไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการกลั่น แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ จากนั้นนำไปกรองและกำจัดน้ำในขั้นตอนสุดท้าย ตามลำดับ จากนั้นหาปริมาณองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ เอสเทอร์ของกรดไขมันและกรดไขมันชนิดต่างๆ ที่เหลืออยู่ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น HPLC, GC, TLC และ NMR (D.Y.C.Leung, 2006)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะต้องไม่มีน้ำปะปนมาเนื่องจากโมเลกุลน้ำจะทำลายโมเลกุลของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะส่งผลต่อปฏิกิริยาที่ใช้กรดมากกว่าปฏิกิริยาที่ใช้ด่าง กล่าวคือ วัตถุดิบที่มีน้ำอยู่ 5% ผลผลิตที่ได้จากการใช้กรดจะเหลือ 6% ขณะที่ผลผลิตที่ได้จากการใช้ด่างมีถึง 70% ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลดูจากปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (น้ำหนักเอสเทอร์/น้ำหนักผลิตภัณฑ์) ซึ่งค่าที่ได้หมายถึง ความสามารถในการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์เป็นเมทิลเอสเทอร์ ส่วนค่าการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์หมายถึง น้ำหนักผลิตภัณฑ์/น้ำหนักน้ำมันตั้งต้น ซึ่งค่านี้หมายถึงการเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์ได้มากหรือน้อย (D.Y.C.Leung, 2006) มีรายงานว่า การกำจัดโมเลกุลของน้ำสามารถใช้เตาอบไมโครเวฟ และช่วยในการปรับปรุงการสกัดและช่วยเร่งปฏิกิริยา โดยลดเวลาในการเกิดผลิตภัณฑ์ซึ่งปกติใช้เวลา 75 นาที เหลือเพียง 4 นาทีเท่านั้น อีกทั้งยังเกิดผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุด แต่เมื่อมีการใช้ความร้อนที่สูงจะทำให้แอลกอฮอล์ระเหย เนื่องจากโครงสร้างของแอลกอฮอล์จะมีการจัดเรียงตัวในแนวสนามแม่เหล็กที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟทำให้โมเลกุลมีการหมุนและเกิดความร้อนจากการเสียดสีของการหมุนระหว่างโมเลกุล อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิบริเวณ catalytic site สูง การใช้ไมโครเวฟจึงทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาและแยกชั้นกันอย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ (T. Wyatt, A. Hess, O. Dunn, A. Foglia, J. Haas, 2005)

2.6 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันคือปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดจาก Alkoxy Group (-OR) ของเอสเทอร์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ในรูปอื่นตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา สำหรับกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ สารประกอบไตรกลีเซอไรด์จะทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยมีกรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้แอลคิลเอสเทอร์หรือเรียกโดยทั่วไปว่าไบโอดีเซล (Y. Liu, E. Lotero, G. Goodwin Jr., 2007)



ภาพประกอบ 1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

รูปแบบของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถแบ่งได้เป็น 4 รูปแบบดังนี้

2.6.1 Alkaline catalyzed transesterification

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ด่างสามารถเกิดได้เร็วกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่เท่ากัน แต่ต้นทุนราคาแพง ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยา KOH มีประสิทธิภาพดีที่สุด และอาจมีการใช้ตัวเร่งชนิดอื่นตามต้นทุนและราคาที่ลดต่ำลง การเกิดปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดจากเมทอกไซด์ไอออนที่เกิดขึ้นได้ 2 ทางคือ เกลือเมทอกไซด์และการทำปฏิกิริยาของเมทานอลกับหมู่ไฮดรอกซิลของอัลคาไลต์ไฮดรอกไซด์ ซึ่งเมทอกไซด์ไอออนจะเป็นนิวคลีโอไฟล์ที่แข็งแรงเพื่อไปชนกับหมู่คาร์บอนิลแล้วเกิดเป็นแอลคิลเอสเทอร์ การใช้ด่างในการเร่งปฏิกิริยา น้ำมันที่ใช้จำเป็นจะต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกิน 0.5%

2.6.2 Acid catalyzed transesterification

การใช้กรดในการเร่งปฏิกิริยามีข้อดีคือ สามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นและใช้น้ำมันปริมาณกรดไขมันอิสระสูงถึง 6% การใช้กรดสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ทั้งทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและเอสเทอร์ฟิเคชัน ต้นทุนและราคาของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรดจะต่ำกว่าด่าง ทำให้ปฏิกิริยาเกิดช้ากว่า และต้องใช้อุณหภูมิสูงในการทำปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารที่มีความเป็นขี้ผึ้งมากในปฏิกิริยาของกรดจะทำให้ลดอัตราการเกิดของปฏิกิริยาเนื่องจากสารที่มีขี้ผึ้งจะไปแย่งการจับตัวกับไฮโดรเจนไอออนและไปขัดขวางไอออนอื่นๆ ของตัวเร่งปฏิกิริยา การใช้วัตถุดิบที่มีกรดไขมันอิสระสูงสามารถทำการย่อยด้วยกรดก่อน จากนั้นจึงใช้ด่างในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งจะทำให้ราคาของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีราคาสูงขึ้นแต่ได้ผลดีในการผลิตไบโอดีเซล กลไกของปฏิกิริยาในการใช้กรดคือ การโปรตอนของคาร์บอนิลและออกซิเจน ซึ่งเป็นการเพิ่ม electrophilicity ของคาร์บอน

อะตอมเพื่อทำให้เกิดการชนของนิวคลีโอไฟล์ โดยมีปัจจัยที่สำคัญคือ โครงสร้างของกรดคาร์บอกซิลิก กับแอลกอฮอล์ที่ทำให้เกิดการขัดขวางการเข้าทำปฏิกิริยา การเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดปาล์มมิติก โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอทานอลและเมทานอล พบว่า การใช้เมทานอลจะให้ผลดีกว่าการใช้เอทานอล เช่น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) การใช้กรดในการเร่งปฏิกิริยาอาจจะเกิดน้ำขึ้น ในปฏิกิริยา ซึ่งมีผลเสียต่อการผลิตไบโอดีเซลเนื่องจากน้ำจะไปไฮโดรไลซ์เอสเตอร์เกิดเป็นกรดไขมันอิสระอีกครั้งหนึ่ง นอกจากนี้การมีน้ำก็มีข้อดีคือ จะทำให้กรดทำปฏิกิริยากับน้ำมันมากกว่าแอลกอฮอล์ ซึ่งทำให้เกิดการล้อมรอบโปรตอน เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์และยับยั้ง การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน การเกิดการล้อมรอบโปรตอนในตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดนี้ จะส่งผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมากกว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่เป็นโมเลกุลใหญ่และมี ใช้น้อยกว่า เนื่องจากข้อของหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดไขมันอิสระและความสามารถในการเกิดพันธะ ไฮโดรเจนกับน้ำ (E. Lotero, Y. Liu, E. Lopez, K. Suwannakarn, D. A. Bruce, 2005)

แม้ว่าการใช้ของเหลวในการเร่งปฏิกิริยาจะมีประสิทธิภาพดี แต่มีปัญหาในด้านการ ปนเปื้อนและต้องมีขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง และการแยกตัวเร่งออกจากผลิตภัณฑ์เมื่ออยู่ในสถานะ เดียวกัน ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการแยกสาร การใช้ของแข็งที่เป็นกรดมีข้อดีกว่าการใช้ของแข็งที่เป็น ด้วคือ มีความเสถียรมากกว่า การกักต่อน และปัญหาของสภาพแวดล้อมน้อยกว่า อีกทั้งการทำให้ บริสุทธิ์ง่ายกว่าและมีราคาถูกกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งที่เหมาะสมนั้นควรอยู่ในถังแบบ packed bed continous ซึ่งง่ายต่อการแยกและทำให้บริสุทธิ์รวมทั้งลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้น การใช้ตัวเร่ง ปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งต้องศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น การเชื่อมต่อของรูขนาดใหญ่ ความเข้มข้นของกรด บริเวณที่ทำปฏิกิริยาและพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็ง เช่น เซอร์โคเนียมซัลเฟต ซึ่งเป็นของแข็งที่มีความเป็นกรดแก่สำหรับช่วยในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ เช่น แอลคิเลชัน ไอโซเมอไรเซชัน และทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสำหรับไฮโดรคาร์บอนสายยาว ภายใต้สภาวะปานกลาง

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นคนละสถานะกับสารตั้งต้น หลังปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์ จะต้องมีการกรองเพื่อแยกเอาตัวเร่งปฏิกิริยาออกมาเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เมทิลเอสเตอร์ที่ได้จะมีความคงตัว โดยการใช้ของแข็งที่เป็นกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูงจะมี ประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ของแข็งที่เป็นด่างเนื่องจากมี activity สูงกว่าและมีอัตราการเกิดปฏิกิริยา เร็วกว่า แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งที่เป็นด่างมีความว่องไวต่อน้ำและกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบ ทำให้ การใช้ของแข็งที่เป็นด่างต้องใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพสูงเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการยับยั้งปฏิกิริยา (deactivation) แต่การใช้ของแข็งที่เป็นกรดสามารถใช้ได้กับวัตถุดิบที่มีน้ำและกรดไขมันอิสระสูง ซึ่ง ปกติ catalytic activity ในของแข็งที่เป็นกรดจะมีค่าต่ำมาก ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งที่เป็นกรดเหมาะ กับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระเนื่องจากจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความเสถียร นอกจากนี้ยังมีการทรานส์

เอสเทอร์ฟิเคชันอีกประเภทหนึ่งคือ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของแข็งที่เป็นกรดของเซอร์โคเนียมซัลเฟตร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้ความร้อนสูง เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์จะต้องทำให้เย็นเพื่อป้องกันการเกิดของแข็งในน้ำมัน จากนั้นกรองเอาของแข็งออก แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย GC โดยเซอร์โคเนียมซัลเฟตจะใช้โปรตอนจากพื้นผิวของโลหะเพื่อไปเร่งการเปลี่ยนไฮโดรคาร์บอนสายยาว ซึ่งก๊าซไฮโดรเจนที่ให้เข้าไปจะไปชดเชยกับไฮโดรเจนที่หลุดออกมาจากพื้นผิวของเซอร์โคเนียมซัลเฟต (วิชาการ จารุศิริ, 2005)

2.6.3 Enzymatic transesterification

เอนไซม์ไลเปสเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กลีเซอรอลเอสเตอริไฮโดรเลส (glycerol ester hydrolase) หรือ เอซิลกลีเซอรอลไฮโดรเลส (acyl glycerol hydrolase) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์เพื่อได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้เอนไซม์ไลเปสในกระบวนการสังเคราะห์ ทำให้มีการใช้เอนไซม์ไลเปสไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหาร ใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวสร้างกลิ่นและรสชาติ อุตสาหกรรมการผลิตหนังใช้เอนไซม์ไลเปสกำจัดเศษเนื้อหรือไขมันที่ไม่ต้องการออกจากวัตถุดิบ หรือใช้เอนไซม์ไลเปสในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน แหล่งของเอนไซม์ไลเปสมี 3 แหล่งคือ สัตว์ (ตับอ่อน) พืช (ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ฝ้าย ถั่วเหลือง) และจุลินทรีย์ (ราและยีสต์บางชนิด) (วรวิมล จุฬาลักษณ์นกุล, 2548)

กระบวนการใช้เอนไซม์ความปลอดภัยและสะอาด มีระดับมลพิษที่เกิดจากกระบวนการนี้น้อย เมื่อเทียบกับการผลิตด้วยสารเคมี การใช้เอนไซม์มีปัญหาที่เอนไซม์มีราคาแพง ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาเอนไซม์ให้มีราคาลดลงเนื่องจาก ความเสถียรของเอนไซม์มีค่อนข้างสูง ไลเปสสามารถนำมาเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทั้งไม่มีน้ำเกิดขึ้นในปฏิกิริยาสามารถแยกออกตัวเร่งออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย นอกจากนี้ยังสามารถผลิตไบโอดีเซลได้สูงกว่าการใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากเอนไซม์มีความจำเพาะต่อสารตั้งต้นสูง ทั้งในความจำเพาะต่อหมู่ฟังก์ชันและต่อ stereo specificity แต่ในระดับอุตสาหกรรมมีการใช้เอนไซม์ที่มีราคาสูงกว่าการใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และการตรึงเอนไซม์ไลเปสถูกนำมาใช้เพื่อให้สามารถนำเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำได้หลายๆ ครั้ง

2.6.4 Non-catalyzed transesterification

เป็นวิธีการที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ใช้เมทานอลยิ่งยวดและเป็นวิธีการแบบขั้นตอนเดียวเพื่อเปลี่ยนไขมันเป็นไบโอดีเซลด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้อุณหภูมิ 350 °C และความดัน 20-50 MPa ตามลำดับเทอร์ฟิเคชันในสภาวะอุณหภูมิและความดันปานกลางคือ น้อยกว่า 300 องศาเซลเซียส และ 7-20 MPa ตามลำดับ ซึ่งเป็นสภาวะที่ทำให้ยากกว่าการใช้ต่างเป็นตัวเร่ง

ปฏิกิริยา การทนต่อความร้อนของไบโอดีเซลเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันพืชจะเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย

2.7 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

2.7.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous Catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous Catalyst) คือ ตัวเร่งที่อยู่ในสถานะเดียวกับสารที่ทำปฏิกิริยาตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มักเป็นโมเลกุลที่มีตำแหน่งสำหรับเร่งปฏิกิริยาชัดเจน แต่มีข้อเสียคือ มักสลายตัวหรือเสถียรภาพในสภาวะที่ใช้ความร้อนหรือความดันสูง ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์มีสองชนิด คือ

1) ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์แบบกรด การใช้ตัวเร่งที่เป็นกรดมีข้อเสียคืออัตราการเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างช้ามากเวลาที่ใช้ ในการผลิตไบโอดีเซลจึงใช้เวลานาน กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาขั้นแรกโปรตอนจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอน (Carbonyl Group) ของโมโนกลีเซอไรด์เกิดเป็นคาร์โบแคตไอออน (Carbocation) จากนั้นคาร์โบแคตไอออนจะทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์เกิดเป็นสารมัธยันตร์เตตระฮีดรอล (Tetrahedral Intermediate) และเมื่อการจัดกลีเซอรอลและโปรตอนก็จะได้อีสเทอร์ การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลคือ เป็นตัวเร่งที่ราคาถูก และสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระที่มีมากในน้ำมันที่ผ่านการปรุงอาหารแล้วให้เป็นอีสเทอร์ได้ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งน้ำจะทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดลดลงอย่างมาก ทำให้อีสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันลดลง

2) ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์แบบเบส การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์แบบเบสเป็นระบบที่ได้ ได้รับความนิยมที่สุดเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาดีที่สุดให้ปริมาณไบโอดีเซลสูงในระยะเวลาอันสั้น กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งเป็นเบสในการทำปฏิกิริยา ขั้นตอนหนึ่ง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสจะเข้าทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์เกิดเป็นอัลคอกไซด์ (Alkoxide, RO) และโปรตอนเนต (Protonated Catalyst, BH⁺) จากนั้นเป็นอัลคอกไซด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของไตรกลีเซอไรด์เกิดเป็นสารมัธยันตร์เตตระฮีดรอล (Tetrahedral Intermediate) ขั้นตอนที่สองสารมัธยันตร์เตตระฮีดรอลจะเปลี่ยนไปเป็นอัลคิลอีสเทอร์และแอนไอออนของไตรกลีเซอไรด์ ขั้นตอนสามแอนไอออนของไตรกลีเซอไรด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับโปรตอนเนตเกิดเป็นไตรกลีเซอไรด์และให้ตัวเร่งเบสกลับคืนมาขั้นตอนที่สี่ กลไกของปฏิกิริยาจะกลับไปขั้นตอนที่หนึ่งใหม่สุดท้ายจะให้กลีเซอรอลและอัลคิลอีสเทอร์ออกมาการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นที่นิยมในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากมีราคาถูกและเป็นตัวเร่งที่ให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เร็ว แต่ข้อจำกัดคือ ปฏิกิริยาจะมีความไวต่อน้ำและกรดไขมันอิสระโดยน้ำจะทำให้

ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ขณะที่กรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสทำให้เกิดปฏิกิริยาสaponificationหรือเกิดสบู่ ทำให้สิ้นเปลืองตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ และการเกิดสบู่ยังทำให้เกิดคอลลอยด์ซึ่งเป็นผลทำให้การเพิ่มความบริสุทธิ์ให้กับไบโอดีเซลได้ยากขึ้น ดังนั้นก่อนที่จะนำน้ำมันพืชและตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสมาใช้เป็นวัตถุดิบ จึงควรที่จะไล่น้ำออกก่อน

2.7.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์หรือแบบของแข็ง (Heterogeneous/Solid Catalysts)

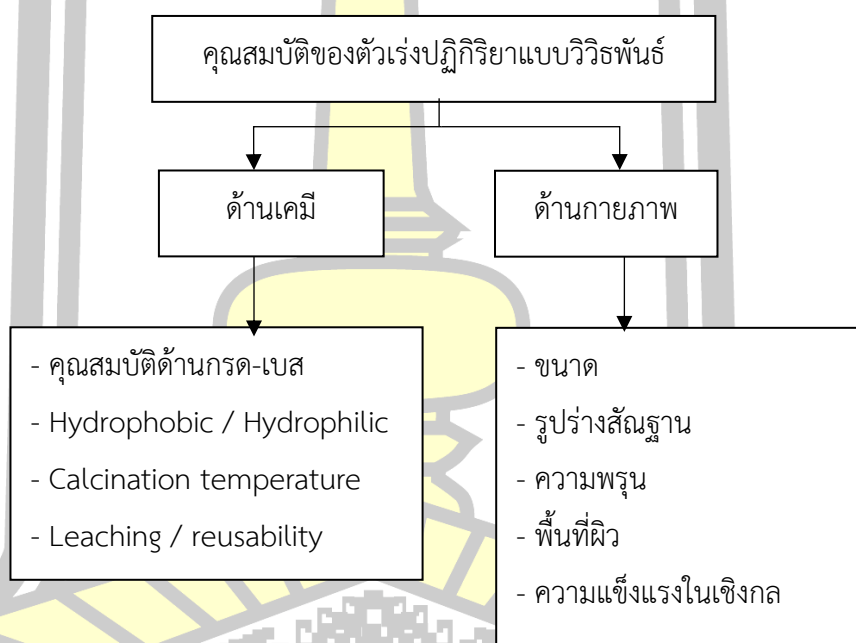
ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสถานะต่างกับสารตั้งต้นซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์จะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับสารตั้งต้นทำให้ไม่มีไอออนบวกซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสบู่ละลายเจือปนอยู่ในระบบ นอกจากนี้ยังสามารถนำมารองหรือตกตะกอนแยกออกจากปฏิกิริยาได้โดยง่าย เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ซึ่งถือเป็นข้อได้เปรียบกว่าตัวเร่งชนิดอื่นๆ และโดยทั่วไปแล้วมักนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ชนิดเบสสำหรับเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมากกว่า เนื่องจากเบสมีความว่องไวในปฏิกิริยามากกว่าและใช้สภาวะในการทำปฏิกิริยาที่ง่ายกว่า

ปัจจัยหลักที่ทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์จะขึ้นกับลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ประการหลัก ตามภาพประกอบ 2 คือ คุณสมบัติทางเคมี เช่น ความแรงเบสบริเวณเร่ง (Active site) เป็นต้น อีกประการหนึ่งคือ คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ขนาดรูปร่างพื้นที่ผิว เป็นต้น งานวิจัยด้านการปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยาของ CaO นั้น พบในการควบคุมอุณหภูมิของการให้ความร้อน 800 °C ซึ่งจะให้ CaO ที่มีความแรงเบสสูงที่สุดในส่วนการเพิ่มความแรงของเบสของ CaO พบว่ามักทำโดย 1) การนำไปทำให้ชุ่ม (Impregnation) กับสารเคมี เช่น trimethylchlorosilane (TMCS) ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความไวในวัฏจักรแรกของการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมักจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับตัวเร่ง และหากนำไปฟื้นฟูสภาพตัวเร่งโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง สารที่ใช้มักจะสลายตัว ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความไวลดต่ำลงมาก 2) การนำ CaO สังเคราะห์หรือใช้ร่วมกับโลหะอื่น เช่น CaO/Li CaO-ZrO₂ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความไวเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ทำให้ต้นทุนการผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้นด้วย

พูน ปณ จิต ชเว

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์และปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์

ปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์	ปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์
1. ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารตั้งต้นอยู่ในเฟสเดียวกัน 2. ตัวเร่งปฏิกิริยากระจายเป็นเนื้อเดียวกันกับระบบ 3. ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเร่งปฏิกิริยาโดยอาศัยโมเลกุลของตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราเร็วของปฏิกิริยาแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา	1. ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารตั้งต้นอยู่ต่างเฟสกัน 2. ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกันกับระบบ 3. ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเร่งปฏิกิริยาโดยอาศัยพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราเร็วของปฏิกิริยาแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของโมเลกุลที่ดูดซับบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา



ภาพประกอบ 2 คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซล
 ที่มา : Boro, J. et al. 2012, Chouhan, A. et al. 2011, และ Tian, P. et al 2013

2.7.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอนไซม์

ตัวเร่งชนิดนี้มีทั้งแบบเอกพันธ์และวิวิธพันธ์ ส่วนใหญ่ที่ใช้กันในปัจจุบันเป็นแบบเอกพันธ์ซึ่งเป็นเอนไซม์ชนิด Mobilized Enzyme แต่ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเป็น Immobilized Enzyme ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ ปัจจุบันมีการศึกษาโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่ง

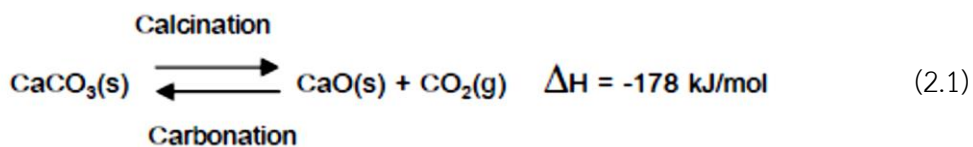
ปฏิกิริยา และพบว่าสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิห้อง ปฏิกิริยามีความจำเพาะสูงง่ายต่อการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากกลีเซอริน แต่มีข้อจำกัดที่ต้องควบคุมค่า pH อุณหภูมิที่ใช้ และมีต้นทุนสูง (P. Véronique, S. Maury, V. Coupard, A. Dandeu, Anne - Agathe Quoineaud, Jean - Louis Bonneau, 2010)

2.8 แคลเซียมออกไซด์

การใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วเป็นสารตั้งต้น เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันพืชที่ใช้ในการทอดแล้ว เป็นต้น เนื่องจากมีความแรงเบสค่อนข้างสูง (Basic strength) ให้ผลผลิตไบโอดีเซลร้อยละ 93-99 มีการแยกผลิตภัณฑ์ได้ง่าย และยังสามารถนำมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง ในการนำแคลเซียมกลับมาใช้ใหม่ สารที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต (Intermediate) เช่น ไตรกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ เป็นต้น จะไปอุดตัน รวมถึงน้ำหรือออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยาที่ผิวแคลเซียมออกไซด์ทำให้ความไวในการทำปฏิกิริยาลดลงอย่างไรก็ตามแคลเซียมออกไซด์ที่มีความไวลดลงนี้สามารถนำไปกระตุ้นด้วยความร้อนเพื่อนำกลับมาใช้ได้ใหม่ในกระบวนการได้อีก

การสังเคราะห์และคุณสมบัติของแคลเซียมออกไซด์

โดยทั่วไปแล้วแคลเซียมออกไซด์สามารถสังเคราะห์ได้โดย 1) การทำปฏิกิริยาของสารเคมีที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ หรือนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง เช่น สารประกอบแคลเซียมไนเตรต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมอะซิเทรต เป็นต้น 2) การนำวัสดุธรรมชาติ หรือของเสียที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบมาเผาที่อุณหภูมิสูง โดยวัสดุธรรมชาติที่ใช้เป็นสารตั้งต้น ได้แก่ หินปูนแคลไซต์โดโลไมต์ การสังเคราะห์ทำโดยนำ หินปูนแคลไซต์โดโลไมต์ มาบดละเอียดและนำไปเผาให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิสูงกว่า 650 °C จะทำให้ได้แคลเซียมคาร์บอเนตเปลี่ยนรูปเป็นแคลเซียมออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ (2.1)

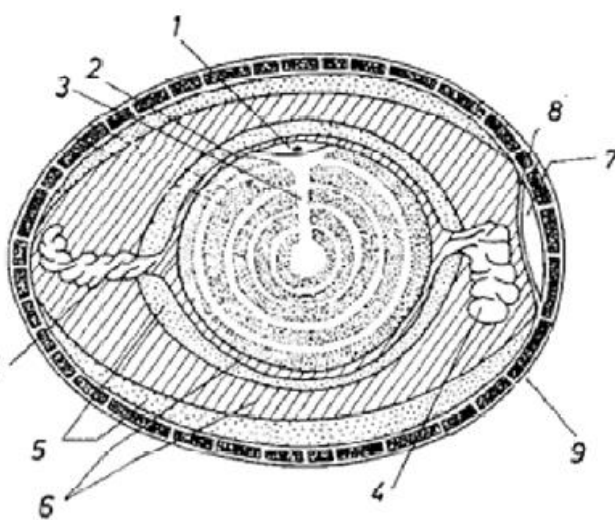


ในส่วนของการเลือกหอย เปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่เป็ด พบว่าประกอบด้วย $\text{CaO} \geq 98\%$ โดยน้ำหนัก รองลงมา Na_2O SO_3 และ P_2O_5 เปลือกจะต้องนำมาล้างด้วยน้ำเปล่าเพื่อล้างดินและชำระสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ อบให้แห้ง แล้วจึงทำให้แห้ง แล้วนำเปลือกมาบดให้มีขนาดในช่วง 100-325 Mesh (0.044-0.149 มิลลิเมตร) จากนั้นจึงนำไปเผาให้ความร้อนที่ความร้อนต่างๆ กัน แล้วนำเปลือกมาผ่านการเผาวิเคราะห์การเปลี่ยนรูปของวัสดุด้วยเทคนิคทางความร้อน Differential Scanning Calorimetry (DSC) และ Thermogravimetric Analysis (TGA) และวิเคราะห์ด้วย

Power X-ray Diffraction (PXRD) เพื่อศึกษาลักษณะผลึกของเปลือกไข่ที่ผ่านการเผา พบว่า CaCO_3 เปลือกหอยและเปลือกไข่เปิดจะเปลี่ยนรูปไปเป็น CaO ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ขึ้นไป เปลือกไข่ไก่จะเปลี่ยนรูปไปเป็น CaO ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ขึ้นไป นอกจากนี้ยังพบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมคือตั้งแต่ 2 ชั่วโมงขึ้นไป ส่วนการให้ความร้อนกับเปลือกไข่ที่ 800 องศาเซลเซียส ในสภาพอากาศปกติกับการให้ความร้อนในสภาวะที่ใช้แก๊สไนโตรเจน พบว่าให้ผลในการเปลี่ยนรูปจาก CaCO_3 เป็น CaO ไม่แตกต่างกัน

เปลือกไข่และการใช้ประโยชน์

ไข่ถูกห่อหุ้มด้วยเปลือกที่มีความหนาประมาณ 0.2-0.4 มิลลิเมตร สีของเปลือกไข่จะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดและสายพันธุ์ของสัตว์ปีกโดยทั่วไปไข่ไก่จะมีเปลือกสีเหลือง ไข่เป็ดจะมีสีขาว และไข่นกส่วนใหญ่จะมีจุดบนเปลือกไข่ภายในไข่จะมีเยื่อเปลือกไข่ที่หุ้มไข่แดงและไข่ขาวอยู่ภายใน เมื่อกล่าวถึงเปลือกไข่ของสัตว์ปีกโดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่เป็นเปลือกไข่และเยื่อหุ้มภายใน ภาพประกอบ 3 โครงสร้างส่วนใหญ่ของเปลือกไข่ของสัตว์ปีกเป็นผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต (98.2% ของน้ำหนักเปลือกไข่) แมกนีเซียมคาร์บอเนต (0.9%) แคลเซียมฟอสเฟต (0.9%) ที่เหลือเป็นแร่ธาตุต่างๆ รวมทั้งโปรตีนและน้ำ ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้อาจแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ปีก ตามตารางที่ 2 ส่วนเยื่อหุ้มภายในเปลือกไข่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นโปรตีนประมาณ 69% ไขมัน 2.7% ส่วนที่เหลือส่วนใหญ่เป็นไกลโคโปรตีนรวมทั้งยังมีวิตามิน เอ บี ดีและอี อยู่ด้วย (วิชัย ดำรงโกคณัฏ, 2012)



ภาพประกอบ 3 โครงสร้างและองค์ประกอบของไข่

ที่มา : (วิชัย ดำรงโกคณัฏ, 2012)

(1) จุดเจริญ (germinal disc), (2) เยื่อหุ้มไข่แดง (yolk membrane), (3) ไข่แดง (egg yolk),

(4) ขั้วไข่ (chalaza), (5) ไข่ขาวชั้นนอกและชั้นใน (albumen thin gel), (6) ไข่ขาว (albumen thick gel), (7) ช่องอากาศ (air cell), (8) เยื่อเปลือกไข่ (shell membrane), (9) เปลือกไข่ (egg shell)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่

แร่ธาตุ	% (โดยน้ำหนัก)		
	เปลือกไข่ไก่	เปลือกไข่เป็ด	เปลือกไข่นกกระทา
CaCO ₃	99.0	96.5	97.3
S	0.1	1.2	0.4
Mg	0.5	0.1	1.0
P	0.2	0.5	1.1
K	-	0.0839	-

ที่มา : (วิชัย ดำรงโกศลพันธ์, 2012)

เทคโนโลยีการใช้ประโยชน์เปลือกไข่

เทคโนโลยีที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงเปลือกไข่เหลือทิ้งให้อยู่ในรูปที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปเปลือกไข่ ดังนี้

1.) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃)

แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่แล้วในเปลือกไข่ (98.2% ของน้ำหนักเปลือกไข่) การนำไปใช้อาศัยเพียงเทคโนโลยีชาวบ้านคือการตากแห้งแล้วนำไปเปลือกไข่ไปบดเปลือกไข่บดยังคงมีธาตุอาหารอยู่หลายชนิดจึงสามารถนำไปใช้ทำปุ๋ย หรือใช้ไล่แมลงเนื่องจากมีธาตุกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เปลือกไข่บดมีแคลเซียมสูงสามารถใช้ปรับสภาพดินที่เป็นกรดให้มันเป็นกลางมากขึ้นได้ นอกจากนี้ยังมีรายงานการใช้เปลือกไข่บดเป็นตัวดูดซับโลหะหนักบางชนิด เช่น แคดเมียมและตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในดินหรือดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียของโรงงานผลิตแบตเตอรี่ใช้ปรับพีเอชของน้ำเสียแทนการใช้ปูนขาวและใช้สารช่วยทำให้เกิดการตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียในทางโภชนาการเปลือกไข่บดใช้ผสมในอาหารเพื่อเสริมแคลเซียม เช่น ผสมเปลือกไข่บดในผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบ และใช้เป็นแหล่งแคลเซียมเสริมในอาหารสัตว์ (วิชัย ดำรงโกศลพันธ์, 2012)

2.) แคลเซียมออกไซด์ (CaO)

แคลเซียมออกไซด์จากการใช้เทคโนโลยีการเผาเปลือกไข่ที่อุณหภูมิสูงในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเรียกว่าระบบไพโรไลซิส (pyrolysis) ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่ากระบวนการแคล

ไฮเนชั่น (calcination) ตามสมการที่ (1) แคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกไข่มีคุณสมบัติเหมือนกับแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเผาหินปูนหรือที่รู้จักกันในชื่อปูนขาว (lime) ที่มีจำหน่ายทั่วไป ตามภาพที่ 2-5 จึงสามารถนำไปใช้ปรับสภาพของดินและน้ำที่เป็นกรดใช้ในการผลิตโซดาไฟและสารฟอกขาว และเป็นส่วนผสมของปูนฉาบ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นสารดูดความชื้นและสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ในการผลิตไบโอดีเซลได้อีกด้วย (วิชัย ดำรงโกภักดิ์, 2012)



ภาพประกอบ 4 เปลือกไข่อบหรือตากแห้งบดละเอียด

Nawin Viriya-empikul (2009) ได้มีการศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO โดยสังเคราะห์จากเปลือกไข่และเปลือกหอย ตัวเร่งปฏิกิริยาได้ทำการสังเคราะห์จากการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ในเวลา 2-4 ชั่วโมง และได้นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้มาสังเคราะห์ไบโอดีเซลในสภาวะที่อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 12:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา 60 °C เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง โดยร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์จะได้น่ากว่าร้อยละ 90 และสามารถนำ CaO ที่สังเคราะห์กลับมาใช้ซ้ำได้อีก

Kawashima et al (2008) ได้ศึกษาความสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของ CaO เพื่อพัฒนาความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมคือ CaO 0.1 กรัม เมทานอล 3.9 กรัม น้ำมัน 15 กรัม เวลาที่ใช้ในการกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยา CaO 1.5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ได้ร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 90 โดยใช้เวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 60 °C ศึกษากระบวนการกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยา CaO เมื่อทำการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา CaO ด้วยเมทานอล แคลเซียมออกไซด์จะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมเมทอกไซด์ซึ่งจะเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ผลพลอยได้เป็นกลีเซอรอล

การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีแคลเซียมจาก แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ทางการค้า CaO จากเปลือกหอย และ CaO จากเปลือกไข่ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งซึ่งได้

จากเปลือกหอยและเปลือกไข่ถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ไขมันปาล์มโอเลอินทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เวลา และอุณหภูมิ เปลือกไข่และเปลือกไข่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 800-900 °C ใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างจากแคลเซียมไปเป็นแคลเซียมออกไซด์ ในปฏิกิริยาตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้ ทำให้ได้ผลผลิตไบโอดีเซลที่สูงในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (ณัฐชยา สังข์ทอง, 2545)



ภาพประกอบ 5 แคลเซียมออกไซด์ที่มีจำหน่ายทั่วไป

3.) ซากไก่

ไก่เนื้อเป็นสัตว์เศรษฐกิจส่งออกที่สำคัญของไทย โดยในปี 2554 มีการผลิตไก่เนื้อ 962.42 ล้านตัว (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) แต่ปัญหาหลักประการหนึ่งที่พบในระบบอุตสาหกรรมการผลิตไก่เนื้อคือ ปัญหาลูกไก่แรกเกิดในโรงฟักมีคุณภาพต่ำ น้ำหนักน้อย และไม่แข็งแรง ส่งผลทำให้ต้องมีการคัดลูกไก่คุณภาพต่ำทิ้งนำไปสู่การสูญเสีย ซึ่งหากคิดเป็นมูลค่าเพียง 5 เปอร์เซ็นต์จากการสูญเสียของลูกไก่เนื้อในระบบผลิตของโรงฟักก็นับเป็นมูลค่ามหาศาล อีกทั้งยังนำมาซึ่งปัญหาการขาดแคลนลูกไก่ในระบบการเลี้ยงโดยรวม แต่ถ้าหากจะนำลูกไก่ที่คุณภาพต่ำเหล่านี้ไปเลี้ยงก็อาจจะเกิดปัญหาด้านการสูญเสียทั้งในระหว่างการขนส่ง และหรือในช่วงแรกของการเลี้ยงตามมา ระบบการกกลูกไก่ บนโรงฟักในตู้กกลูกไก่ หรือที่เรียกว่า Hatch Brood จึงเป็นหนทางหนึ่งที่จะนำไปลดปัญหาดังกล่าว เนื่องจากระบบ Hatch Brood เป็นระบบการกกที่จะช่วยในการอนุบาลลูกไก่ทันทีหลังจากฟักออกมา ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการพัฒนาตัวของลูกไก่ให้แข็งแรง และมีความพร้อมสำหรับการเลี้ยงในระบบอุตสาหกรรมอันน่าจะนำไปสู่ประสิทธิภาพการผลิตที่ดี ลดอัตราการสูญเสียลดลงในช่วง 7 วันแรก และตลอดช่วงของการเลี้ยง

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดในร่างกายของสัตว์ปีกประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ เป็นส่วนประกอบของกระดูก ทำหน้าที่เป็นสารสร้างความแข็งแรงให้กับร่างกายร่วมกับ

แมกนีเซียมและฟอสฟอรัส และเป็นแหล่งของแคลเซียมที่ใช้ควบคุมระดับความเข้มข้นของแคลเซียมภายในร่างกาย (Bronner) แคลเซียมส่วนที่อยู่นอกกระดูกประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์พบใน extracellular fluid เนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue) และเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงาน (activator) ของเอนไซม์หลายชนิดเป็นองค์ประกอบในเมตาบอลิซึมของไขมัน การสร้างเปลือกไข่ การส่งกระแสประสาท การควบคุมการหลั่งฮอร์โมนบางชนิด การแข็งตัวของเลือด การเติบโตและการทำงานของกล้ามเนื้อช่วยในการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจและมีส่วนช่วยในการขนส่งสารอาหารเข้าสู่เซลล์ (McWatter, 2003)

ซึ่งถ้าจากการเผาซากไก่นั้น จากการศึกษางานวิจัยเบื้องต้นพบว่าองค์ประกอบของแร่ธาตุที่สำคัญคือโพแทสเซียมออกไซด์ 150 ปอนด์ต่อตัว (R. T. Burns., 2000) และพบธาตุต่างๆ ได้แก่ โพแทสเซียม โซเดียมและแคลเซียม เป็นส่วนใหญ่ (Probst, 2009) จากข้อมูลดังกล่าวจึงมีความเป็นไปได้ในการนำชี้จากการเผาซากไก่มารเป็นส่วนผสมในแคลเซียมออกไซด์มาปรับปรุงเป็นสารเร่งปฏิกิริยาแบบวิธีพันธในการผลิตไบโอดีเซลได้

สุภกร บุญยืน , พชรพร เทียมปาน (2556) ได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาระหว่าง น้ำมันและแอลกอฮอล์โดยมีเบส โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ในการเตรียมไบโอดีเซลจาก น้ำมันปาล์ม น้ำมันไก่ ไขมันวัว และน้ำมันใช้แล้ว แต่ในบางกรณีที่น้ำมันตัวอย่างมีปริมาณกรดไขมันอิสระในปริมาณมาก ปฏิกิริยาดังกล่าว ไม่สามารถเปลี่ยนกรดไขมันอิสระที่มีให้เป็นไบโอดีเซลได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการเตรียมไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา สองขั้นตอน ในขั้นตอนแรก กรดไขมันอิสระที่ปนอยู่ จะถูกทำให้เกิดปฏิกิริยา เอสเทอริฟิเคชัน กับเมทานอล โดยใช้ตัวเร่งชนิดเนื้อเดียวคือ กรด ซัลฟิวริก 5% โดยน้ำหนัก ในขั้นตอนที่สอง ไตรกรีเซอไรด์ที่เหลือจากขั้นตอนแรกจะทำให้เกิดเป็นไบโอดีเซลโดยทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับ เมทานอลเมทานอลที่ใช้ตัวเร่งคือเบสโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3% โดยน้ำหนัก ซึ่งในขั้นตอนดังกล่าวให้ผลผลิตการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซล มากกว่า 98 % สำหรับทุกกรณีน้ำมันตัวอย่าง น้ำมันที่ผ่านการเตรียมจากการใช้ตัวเร่งทั้งสองขั้นตอนนี้ให้ผลทางกายภาพและทางเคมีใกล้เคียงกับกรณีที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียว แต่ผลที่ได้จะมากกว่า ในงานวิจัยนี้ยังสนใจศึกษานำสภาวะดังกล่าวไปใช้กับน้ำมันต่าง ๆ ทั้งที่ได้จากพืชและไขมันสัตว์ โดยพบว่าน้ำมันใช้แล้ว น้ำมันไก่ และไขมันวัว ให้ผลผลิตที่มากกว่าวิธีเดิม ๆ อย่างเห็นได้ชัด สรุปได้ว่าการผลิตไบโอดีเซล จากปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่ง 2 ขั้นตอน เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระปนเปื้อนได้ดี



ภาพประกอบ 6 เถ้าซากไก่ที่ผ่านการบดแล้ว

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางอาหารของไก่เนื้อ

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
น้ำ (%)	74
โปรตีน (%)	19
ไขมัน (%)	5
เถ้า (%)	0.8
แคลเซียม (มก./100ก.)	12
ฟอสฟอรัส (มก./100ก.)	200
วิตามินเอ (IU)	730
ไนอะซีน (มก./100ก.)	5.6

ที่มา : อารุธ บุญรอด (2538)

เพียรพันธุ์ (2549) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของก้างปลา 2 ชนิดคือ ก้างปลาโฮกิ (*Macrurus novaezelandiae*) และก้างปลากะพงขาว (*Lateolabrax japonicus*) เปรียบเทียบกับกระดูกไก่ และประเมินองค์ประกอบ ทางเคมีเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งอาหารเสริม แคลเซียมจากธรรมชาติ ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการนำวัสดุเหลือทิ้ง มาเพิ่มมูลค่าในอุตสาหกรรมอาหารและยา การทดสอบทางกายภาพและเคมีเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณใช้อ้างอิงตามข้อกำหนดแคลเซียมในตำรายา USP 24 และ BP 1998 พบปริมาณความชื้น (Loss on drying)

ซึ่งคำนวณจากน้ำหนักแห้งเท่ากับ 12.4% , 11.3% และ 5.9% โดยน้ำหนัก ในก้างปลาโฮกิ ก้างปลา กะพงขาว และกระดูกไก่ ตามลำดับ พบปริมาณแคลเซียมรวม (Total calcium) ในก้างปลาโฮกิ 31.8% ก้างปลากระพงขาว 28.1% และกระดูกไก่ 32.2% โดยน้ำหนัก จากนั้นได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยเทคนิค Thermogravimetry พบแคลเซียมในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต

2.9 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและการเร่งปฏิกิริยามีอยู่หลายปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิเวลา ความเข้มข้นและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา และการปั่นกวนดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.9.1 อัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน

แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยามีหลายชนิด เช่น เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล และเอทิลแอลกอฮอล์ โดยเมทานอลและเอทานอลถูกนำไปใช้ทั้งในระดับการวิจัยและใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากเมทานอลมีราคาถูก ส่วนเอทานอลได้จากผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งสามารถผลิตขึ้นมาใหม่ได้และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเอทานอลจึงเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิง ส่วนบิวทานอลมีข้อดีคือ สามารถจะผสมกับไขมันที่เป็นวัตถุดิบได้ดีกว่า นอกจากนี้การใช้แอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลใหญ่จะมีจุดเดือดสูงกว่าการใช้แอลกอฮอล์โมเลกุลเล็ก ทำให้สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูง แต่ใช้ความดันปานกลาง ซึ่งบิวทานอลจะให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงที่สุดตามมาด้วย 1-propanol และเอทานอล ตามลำดับ แม้ว่าการเร่งปฏิกิริยาด้วยเมทานอลจะให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าที่สุดแต่มี 2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเข้ากันได้ของสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา คือ การเพิ่มความไม่ขี้ขั้ว และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เนื่องจากการเพิ่มของน้ำหนักโมเลกุลของแอลกอฮอล์ในทางทฤษฎีพบว่าต้องใช้เมทานอล 3 โมลต่อไตรกลีเซอไรด์ 1 โมลเพื่อให้ได้เมทิลเอสเทอร์ 3 โมลและกลีเซอรอล 1 โมล หมายถึง ต้องใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 3:1 อย่างไรก็ตามเมื่อใช้น้ำมันบริสุทธิ์โดยใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด ถ้ามีปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วและสมบูรณ์ขึ้นรวมทั้งเกิดเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น แต่ปฏิกิริยายังเกิดไม่สมบูรณ์เมื่อใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันสูงกว่าอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 นอกจากนี้ยังทำให้การแยกชั้นระหว่างชั้นเอสเทอร์และชั้นน้ำมันมีความลำบาก ใช้เวลานานและเสียค่าใช้จ่ายในการแยกมากขึ้น สำหรับน้ำมันที่ใช้แล้วพบว่า ต้องใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 7:1 จะทำให้ได้เอสเทอร์มากที่สุด โดยมากกว่าการใช้ น้ำมันบริสุทธิ์ อาจเป็นเพราะน้ำมันที่ใช้แล้วมีความหนืดสูงกว่าทำให้ต้องใช้ปริมาณเมทานอลมากเพื่อไปละลายน้ำมันและทำให้เกิดการสัมผัสกันของน้ำมันและเมทานอล ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและอัตราส่วนของเมทานอลต่อ

น้ำมันมีผลมากกว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ แม้ว่าการใช้แอลกอฮอล์ต่างชนิดกันจะทำให้มีความแตกต่างกันในกลไกการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณเอสเทอร์ที่ได้ (L.C. Meher, V.S.S. Dharmagadda, 2006)

2.9.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตไบโอดีเซล การใช้อุณหภูมิสูงในการทำปฏิกิริยาจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นโดยอุณหภูมิสูงจะทำให้การแยกตัวของแต่ละเฟสลดลง ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นและเพิ่มการเข้ากันได้ของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เวลาในการทำปฏิกิริยาลดลง แต่การใช้อุณหภูมิสูงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดสบู่มากขึ้นสำหรับน้ำมันบริสุทธิ์ ส่วนในน้ำมันที่ใช้แล้วการใช้อุณหภูมิสูงจะเพิ่มความหนืดของไบโอดีเซลและมีผลต่อการเกิดสบู่และทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ลดลง ทำให้การละลายของน้ำมันในเมทานอลดีขึ้นและเพิ่มพื้นที่การสัมผัสทำให้เกิดไตรกลีเซอไรด์สูงขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดดีและเร็วแต่มีผลในการเร่งการเกิดสบู่ด้วย แสดงว่าอุณหภูมิสูงมีผลในทางลบต่อน้ำมันบริสุทธิ์ แต่มีผลทางบวกต่อน้ำมันที่ใช้แล้วเพราะทำให้มีความหนืดมาก ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้จะสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ ควรหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิที่มากกว่าจุดเดือดของแอลกอฮอล์เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการเกิดสบู่ของกลีเซอไรด์ (L.C. Meher, V.S.S. Dharmagadda, 2006)

2.9.3 เวลา

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดอย่างสมบูรณ์มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา กล่าวคือ ถ้าใช้อุณหภูมิสูง ระยะเวลาที่ใช้จะน้อย แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์จะใช้เวลาเพิ่มขึ้น ส่วนกลไกการเกิดปฏิกิริยาพบว่า ถ้าใช้เวลา 15 นาทีในการเกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยาจะเกิดเร็วในช่วง 5 นาทีแรกโดยเกิดเป็นเอสเทอร์ถึง 90% จากนั้นปฏิกิริยาจะเกิดอย่างช้าๆ จนเกิดสมบูรณ์ที่ 15 นาที และถ้าปล่อยเวลาให้ผ่านไปจนกระทั่งอยู่ในช่วง 15-30 นาที พบว่าปริมาณเอสเทอร์ที่ได้ไม่เพิ่มขึ้น แต่จะปลดผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากเวลาที่มากจะทำให้เกิดการไฮโดรลิซิสของเอสเทอร์ ทำให้ปริมาณเอสเทอร์ลดลง มีการดัดไขมันเพิ่มและเกิดสบู่ในที่สุด เมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นสบู่มากขึ้นดังนั้นต้องควบคุมไม่ให้ใช้เวลานานเกินไปเนื่องจากจะไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาผกผัน ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มการผสมกันของสารตั้งต้นและการกระจายตัวของเมทานอลในน้ำมัน (Attanatho L. , Magmee S., 2014)

2.9.4 ความเข้มข้นและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาล้านน้อยเกินไปจะไม่เพียงพอต่อการเร่งปฏิกิริยา แต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์น้อยลงเนื่องจากเกิดสบู่ขึ้นแทน ทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่ม ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากมีการถ่ายเทมวลน้อยของอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันในระดับต่ำ แต่ถ้าใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันสูง

จะเพิ่มการสัมผัสของเมทานอลกับน้ำมันมากขึ้นจึงทำให้ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นด้วย แต่การเพิ่มของเมทานอลที่มากเกินไปจะทำให้เกิดเอสเทอร์เพิ่มและจะไปรบกวนการแยกชั้นระหว่าง เมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรินเนื่องจากเมทานอลไปทำให้การละลายของทั้งสองชั้นดีขึ้น นอกจากนี้การ เกิดผลิตภัณฑ์ที่ลดลงยังเพิ่มการละลายเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเป็นการลดการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอ สเทอร์กับกลีเซอริน อัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณกรดมากขึ้น แต่การใช้กรดมากจะกระตุ้นให้เกิดอีเทอร์จากปฏิกิริยา alcohol degradation มากขึ้น การใช้ต่าง มากเกินไปจะทำให้ไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นสบู่ยิ่งมีต่างมากไตรกลีเซอไรด์ยิ่งเปลี่ยนเป็นสบู่มาก ทำให้เปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ได้น้อยลง ตัวอย่างเช่น การลดลงของผลิตภัณฑ์เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ จาก 0.5 เป็น 1.5 เนื่องจากการเกิดสบู่ในปฏิกิริยา การเกิดสบู่จะทำให้เมทิลเอ สเทอร์ละลายในชั้นกลีเซอรอล ทำให้การแยกชั้นเมทิลเอสเทอร์กับชั้นกลีเซอรอลทำได้ยากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลถึงการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีมากเกินไปและการกำจัดสบู่ที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลมากกว่าอุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนของเม ทานอลต่อน้ำมันที่ใช้ (Attanatho L. , Magmae S., 2014)

2.9.5 การปั่นกววน

การปั่นกววนมีความสำคัญต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเนื่องจากการปั่นกววนมี ส่วนช่วยในการเริ่มต้นของปฏิกิริยาที่ทำให้น้ำมันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาเริ่มมีการสัมผัสหรือ ชนกันเป็น เนื่องจากน้ำมันและแอลกอฮอล์ที่ใช้นั้นไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ตามธรรมชาติ และสารทั้งสองมีความสามารถในการละลายที่แตกต่างกัน ถ้าไม่มีการปั่นกววนปฏิกิริยาจะเกิดขึ้น เฉพาะบริเวณรอยต่อของชั้นน้ำมันกับแอลกอฮอล์เท่านั้น ดังนั้นการปั่นกววนจะช่วยทำให้ปฏิกิริยาเกิด ได้มากขึ้นและเร็วขึ้น ยิ่งมีการปั่นกววนมาก ปฏิกิริยาจะเกิดมาก แต่ถ้าการปั่นกววนมากกว่าค่าค่าหนึ่ง แล้วก็จะไม่ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วไปกว่านั้นเนื่องจากค่าๆ นั้นเป็นค่าการสัมผัสของน้ำมันกับ แอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากที่สุด (U. Rashid, 2008)

2.9.6 ค่าไอโอดีน (iodine value ; IV) (อภิญา วัฒนา, 2551)

ค่าไอโอดีน คือ จำนวนของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาพอกติดกับน้ำมันหนัก 100 กรัม เป็น ค่าที่บอกถึงความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน ค่าไอโอดีนเป็นตัวชี้บ่งว่าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่ อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าไอโอดีนสูง แสดงว่ามีปริมาณกรดไขมัน ชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากและจะเกิดการหืนชนิด Oxidative rancidity ได้ง่ายด้วยการหาค่า ของไอโอดีนโดยวิธีของฮานัส (Hanus) ใช้สารละลายไอโอดีนมาตรฐานในกรดอะซิติกที่มีไอโอดีนโบร ไมด์ช่วยเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยากับไขมันตัวอย่างที่ทราบปริมาณที่แน่นอนซึ่งละลายในคลอโรฟอร์ม หรือคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ทิ้งไว้ในที่มีระยะเวลาหนึ่งไตเตรทปริมาณไอโอดีนที่เหลือจากปฏิกิริยาด้วย สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)



2.9.7 ค่าสaponนิฟิเคชัน (saponification number ; SN) (รัตนูปนนท์, 2529)

ค่าสaponนิฟิเคชัน หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของ KOH ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมัน หรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์ จำนวน 1 กรัม ได้เป็นสบู่และกลีเซอรอล นิยมหาค่าสaponนิฟิเคชันของลิปิด โดยต้มลิปิดที่รู้น้ำหนักแน่นอนกับสารมาตรฐาน KOH ปริมาณเกินพอ หลังจากปฏิกิริยาเกิดขึ้น สมบูรณ์แล้วหาปริมาณ KOH ที่เหลือโดยนำไปไตเตรทกับกรด ซึ่งจะหาทราบปริมาณ KOH ที่ใช้ไป และนำมาคำนวณหาค่าสaponนิฟิเคชันของลิปิดนั้นๆ ซึ่งค่าสaponนิฟิเคชันใช้เป็นตัวชี้บ่งขนาดของ โมเลกุล หรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลใน ไขมันหรือน้ำมันนั้นๆ ไขมันหรือน้ำมันที่มีค่าสaponนิฟิเคชันสูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก จึงต้องใช้ต่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิสในทำนองเดียวกัน ถ้าค่าสaponนิฟิเคชันต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมี น้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอ รอลต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย ทำให้ใช้ต่างในการไฮโดรไลซิสน้อย



2.9.8 ปัจจัยที่เหมาะสมจากงานวิจัยอื่นๆ

Xuejun-Liu, Huayang He, Yujun Wang , Shenlin Zhu (2008) ได้ คี ก ษ า สังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สภาวะที่เหมาะสมในการ สังเคราะห์ไบโอดีเซลคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 12:1 ปริมาณตัวเร่ง ปฏิกิริยาร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 65 °C ปริมาณน้ำในเมทานอลเท่ากับร้อยละ 2.03 โดย ปริมาตร เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 3 ชั่วโมง พบว่าได้ผลผลิตถึงร้อยละ 95 และสามารถนำ CaO กลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 20 รอบ

E. Lotero, Y. Liu, D. E. Lopez, K. Suwannakarn, D. A. Bruce (2005) ได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองเพื่อผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ CaO ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาได้ศึกษาปัจจัยต่างๆดังนี้คือ อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนเชิงมวลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมัน และ ปริมาณน้ำในเมทานอล ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่ให้ผลดีที่สุดคืออัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 12:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 8 ที่อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา 65°C และ ปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 2.03 โดยร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมงจะมากกว่าร้อยละ 95 และตัวเร่งปฏิกิริยา CaO จะยังคงมีความว่องไวคงเดิมแม้ว่าจะมีการใช้ซ้ำ 20 ครั้งและจะไม่ส่งผลมากนักต่อร้อยละผลได้ของไบโอดีเซล

อาภรณ์ พุกอ่อน (2555) ทำการศึกษาการใช้แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากเปลือกไข่ด้วยวิธีทางเคมีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันปาล์มทำปฏิกิริยากับเมทานอลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน แคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาของเปลือกไข่บดละเอียดกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและตกตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และนำมาทดลองด้วยเทคนิค TGA พบว่าเราสามารถที่จะลดอุณหภูมิของการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาได้จากอุณหภูมิของการเผาตัวเร่งปฏิกิริยาได้จากอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสลดลงเป็น 700 องศาเซลเซียส ด้วยการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีทางเคมีก่อนนำไปผ่านการเผา และจากการนำแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากเปลือกไข่ทดลองด้วยเทคนิค SEM พบว่าแคลเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้จากเปลือกไข่ด้วยวิธีทางเคมีมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย คือ $0.509 + 0.099$ ไมครอน จากนั้นศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา ผลการทดลองด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ พบว่า ที่เวลา 3 ชั่วโมง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1% , 2% และ 3% ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 12.18, 15.65 และ 97.17 ตามลำดับ ส่วนปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 4% ที่เวลา 2 ชั่วโมง ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 98.76 เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า ที่เวลา 3 ชั่วโมง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 1% , 2% , 3% และ 4% ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 11.58, 19.69, 25.95 และ 13.96

สุภกร บุญยืน , พชรพร เทียมปาน (2556) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเถ้าเปลือกหอยแมลงภู่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซล แคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นสารประกอบที่ถูกพบมากที่สุดในเปลือกหอย เมื่อเปลือกหอยถูกเผาแคลเซียมคาร์บอเนตจะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยในงานวิจัยได้ทำการศึกษาการเผาเปลือกหอยเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ (300, 500, 700 และ 900 องศาเซลเซียส) เปลือกหอยที่เผาอุณหภูมิวิเคราะห์ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการกระจายของ

รังสีเอกซ์ (XRD) กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) และวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วย Brunauer-Emmett-Teller (BET) ผลการทดลองแสดงแคลเซียมออกไซด์จะเกิดขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้แคลเซียมออกไซด์ดังกล่าว เปลี่ยนไปเป็นน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลร้อยละ 91 ที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 3 โดยมวล และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 สภาวะเดียวกันนี้จะถูกใช้กับน้ำมันพืชอื่น ๆ (น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะกอก น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันใช้แล้ว) นอกจากนี้การใช้เปลือกหอยเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถทำให้คืนสภาพโดยการล้างด้วยเมทานอลและเฮกเซนก่อนแล้ว จึงนำมาใช้ซ้ำได้อีกครั้ง พบว่ายังคงให้ร้อยละการเปลี่ยนไปเป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่สูง ดังนั้นเปลือกหอยจึงเป็นแหล่งของแคลเซียมออกไซด์ที่ไม่เพียงแต่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเท่านั้น แต่ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของเหลือใช้ประเภทอนินทรีย์อีกด้วย

พัชรนันท์ ภูสกุล (2554) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสแบบวิวิธพันธ์ซึ่งง่ายต่อการแยกออกจากผลิตภัณฑ์และนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ CaO เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเนื่องจากมีราคาถูก หาได้ง่าย โดยศึกษาปัจจัยได้แก่สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มโดยมีน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาและปริมาณน้ำในเมทานอลร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันรีไฟน์เป็น 15:1 และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา CaO ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักซึ่งให้ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์คือ 87.19 ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักซึ่งให้ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์คือ 87.19

2.10 คุณสมบัติและคุณภาพของไบโอดีเซล

สำหรับมาตรฐานของไบโอดีเซลแบ่งเป็น 2 มาตรฐาน คือ มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา ASTM D 6751 และมาตรฐานของยุโรป EN 14214 มาตรฐานทั้งสองมีค่าที่แตกต่างกัน แต่สำหรับการนำไบโอดีเซลไปใช้ในการค่าน้ำมันจะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ การใช้ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ และการใช้ไบโอดีเซลแทนน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลที่ใช้ในการค่าน้ำมันมีอยู่หลายชนิดโดยใช้สัญลักษณ์ B หมายถึง ไบโอดีเซล ส่วนตัวเลขที่ต่อท้ายคือ สัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีการผสมลงไปในน้ำมันดีเซล ได้แก่ B5 , B20 และ B100 ตัวอย่างเช่น ไบโอดีเซล B5 หมายถึง การผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยมีไบโอดีเซล 5% ส่วนที่เหลืออีก 95% เป็นน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซล B20 มีการใช้งานในประเทศในทวีปยุโรปได้แก่ ประเทศเยอรมัน (X. Liu, H. He, Y. Wang , S. Zhu, 2008) สำหรับประเทศไทยการกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล ถูกกำหนดโดยกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน โดยมีมาตรฐาน 3 ฉบับด้วยกันคือ มาตรฐานไบโอดีเซล B100 มาตรฐานไบโอดีเซล B5 สำหรับขายเชิงพาณิชย์และมาตรฐาน B100 สำหรับไบโอ

ดีเซลชุมชน B100 ถูกกำหนดให้เป็นเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมันคือต้องทำจากเมทานอลที่มีข้อกำหนด 23 รายการ เช่น ร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ความหนืดที่อุณหภูมิมาตรฐาน อุณหภูมิจุดวาบไฟค่าสมบัติการป้องกันการน็อกของเครื่องยนต์และปริมาณร้อยละของน้ำ ส่วนไบโอดีเซล B5 มีข้อกำหนดเหมือนน้ำมันดีเซลทุกประการ ยกเว้นสีของน้ำมันที่เป็นสีน้ำเงิน ส่วนไบโอดีเซล B100 สำหรับคุณภาพของไบโอดีเซลชุมชนนั้นมีสมบัติใกล้เคียงกับไบโอดีเซล B100 แต่มีข้อกำหนดเพียง 12 รายการและน้ำมันต้องมีสีม่วง (อนุชา พรหมวังชา, 2550)

ไบโอดีเซลมีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลคือ ไบโอดีเซลมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.88 ขณะที่น้ำมันดีเซลมีความถ่วงจำเพาะ 0.85 ส่วนความหนาแน่นพบว่า ไบโอดีเซลมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล 2-7% ไบโอดีเซลที่ผลิตจาก methyl = 2-propyl > ethyl > butyl esters ค่าความหนืดเชิงโคเนติกส์ตามวิธี ASTM D6751 กำหนดให้ความหนืดของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 40°C อยู่ในช่วง 1.9-6.0 mm²/s โดยความหนืดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนืดลดลงและผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเตอร์เพิ่ม แต่ความหนืดของไบโอดีเซลมีค่าเป็นสองเท่าของน้ำมันดีเซล D2 ซึ่งความหนืดที่สูงของไบโอดีเซลสามารถลดการสูญเสียน้ำมันได้ ค่าดัชนีซีเทน (cetane number) แสดงถึงการควบคุมการเผาไหม้ที่ดี มีผลต่อการปล่อยก๊าซพิษที่จะลดลง รวมทั้งมีส่วนเกี่ยวกับการติดของเครื่องยนต์ในอุณหภูมิที่เย็น (cold start) ซึ่งตามมาตรฐาน ASTM D6751 มีดัชนีซีเทนอยู่ในช่วง 48-60 ขึ้นอยู่กับปริมาณของสายโซ่คาร์บอน ค่านี้จะมากกว่าค่าที่ได้จากน้ำมันพืชบริสุทธิ์และมากกว่ามาตรฐาน ASTM D975 ของน้ำมันดีเซล (U. Rashid, 2008)

เมื่อพิจารณาถึงจุดวาบไฟและค่าการเผาไหม้ของไบโอดีเซล พบว่ามีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล D2 ค่าพารามิเตอร์นี้แสดงถึงการจัดการ การเก็บและความปลอดภัยของการเก็บน้ำมันและการติดไฟของน้ำมันถ้าค่าทั้งสองนี้สูงหมายถึง สามารถช่วยลดอันตรายที่จะเกิดขึ้นได้ การใช้ไขมันสัตว์ในการผลิตไบโอดีเซลพบว่าจุดวาบไฟน้อยกว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช แต่ถ้าไปดูมาตรฐานของ ASTM จะพบว่าจุดวาบไฟของไบโอดีเซลสูงกว่ามาตรฐานของน้ำมันดีเซล ปริมาณน้ำในน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลมีค่าน้อยกว่า 0.05 การมีน้ำในไบโอดีเซลมากจะทำให้มีโอกาสเกิดเชื้อราได้ ปริมาณออกซิเจนในไบโอดีเซลทำให้มีการเผาไหม้ที่ดีกว่าน้ำมันดีเซลเสียงของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจะดังน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ความคงทนของการเผาไหม้ของไบโอดีเซลที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลแสดงว่าออกซิเจนจะช่วยเรื่องการเพิ่มอัตราการให้ความร้อนสูงสุดส่วนค่าปริมาณกำมะถัน ปริมาณไฮโดรเจนและปริมาณคาร์บอนจะกำหนดไว้ในมาตรฐาน (U. Rashid, 2008) คุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM

	น้ำมันดีเซล ASTM D975	ไบโอดีเซล ASTM D6751
องค์ประกอบ	ไฮโดรคาร์บอน (C10-C22)	เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน
ความหนืด (mm ² /s)	1.9-4.1 ที่ 40 °C	1.9-6.0 ที่ 40 °C
ความถ่วงจำเพาะ	0.85	0.88
จุดวาบไฟ (°C)	60-80	100-170
ปริมาณน้ำ (%)	0.05	0.05
ปริมาณคาร์บอน (%)	87	77
ปริมาณไฮโดรเจน (%)	13	12
ปริมาณออกซิเจน (%)	0	11
ปริมาณกำมะถัน (%)	0.05	0.05
ดัชนีซีเทน	40-55	48-60

ที่มา : Lotero E., et al. (2005)

สมบัติการไหลในสภาวะที่เย็น (cold flow) เป็นตัวบ่งบอกถึงการนำไปใช้ในทางการค้า สมบัติที่สำคัญของการไหลในสภาวะเย็นของไบโอดีเซลคือ ค่าจุดขุ่นและค่าจุดไหลเท ASTM D6751 ไม่มีการกำหนดมาตรฐานไว้ เช่นเดียวกับค่าการอุดตันที่อุณหภูมิต่ำ (cold filter plugging point : CFPP) ค่าทั้งสามนี้รายงานเป็นอุณหภูมิ ซึ่งต้องมีค่าน้อยเพื่อให้ไบโอดีเซลสามารถใช้งานได้ที่ อุณหภูมิต่ำ โดยค่าทั้งสามนี้ของไบโอดีเซลจะสูงกว่าน้ำมันดีเซล เมื่อพิจารณาเฉพาะในกลุ่มไบโอดีเซล ด้วยกันพบว่าค่า CFPP ของไบโอดีเซลจากน้ำมันหมู่ว และไก่สูงกว่าน้ำมันถั่วเหลือง อาจเนื่องมาจาก ในไขมันสัตว์มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าน้ำมันถั่วเหลือง เนื่องจากกรดไขมันอิ่มตัวจะมีจุด หลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากัน ทำให้เกิดเป็นแอลคิลเอสเทอร์ที่อิ่มตัว ขณะที่การใช้น้ำมันพืชในการผลิตไบโอดีเซล ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดโอเลอิกและลิโนเลอิกที่เป็น กรดไขมันไม่อิ่มตัว การมีโซ่ยาวที่ไม่อิ่มตัวของแอลคิลเอสเทอร์จะส่งผลต่อลักษณะการไหลในที่เย็น ของไบโอดีเซล และการมีพันธะคู่หรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากจะทำให้จุดเดือดของไบโอดีเซลต่ำลง นอกจากนี้พบว่าเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ที่เตรียมจากน้ำมันพืชมีคุณสมบัติของจุดขุ่น จุดไหล เทที่เหมือนกัน การอุดตันที่อุณหภูมิต่ำอาจเป็นปัญหาสำหรับการสตาร์ทเครื่องในภาวะอากาศเย็น เนื่องจากจะทำให้มอเตอร์ไม่ทำงาน อากาศเย็นจะทำให้มีความหนืดสูงจนกลายเป็นของแข็ง ปัญหานี้ สามารถแก้ไขได้โดยใส่สารเติมแต่งลงไปเพื่อเพิ่มการไหลของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่ำ ค่าความเสถียร ต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation stability) เป็นการวัดการทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวและตำแหน่งของพันธะคู่ และการมี antioxidant หรือ pro-oxidant จากการทดสอบพบว่าค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น (V. T. Wyatt , M. A. Hess , R. O. Dunn , T. A. Foglia , M. J. Haas, 2005)

การผสมไบโอดีเซลลงในน้ำมันดีเซลจะช่วยทำให้ค่าแรงบิดในการเบรก (brake torque) และกำลังเพลลา (brake power) รวมทั้งประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อเบรก (brake thermal efficiency) ลดลงประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อเบรกแสดงถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานทางเคมีของน้ำมันไปเป็นงานที่เกิดขึ้นนอกจากนี้ยังช่วยทำให้การล่าช้าของการจุดระเบิด (ignition delay) ลดลงค่า ignition delay คือเวลานับจากเริ่มการฉีดน้ำมันไปจนถึงเริ่มมีการเผาไหม้ค่า ignition delay ของน้ำมันทุกชนิดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วของเครื่องยนต์และการใช้ไบโอดีเซลจะช่วยลดเสียงของเครื่องยนต์การผสมไบโอดีเซลลงในน้ำมันดีเซลจะทำให้ค่าอัตราการใช้น้ำมันเมื่อเบรก (brake specific fuel consumption) เพิ่มขึ้นนอกจากนี้ยังทำให้กระบวนการเผาไหม้และเวลาในการจ่ายน้ำมันเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการเพิ่มสัดส่วนของไบโอดีเซลจะทำให้อุณหภูมิที่ปลายท่อ (exhaust gas temperature) และผลของการน็อคของเครื่องยนต์เกิดขึ้นได้ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลซึ่งค่า exhaust gas temperature เป็นตัวชี้ถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง (A. Ozsezen, 2008)

2.11 ข้อดีและข้อเสียของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลมีที่มาจากพืชหรือสัตว์ สามารถผลิตทดแทนได้ ไม่มีวันหมด ย่อยสลายได้เอง ไม่มีพิษขณะที่น้ำมันดีเซลผลิตได้จากปิโตรเลียมและนับวันมีแต่จะใช้หมดไปและไม่สามารถสร้างมาทดแทนใหม่ได้นอกจากนี้วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลอาจเป็นสิ่งที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น น้ำมันที่ใช้แล้วหรือเศษไขมันสัตว์ แต่เมื่อพิจารณาจะพบว่าการใช้พืชที่สามารถสกัดน้ำมัน เช่น ถั่วเหลืองและปาล์มในการผลิตไบโอดีเซลมีข้อดีคือ ทำให้ราคาของพืชชนิดนั้นสูงขึ้นและเกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น ลดการพึ่งพาน้ำมันที่นำเข้าจากต่างประเทศ และเป็นอีกทางเลือกของเกษตรกรที่นิยมหันมาปลูกพืชพลังงานมากขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการปลูกพืชพลังงานมากเกินไป จะทำให้พื้นที่ในการปลูกพืชที่ใช้เป็นอาหารลดลง เช่น ข้าว จะทำให้สถานการณ์ของพืชอาหารเกิดความวิกฤต ดังนั้นในการกำหนดพื้นที่เพาะปลูกจำเป็นต้องให้มีความสมดุลกันระหว่างพืชพลังงานและพืชที่ใช้เป็นอาหาร เพื่อให้โลกมีความสมดุลทั้งสองด้านและสร้างความมั่นคงทางพลังงานให้กับประเทศที่ไม่สามารถผลิตเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ (อนุชา พรหมวังขวา, 2550)

2.11.1 ข้อดีของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลช่วยลดการปลดปล่อยของเสียที่ปลายท่อไอเสีย เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ คาร์บอนและกลิ่น รวมทั้งกำมะถันและสารอะโรมาติกส์ มีไฮโดรคาร์บอนสายสั้นและออกซิเจนสูง ทำ

ให้ไม่มีเขม่าหรือควันดำออกมาเนื่องจากการมีเขม่าจะทำให้เครื่องยนต์เสื่อมสภาพและชำระได้ง่าย และที่สำคัญคือ ไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกสู่บรรยากาศและไม่ไปทำลาย สภาพแวดล้อมของโลก เนื่องจากการคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศถูกดูดเข้ามาในพืชเพื่อใช้ในการ สังเคราะห์แสง จะเห็นได้ว่าไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้ ตามธรรมชาติ และเมื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์พบว่าสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลแบบเดิมได้ นอกจากนี้การใช้ไบโอดีเซลยังมีข้อดีว่าการใช้น้ำมันดีเซลคือไบโอดีเซลมีค่าจุลควาปไฟมากกว่าน้ำมัน ดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้งาน รวมทั้งไบโอดีเซลมีค่าการหล่อลื่นสูงซึ่งจะทำให้เครื่องยนต์ อายุยืนยาวขึ้นและลดความถี่ในการเปลี่ยนอะไหล่เครื่องยนต์ (L.C. Meher, V.S.S. Dharmagadda, 2006)

2.11.2 ข้อเสียของไบโอดีเซล

การใช้ไบโอดีเซลจะเพิ่มการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ออกสู่บรรยากาศ โลกตัวอย่างเช่น น้ำมันไบโอดีเซลจากถั่วเหลืองจะปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้น 12% เมื่อ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ส่วนไบโอดีเซล B20 (ไบโอดีเซล 20% น้ำมันดีเซล 80%) จะปล่อยก๊าซ ไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้น 2-4% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ดังนั้นการสร้างกฎเกณฑ์หรือ ข้อบังคับที่เข้มงวดในการใช้ไบโอดีเซลจึงมีความจำเป็นแม้ว่าการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์จะ มีปริมาณเล็กน้อยก็ตาม การใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์อะไรเพิ่ม แต่เพื่อเป็นการ ลดการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์จึงมีการใช้ระบบหมุนเวียนก๊าซเสีย (exhaust gas recirculation: EGR) EGR เป็นเทคนิคในการลดการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์จากเครื่องยนต์ ดีเซล โดยนำ CO_2 และไอน้ำมาใช้แทนที่ออกซิเจนและไนโตรเจนจากอากาศในการเผาไหม้ที่ห้องเผา ไหม้ การหมุนเวียนเอาก๊าซเสียเข้าเครื่องยนต์เพื่อเพิ่มค่าทางความร้อนจำเพาะของสารผสมและลด ปริมาณออกซิเจนในของผสม ปัจจัยทั้งสองนี้ช่วยลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์แต่จะไปช่วยเพิ่มปริมาณ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ฝุ่นละออง และค่าการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ นอกจากนี้ยัง ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณควัน และความคงทนของเครื่องยนต์ไบโอดีเซลและมีโอกาสที่จะเกิดการ ออกซิเดชันมากกว่าน้ำมันปิโตรเลียม ทำให้น้ำมันเป็นกรด และเกิดการตกตะกอน อัตราการเกิด ออกซิเดชันขึ้นกับโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอน ความเข้มข้นของ heteroatom ชนิดของ heteroatom ความเข้มข้นของออกซิเจนและเวลา (D. Agarwal , S. Sinha, 2006) สำหรับข้อเสียที่ ต้องมีการพิจารณาอีกประการหนึ่งคือ การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันอาจจะ ทำให้เกิดสารพิษที่สามารถปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้หากในกระบวนการผลิตไม่มีขั้นตอนการกำจัดที่มี ประสิทธิภาพ เช่น สารเคมีจำพวกกรดหรือด่างที่ใช้(ตัวเร่งปฏิกิริยา) รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการแยกไบ โอดีเซลให้บริสุทธิ์ ข้อดีและข้อเสียของการใช้ไบโอดีเซลแสดงไว้ในตารางที่ 5 (อนุชา พรหมวังขวา, 2550)

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการใช้ไบโอดีเซล

ข้อดี	ข้อเสีย
1.ไบโอดีเซลสามารถสร้างทดแทนได้ตลอดเวลาโยมาจากพืช ไขมันสัตว์ รวมทั้งน้ำมันที่ใช้แล้ว 2. มีการปลดปล่อยก๊าซเสียออกมาน้อย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ กำมะถัน และเขม่า 3. ลดการพึ่งพาน้ำมันเข้าจากต่างประเทศ เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น 4. ไบโอดีเซลมีความปลอดภัยในการใช้งานและช่วยยืดอายุเครื่องยนต์ให้ยาวนานขึ้น	1. เพิ่มการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) แต่สามารถแก้ไขได้โดยใช้ระบบ หมุนเวียนก๊าซเสีย (EGR) 2. สารเคมีตกค้างที่เหลือจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชั่น อาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและจำเป็นต้องได้รับการกำจัดที่มีประสิทธิภาพ

ที่มา : อนุชา พรหมวังขวา และ ชัยชาญ ฤทธิเกริกไกร (2550)

2.12 ความแตกต่างของไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล

ไบโอดีเซลมีที่มาจากพืชหรือสัตว์ สามารถหาทดแทนได้ด้วยการปลูกหรือเลี้ยงใหม่ แต่ น้ำมันดีเซลเป็นสิ่งที่ได้มาจากการกระทำของธรรมชาติโดยตรง อาจจะต้องใช้เวลาหลายล้านปีจึงจะได้เป็นน้ำมันดีเซล ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลต้องใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เข้ามาร่วมด้วย รวมทั้งการใช้ เอนไซม์ซึ่งต้องอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีหรือชีวเคมี แต่การผลิตน้ำมันดีเซลต้องใช้ในการขุดเจาะไปได้ดิน เพื่อนำน้ำมันดิบมากลั่นเป็นน้ำมันชนิดต่างๆประเทศไทยไม่มีแหล่งในการขุดเจาะน้ำมันที่เพียงพอต่อการใช้งาน จึงจำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนั้นราคาน้ำมันดีเซลอาจมีการผันผวนได้ขึ้นกับตลาดต่างประเทศ แต่สำหรับไบโอดีเซลนั้นสามารถผลิตได้เองในประเทศ ทำให้สามารถที่จะควบคุมราคาของน้ำมันไบโอดีเซลได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซลสมบัติของไบโอดีเซล พบว่ามีค่าทางกลไก และการเผาไหม้ที่คล้ายกับน้ำมันดีเซล ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลหรือนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลและใช้ในเครื่องยนต์ได้ เมื่อใช้ไบโอดีเซล 100% จะให้พลังงานเท่ากับ 90% ของน้ำมันดีเซล โดยสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลปกติได้การเปรียบเทียบค่าต่างๆ ตามมาตรฐานของ ASTM ของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล พบว่าไบโอดีเซลมีปริมาณกำมะถันน้อยกว่าน้ำมันดีเซลไบโอดีเซลมีกำมะถันเป็น 20-50% ของน้ำมันดีเซล D2 ไบโอดีเซลจากไขมันสัตว์มีค่าการหล่อลื่นดีกว่าน้ำมันปิโตรเลียม โดยพบว่าการหล่อลื่นมาจากการมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณมาก และยังขึ้นอยู่กับปริมาณของ hydroxylated ester และปริมาณกลีเซอรินอิสระ (free glycerin) นอกจากนี้ยังพบว่าความหนืดของน้ำมันดีเซลจุดวาบไฟ น้ำหนัก และความหนาแน่นของไบโอดีเซลมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล (E. Lotero, Y. Liu, D. E. Lopez, K. Suwannakarn, D. A. Bruce, 2005)

เนื่องจากไบโอดีเซลมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิดคือ ไบโอดีเซล B5 B20 และ B100 ซึ่งทั้ง 3 ชนิดจะมีสมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางการเผาไหม้ที่แตกต่างกันรวมทั้งค่าการปลดปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบสมบัติการปลดปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมของไบโอดีเซล B100 กับ B20

	B100	B20
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	-48	-12
ไฮโดรคาร์บอนจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์	-67	-20
อนุภาคขนาดเล็ก	-47	-12
ไนโตรเจนออกไซด์	-10	+2
ซัลเฟต	-100	-20
ก๊าซพิษ	-60 ถึง -90	-12 ถึง -20
สารก่อมะเร็ง	-80 ถึง -90	-20

ที่มา : Lotero, E., et al. (2005)

จากตารางที่ 6 สามารถสรุปได้ว่าการใช้ไบโอดีเซล B100 จะปลดปล่อยของเสียโดยรวมออกมาในปริมาณน้อยกว่าการใช้ไบโอดีเซล B20 โดยพบว่าไบโอดีเซล B100 สามารถปลดปล่อยก๊าซพิษลดลงกว่าน้ำมันดีเซลปกติได้ถึง 60 ถึง 90% ขณะที่การใช้ไบโอดีเซล B20 ลดการปลดปล่อยก๊าซพิษได้เพียง 12 ถึง 20% เท่านั้นรวมทั้งค่าของสารก่อมะเร็งจากการใช้ไบโอดีเซล B100 มีการลดลง 80% ถึง 90% ส่วนไบโอดีเซล B20 จะปล่อยสารก่อมะเร็งลดลง 20% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำมันดีเซล จากข้อมูลนี้จึงควรมีการสนับสนุนและส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซล B100 เพื่อช่วยลดมลภาวะที่จะเกิดขึ้นกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

พูน ปณ จิต ชีเว

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

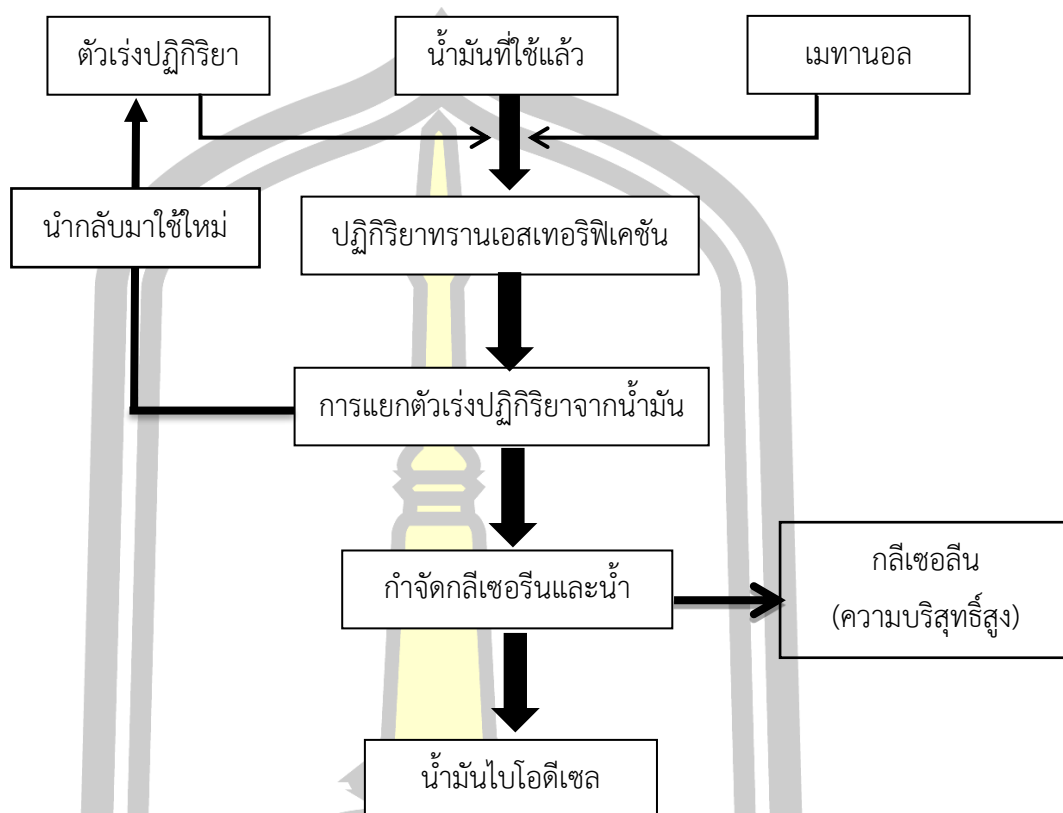
- 3.1.1 น้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว จากโรงงานผลิตอาหารสำเร็จรูปในเครือบริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
- 3.1.2 เปลือกไข่ไก่จากโรงฟักไข่โชคชัย บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)
- 3.1.3 ชี้น้ำจากการเผาซากไก่ จากโรงงานในเครือ บริษัท ซีพีเอฟ จำกัดมหาชน
- 3.1.4 เมทานอล เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 99% ยี่ห้อ RCI labscan Limited
- 3.1.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Ajax Finechem

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 อุปกรณ์เครื่องแก้วชนิดต่างๆ (General Glassware)
- 3.2.2 เตาให้ความร้อน (Muffle furnace)
- 3.2.3 ตะแกรงร่อน ขนาดต่างๆ (Sieve)
- 3.2.4 เครื่องชั่งสารทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Weight Balance)
- 3.2.5 เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Pump)
- 3.2.6 เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)
- 3.2.7 เครื่องกวนสารพร้อมให้ความร้อน (Hotplate Stirrer) ยี่ห้อ Yellow Line รุ่น Yellow MAG HS 7
- 3.2.8 โถดูดความชื้น แบบสุญญากาศ (Desiccator)
- 3.2.9 เครื่องปั่นยี่ห้อ Panasonic รุ่น MX-AC 400
- 3.2.10 ถ้วยกระเบื้องทนไฟหรือถ้วยระเหยสาร (evaporating disk)

พูน ปณ จิต ชีเว

3.4 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์



ภาพประกอบ 7 แผนผังการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์

3.5 ขั้นตอนการศึกษา

3.5.1 การเตรียมวัสดุและวิเคราะห์สมบัติของเปลือกไข่และซากไก่

3.5.1.1 เปลือกไข่

1.) เปลือกไข่ได้จากโรงฟักไข่โชคชัย อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา

โดยการนำเอาเปลือกไข่มาล้างให้สะอาด จากนั้นนำไปตากให้แห้ง ทำการแยกเยื่อออกจากเปลือกไข่ นำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นยี่ห้อ Panasonic รุ่น MX-AC 400 เพื่อให้มีขนาดน้อยกว่า 420 ไมโครเมตร (40 mesh) และนำไปเผาด้วยเตาให้ความร้อน (Muffle furnace) ยี่ห้อ Carbolite ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

2.) วิเคราะห์ทางกายภาพ

2.1) โครงสร้างทางจุลภาคและสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM

เตรียมตัวอย่างเปลือกไข่หรือแคลเซียมออกไซด์ที่จะนำมาวิเคราะห์ โดยการอบไล่ความชื้นที่ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานด้วยกล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) รุ่น Leo 1455 VP จากศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

2.2) วิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller Method (BET)

นำตัวอย่างเปลือกไข่หรือแคลเซียมออกไซด์มาศึกษาการดูดซับและการคายแก๊สไนโตรเจนที่ความดันสัมพัทธ์ (P/Po) ด้วยเครื่อง BET ยี่ห้อ TriStar II 3020 จากศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร แล้วนำผลที่ได้ไปคำนวณหาขนาดรูพรุนโดยใช้สมการ BET (Brunauer-Emmett-Teller equation) และหาพื้นที่ผิวจากสมการ BJH (Barrett-Joyner-Halenda equation)

3.) วิเคราะห์ทางเคมี

3.1) วิเคราะห์สารประกอบออกไซด์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF)

วิเคราะห์สารประกอบออกไซด์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) รุ่น XGT-5200 X-ray Analytical Microscope ยี่ห้อ Bruker S4 Explorer จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

3.1) วิเคราะห์ผลึกของเปลือกไข่ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)

เครื่องวิเคราะห์ผลึกของเปลือกไข่ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ยี่ห้อ Phillips รุ่น PW 3040/60 X'PERT PRO Console จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

3.2) วิเคราะห์ความแรงของเบสด้วยเทคนิควิธี Hammett Indicator Titration

คุณสมบัติความเป็นเบสวิเคราะห์ด้วยวิธี Hammett indicators method โดยการเทียบสีจากอินดิเคเตอร์ที่มีค่าฟังก์ชันความเป็นกรด Hammett ของอินดิเคเตอร์ (H_-) ที่ต่างกัน ทั้งหมด 4 ช่วง คือ Bromothymol blue $H_-7.2$, Phenolphthaleine $H_-9.8$, 2,4 Dinitroaniline H_-15 และ 4-Nitroaniline $H_-18.4$ โดยเตรียมสารละลายอินดิเคเตอร์ 0.1% (w/v) โดยใช้อินดิเคเตอร์ 0.5 ในเมทานอล 500 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่าง 25 มิลลิกรัม เติมน้ำละลายอินดิเคเตอร์ 5 มิลลิลิตร เขย่าที่ความเร็ว 250 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง และสังเกตการเปลี่ยนสีของตัวอย่างตัวเพื่อเทียบสี (Xue et al., 2009)

3.5.1.2 แก้วชาไก่

1.) ชาไก่จะถูกเผาที่อุณหภูมิตามที่โรงงานใช้ในการเผาปกติ คือ 1300-1350 องศาเซลเซียส หรือประมาณ 700 องศาเซลเซียส นำแก้วชาไก่ที่ได้มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด ยี่ห้อ Panasonic รุ่น MX-AC 400 เพื่อให้มีขนาดน้อยกว่า 420 ไมโครเมตร (40 mesh)

2.) วิเคราะห์ทางกายภาพ

2.1) โครงสร้างทางจุลภาคและสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM

เตรียมตัวอย่างเก้าซากไก่ที่จะนำมาวิเคราะห์ โดยการอบไล่ความชื้นที่ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) รุ่น JEOL JSM-6460LV จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

2.2) วิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller Method (BET)

นำตัวอย่างเก้าซากไก่มาศึกษาการดูดซับและการคายแก๊สไนโตรเจนที่ความดันสัมพัทธ์ (P/Po) ด้วยเครื่อง BET ยี่ห้อ TriStar II 3020 จากศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรแล้วนำผลที่ได้ไปคำนวณหาขนาดรูพรุนโดยใช้สมการ BET (Brunauer-Emmett-Teller equation) และหาพื้นที่ผิวจากสมการ BJH (Barrett-Joyner-Halenda equation)

3.) วิเคราะห์ทางเคมี

3.1) วิเคราะห์สารประกอบออกไซด์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF)

วิเคราะห์สารประกอบออกไซด์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) รุ่น XGT-5200 X-ray Analytical Microscope ยี่ห้อ Horiba จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2) วิเคราะห์ผลึกของเปลือกไข่ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)

เครื่องวิเคราะห์ผลึกของเปลือกไข่ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) รุ่น D8 Advance ยี่ห้อ Bruker จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

3.3) วิเคราะห์ความแรงของเบสด้วยวิธี Hammett Indicator Titration

คุณสมบัติความเป็นเบสวิเคราะห์ด้วยวิธี Hammett indicators method โดยการเทียบสีจากอินดิเคเตอร์ที่มีค่าฟังก์ชันความเป็นกรด Hammett ของอินดิเคเตอร์ (H_-) ที่ต่างกัน ทั้งหมด 4 ช่วง คือ Bromothymol blue $H_-7.2$, Phenolphthaline $H_-9.8$, 2,4 Dinitroaniline H_-15 และ 4-Nitroaniline $H_-18.4$ โดยเตรียมสารละลายอินดิเคเตอร์ 0.1% (w/v) โดยใช้อินดิเคเตอร์ 0.5 ในเมทานอล 500 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่าง 25 มิลลิกรัม เติมน้ำละลายอินดิเคเตอร์ 5 มิลลิลิตร เขย่าที่ความเร็ว 250 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง และสังเกตการเปลี่ยนสีของตัวอย่างตัวเพื่อเทียบสี (Xue et al., 2009)

3.5.1.3 น้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว

1.) Saponification Value (ASTM D464)

(1.) ชั่งน้ำมันที่ต้องการทดสอบ 2 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำ 1 M alcoholic KOH 50 มิลลิลิตร (เตรียมสารละลายโดยชั่ง KOH 1.4 กรัม อย่างรวดเร็ว ใส่ใน

ขวดกันกลม แล้วเติมเมทานอลลงไป 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เม็ด KOH ละลายเล็กน้อย) เติมเม็ดเดือด 2-3 ชิ้นเพื่อป้องกันการเดือดอย่างรุนแรง ต้มโดยวิธี reflux 45 นาที

(2.) ปิเปตสารละลายออกมา 30 มิลลิลิตร แบ่งใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร 2 ใบหยด 0.04% phenolphthalein 1-2 หยด นำไปไตเตรทกับ 0.5 M standard HCl เปรียบเทียบปริมาตรเฉลี่ยของ HCl ที่ใช้นี้กับปริมาตรเฉลี่ยของ HCl ที่ไตเตรทกับขวดเปรียบเทียบซึ่งบรรจุ KOH 15 มิลลิลิตร คำนวณหาค่าสaponifiเคชันตามสมการ (3.1)

$$\begin{aligned} \text{ค่าสaponifiเคชัน} &= \frac{\text{มิลลิลิตรของ KOH ที่ใช้ในการไตเตรทลิปิด 1 กรัม}}{W} \\ &= \frac{56 \times N(B - A)}{W} \end{aligned} \quad (3.1)$$

A = มิลลิลิตรเฉลี่ยของ 0.5 M standard HCl ที่ใช้ในการไตเตรทขวดตัวอย่าง

B = มิลลิลิตรเฉลี่ยของ 0.5 M standard HCl ที่ใช้ในการไตเตรทขวดเปรียบเทียบ

N = ความเข้มข้นของ HCl (0.5 M)

W = น้ำหนักลิปิด (g)

2.) Iodine Value (ASTM D5768-02)

(1.) ชั่งน้ำมันที่ต้องการทดสอบ 0.3-0.4 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน) ลงในขวดที่มีฝาปิด แล้วปิเปต ICI เติมลงไป 25 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดและตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 1 ชั่วโมง โดยเขย่าบ้างเป็นบางครั้ง ในขณะเดียวกันก็เตรียมขวดเปรียบเทียบ ซึ่งใช้คลอโรฟอร์ม 10 มิลลิลิตร แทนสารละลายลิปิด

(2.) ถ่ายสารละลายจากขวดที่มีฝาปิด ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ใช้ น้ำกลั่นปริมาณน้อยๆ ล้างสารที่ติดอยู่ในขวดสีชา และล้างมาในขวดรูปชมพู่ให้หมด ปิเปต KI เติมลงไปขวดรูปชมพู่ 10 มิลลิลิตร แล้วปิดให้สนิททันทีด้วยพาราฟิล์ม เขย่าให้เข้ากันจะเกิดก๊าซ I_2 ขึ้นไตเตรทหาปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นด้วย $Na_2S_2O_3$ เมื่อไตเตรทจนได้สารละลายสีเหลืองซีด (โดยเทียบสีเหลืองของขวดตัวอย่างให้เท่ากับขวดเปรียบเทียบ) เติมน้ำแ่งลงไป 1 มิลลิลิตร น้ำแ่งจะทำปฏิกิริยากับไอโอดีนได้สารละลายเป็นสีน้ำเงิน

(3.) ไตเตรทต่อจนสีน้ำเงินหายไป ระหว่างไตเตรทค่อยๆ เติม $Na_2S_2O_3$ ที่ละน้อย และต้องเขย่าอย่างแรงตลอดเวลาเพื่อให้แน่ใจว่า I_2 ถูกดึงออกจากชั้นของคลอโรฟอร์มและทำปฏิกิริยาได้เต็มที่

(4.) บันทึกปริมาตรสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ในการไตเตรทขวดตัวอย่างและขวดเปรียบเทียบคำนวณหาไอโอดีน ตามสมการที่ (3.2)

$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{1.27 (B - C)}{\text{น้ำหนักน้ำมัน (g)}} \quad (3.2)$$

B = มิลลิลิตรของ 0.1 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ในการไตเตรทหาค่าเปรียบเทียบ

C = มิลลิลิตรของ 0.1 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ในการไตเตรทหาค่าตัวอย่าง

- ความหนาแน่น (Density at 25 °C)
- ความหนืด (Kinematic viscosity at 40 °C)
- กรดไขมันอิสระ (Acid value)

3.) การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ใช้แล้วด้วยเทคนิคการไตเตรต

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระเป็นไปตามมาตรฐาน AOCS Official Method Ca 5a-40 เพื่อวิเคราะห์และควบคุมไม่ให้กรดไขมันอิสระมีค่าเกินร้อยละ 1 ก่อนนำไปทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน มีวิธีการคือนำน้ำมันไปให้ความร้อนที่ 100 °C เพื่อระเหยน้ำในน้ำมัน จากนั้นนำไปไตเตรต ดังนี้

- (1.) ชั่งน้ำหนักน้ำมันให้แน่นอนไม่เกิน 10 กรัม ลงในขวดลูกอมพู่
- (2.) เตรียมสารละลายเอทานอลโดยการปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยเบสและเติมฟีนอล์ฟทาไรน 5 หยด และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 Normal หยดฟีนอล์ฟทาไรนที่ละหยดจนได้สีชมพูถาวร
- (3.) เมทานอลที่มีสภาพเป็นกลาง 50 มล. ลงในน้ำมันเขย่าให้แรง
- (4.) ไตเตรตสารละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 Normal จนกระทั่งได้สีชมพูถาวร คำนวณกรดไขมันอิสระตามสมการที่ (3.3)

$$\% \text{กรดไขมัน} = \frac{\text{ปริมาณ NaOH (ml)} \times \text{ความเข้มข้น NaOH (N)} \times 25.6}{\text{น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)}} \quad (3.3)$$

3.5.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล (ตารางประกอบ 7)

3.5.2.1 การศึกษาปริมาณแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซล

ทดสอบปริมาณแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ ที่เหมาะสมต่อการเกิดไบโอดีเซล ตั้งแต่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5% หรือจนกระทั่งเปอร์เซ็นต์การได้ผลผลิตไบโอดีเซลที่ดีที่สุด โดยใช้ปริมาณเปลือกไข่เผา 100% และควบคุมสัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันทอดไก่ 15:1 ที่อุณหภูมิในการ

เกิดปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์ปริมาณร้อยละพื้นที่ของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลด้วยเครื่อง Gas Chromatograph -Mass Spectrometer (GC-MS Shimadzu QP2010) และเปรียบเทียบค่าทางสถิติ

3.5.2.2 การศึกษาปริมาณอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว ที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซล

จากการทดลองที่ผ่านมา ทำการเลือกปริมาณการใช้ปริมาณแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ จากการทดลองที่ 3.5.2.1 มาทดสอบอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วที่เหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซล ตั้งแต่ 6:1, 9:1, 12:1 และ 15:1 หรือจนกระทั่งเปอร์เซ็นต์การได้ผลผลิตไบโอดีเซลที่ดีที่สุด ที่อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์ปริมาณร้อยละพื้นที่ของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลด้วยเครื่อง Gas Chromatograph -Mass Spectrometer (GC-MS Shimadzu QP2010) และเปรียบเทียบค่าทางสถิติ

3.5.2.3 การศึกษาอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดไบโอดีเซล

จากการทดลองที่ผ่านมา ทำการเลือกปริมาณการใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่จากการทดลองที่ 3.5.2.1 และอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว จากการทดลองที่ 3.5.2.2 มาทดสอบอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาตั้งแต่ อุณหภูมิห้อง, 55, 60, 65, 70 และ 75 องศาเซลเซียส หรือจนกระทั่งเปอร์เซ็นต์การได้ผลผลิตไบโอดีเซลที่ดีที่สุด โดยการควบคุมระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์ปริมาณร้อยละพื้นที่ของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลด้วยเครื่อง Gas Chromatograph -Mass Spectrometer (GC-MS Shimadzu QP2010) และเปรียบเทียบค่าทางสถิติ

3.5.2.4 การศึกษาระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดไบโอดีเซล

จากการทดลองที่ผ่านมา ทำการเลือกปริมาณการใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่จากการทดลองที่ 3.5.2.1 อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว จากการทดลองที่ 3.5.2.2 และการศึกษาอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา จากการทดลองที่ 3.5.2.3 มาทดสอบระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาตั้งแต่ 0.5, 1.0, 1.5 , 2.0 , 2.5 และ 3.0 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งเปอร์เซ็นต์การได้ผลผลิตไบโอดีเซลที่ดีที่สุด นำไปวิเคราะห์ปริมาณร้อยละพื้นที่ของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลด้วยเครื่อง Gas Chromatograph -Mass Spectrometer (GC-MS Shimadzu QP2010) และเปรียบเทียบค่าทางสถิติ

3.5.2.5 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ต่อเถ้าซากไก่

จากการทดลองที่ 3.5.2.1-3.5.2.4 จะได้สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว จึงนำสภาวะดังกล่าวมาศึกษาสัดส่วนโดยน้ำหนักของแคลเซียมออกไซด์จาก

เปลือกไข่ต่อเปลือกไข่ คือ 100:0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80 และ 0:100 (โดยน้ำหนัก) นำไปวิเคราะห์ปริมาณร้อยละพื้นที่ของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลด้วยเครื่อง Gas Chromatograph -Mass Spectrometer (GC-MS Shimadzu QP2010) และเปรียบเทียบค่าทางสถิติ

ตารางที่ 7 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

ชนิดของตัวเร่ง	ปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล	ค่าที่กำหนดในการศึกษา
แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ 100%	1. ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (%)	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
	2. ปริมาณอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้แล้ว (โดยโมล)	6:1, 9:1, 12:1, 15:1
	3. อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา (°C)	อุณหภูมิห้อง, 55, 60, 65, 70, 75
	4. ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา (ชั่วโมง)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0
แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่และเปลือกไข่	5. อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์ต่อไข่เปลือกไข่ (โดยน้ำหนัก)	100:0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80, 0:100

3.5.3 การศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำในการผลิตไบโอดีเซล

จากการทดลองที่ 3.5.2.5 นำอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดไบโอดีเซลที่ดีที่สุดมาศึกษาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันแล้วมาทำปฏิกิริยาซ้ำอีกครั้ง ซึ่งจะวิเคราะห์ปริมาณร้อยละพื้นที่ของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลด้วยเครื่อง Gas Chromatograph -Mass Spectrometer (GC-MS Shimadzu QP2010)

พูน ปณ จิต ชเว

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

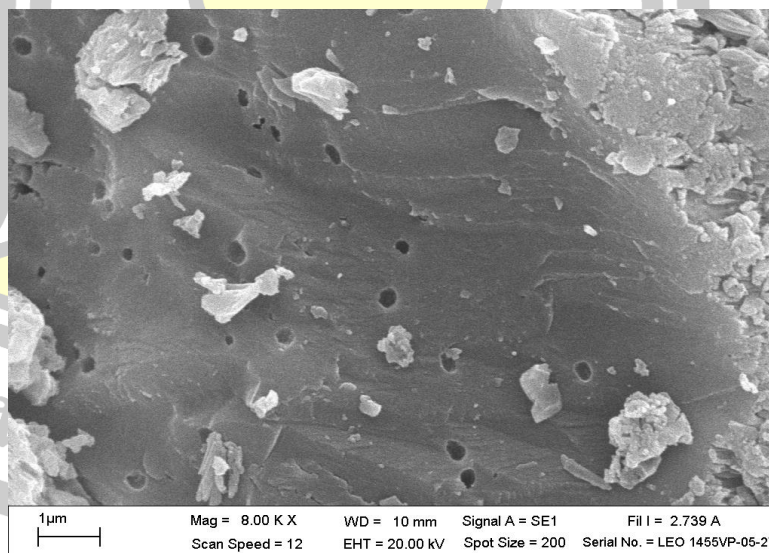
4.1 การศึกษาสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มทอดไก่และแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่

4.1.1 แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่

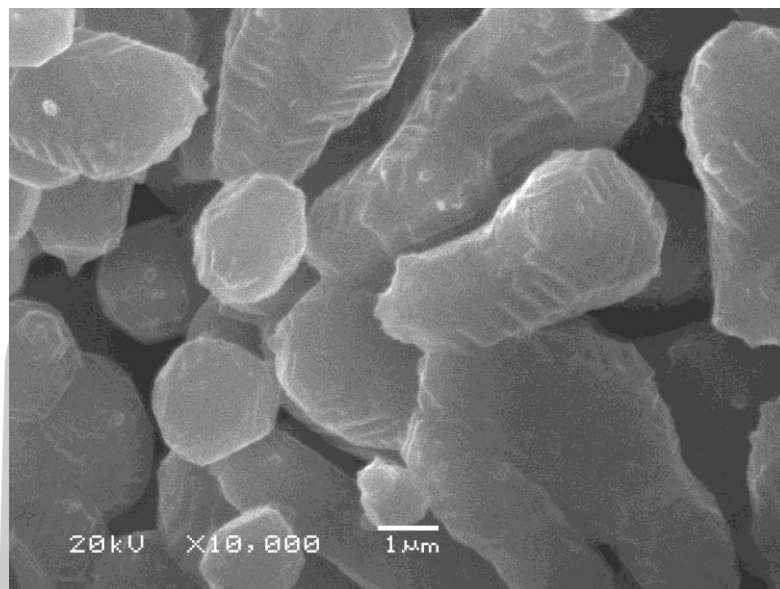
4.1.1.1 วิเคราะห์ทางกายภาพ

1) โครงสร้างทางจุลภาคและสัณฐานวิทยา

วิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคและสัณฐานวิทยาโดยใช้เครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 8,000 เท่า ตามภาพประกอบ 8 แสดงให้เห็นสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่พบว่ามีลักษณะผิวเรียบและมีรูพรุนกระจายอยู่ทั่วบริเวณผิวเปลือกไข่ และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 10,000 เท่าของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่มีการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ภาพประกอบ 9 พบว่าเมื่อมีการให้ความร้อนที่สูงจะทำให้เกิดการการสลายของอินทรียสารที่เป็นองค์ประกอบภายในเปลือกไข่ โดยอนุภาคที่เหลือจะมีรูปร่างเป็นแบบผลึกแคลไซด์ขนาดต่างๆ กระจายตัวกันทั่วไปและมีผิวขรุขระมากขึ้น



ภาพประกอบ 8 ภาพถ่ายเปลือกไข่จากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 8,000 เท่า



ภาพประกอบ 9 ภาพถ่ายแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่จากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) กำลังขยาย 10,000 เท่า

2.) วิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller Method (BET)

แคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเผาเปลือกไข่ที่อุณหภูมิ 800 °C ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวของเปลือกไข่โดยอาศัยการดูดซับด้วยแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -195 °C เมื่อวิเคราะห์ไอโซเทอมการดูดซับ-คายซับไนโตรเจนของแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าการดูดและคายซับมีลักษณะเป็นไอโซเทอมประเภทที่ 3 (Type III isotherm) จากการจำแนกของ IUPAC โดยขนาดรูพรุนของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่เป็นขนาดกลาง (Mesopore) และเมื่อคำนวณด้วยสมการ Multipoint BET (Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett and Edward Teller) ผลที่ได้พบว่าพื้นที่ผิวของเปลือกไข่ที่ยังไม่ได้ผ่านการเผาคือ 2.0 m²/g และแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่มีการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C ระยะเวลา 1 ชั่วโมง คือ 11.4 m²/g

4.1.1.3 วิเคราะห์ทางเคมี

1.) วิเคราะห์สารประกอบออกไซด์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF)

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ X-ray fluorescence spectrophotometer (XRF) (ตารางประกอบ 8) พบว่ามีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดซึ่งมีอยู่ในเปลือกไข่ไก่ถึงร้อยละ 68.2 และมีอยู่ในแคลเซียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 °C ระยะเวลา 1 ชั่วโมง สูงถึงร้อยละ 97.9 และมีธาตุ MgO ที่ร้อยละ 0.977, P₂O₅ ที่ร้อยละ 0.530, Na₂O ที่ร้อยละ 0.223 และ K₂O อยู่ที่ 0.065 เป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีจากงานวิจัยของ Witoon (2011) ที่แคลไซน์เปลือกไข่ที่อุณหภูมิ 900 °C ระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีแคลเซียมออกไซด์อยู่ที่ร้อยละ 97.42 ซึ่งมีความบริสุทธิ์ใกล้เคียงกันกับผลการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 °C ระยะเวลา ดังตารางที่ 8 จึงแสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิในการเผาเปลือกไข่ที่สูงขึ้น ไม่มีความแตกต่างของความบริสุทธิ์แคลเซียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่ไก่และแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrophotometer

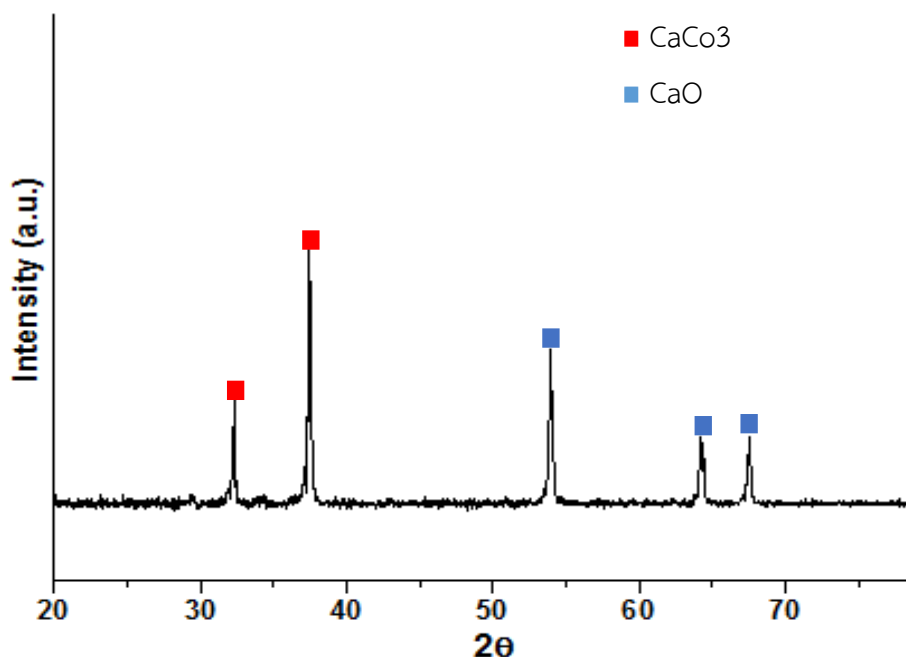
ธาตุ	CaO	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	SO ₃	K ₂ O
เปลือกไข่ไก่ (%)	68.2	0.459	0.396	0.103	0.105	0.062
แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ (%)	97.9	0.977	0.543	0.223	0.111	0.065

2.) วิเคราะห์ผลึกของเปลือกไข่ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)

ผลการทดลองด้วยเครื่อง X-ray Diffraction ของเศษเปลือกไข่ไก่และแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 °C ระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าเศษเปลือกไข่ไก่มีโครงสร้างผลึกเป็นแคลไซด์ของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตเมื่อเทียบกับมาตรฐาน JCPDS และแคลเซียมออกไซด์ที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 °C ระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าเป็นผลึกของสารประกอบแคลเซียมออกไซด์ โดยมีตำแหน่งมุมของแคลเซียมออกไซด์เกิดที่ตำแหน่ง 32.2°, 37.4°, 53.9°, 64.2° และ 67.4° ตามตารางที่ 9 และภาพประกอบ 10

ตารางที่ 9 พิกของเปลือกไข่ไก่และแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่โดยใช้เทคนิค X-Ray Diffraction

Sample	Compound	2Theta
JCPDS data	CaCO ₃	29.4° 39.4° 43.2° 47.4° 48.5°
	CaO	32.2° 37.3° 58.3° 64.1° 67.3°
เปลือกไข่ไก่	CaCO ₃	29.4° 39.5° 43.2° 47.6° 48.6°
	CaO	32.2° 37.4° 53.9° 64.2° 67.4°
แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่	CaCO ₃	18.1° 28.7° 32.2° 34.1° 37.3°
	CaO	47.2° 50.8° 53.8° 64.2° 67.3°

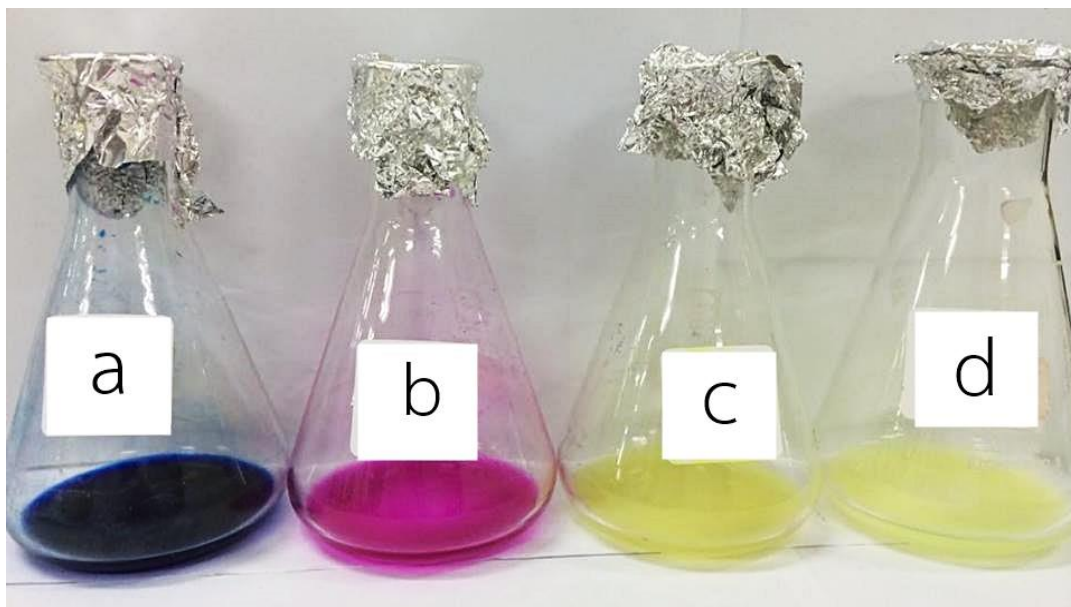


ภาพประกอบ 10 XRD pattern ของผลึกสารต่างๆในเปลือกไข่

3.) วิเคราะห์ความแรงเบสด้วยวิธี Hammett indicators method

การวิเคราะห์ความแรงเบสด้วยวิธี Hammett indicators method โดยการเทียบสีจากอินดิเคเตอร์ที่มีค่า H_- ที่ต่างกันทั้งหมด 4 ช่วงก็คือ (a) Bromothymol blue $H_-7.2$, (b) Phenolphthaline $H_-9.8$, (c) 2,4-Dinitro-aniline H_-15 และ (d) 4-Nitroaniline $H_-18.4$ จากการสังเกตการเปลี่ยนสี ผลการวิเคราะห์ความแรงเบสพบว่าแคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 °C ระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีความแรงเบสอยู่ในช่วง $15 < H_- < 18.4$ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสีจากการใช้สาร (c) 2,4-Dinitroaniline โดยเปลี่ยนจากสีเหลืองใสเป็นสีเขียวอ่อน แต่ไม่เปลี่ยนแปลงสีจากการใช้สาร (d) 4-Nitroaniline ดังภาพประกอบ 11

พูน ปณ จิต ชีเว



ภาพประกอบ 11 การเทียบสีความแรงเบสของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ด้วยวิธี Hammett indicators method

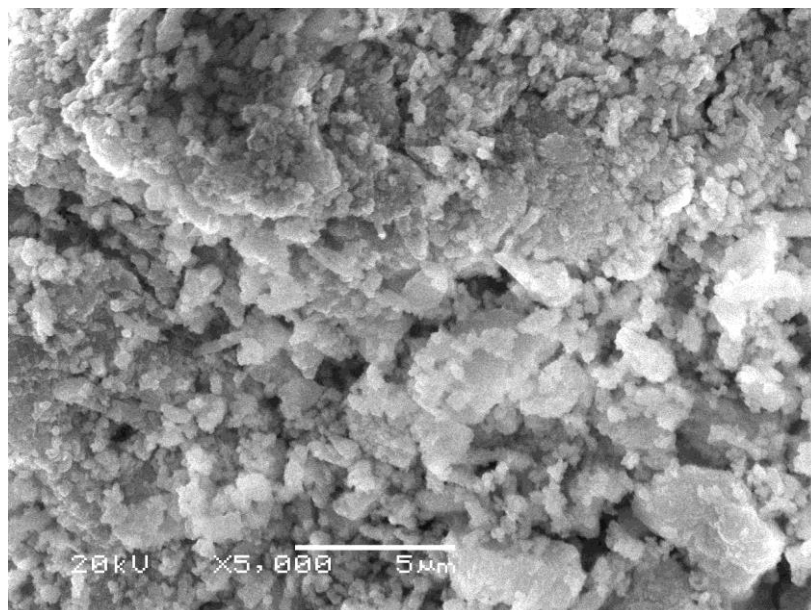
4.1.2 ถ้ำซากไก่อ

4.1.2.1 วิเคราะห์ทางกายภาพ

1) โครงสร้างทางจุลภาคและสัณฐานวิทยา

วิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคและสัณฐานวิทยาโดยใช้เครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของถ้ำซากไก่อด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 5,000 เท่า ตามภาพประกอบ 12 แสดงให้เห็นสัณฐานวิทยาของถ้ำซากไก่อที่มีความขรุขระ และมีขนาดที่เล็กระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งมาจากการเผาซากไก่อที่มีอุณหภูมิสูงจึงทำให้เกิดการสลายไปของสารอินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบภายในซากไก่อจนทำให้เหลือเพียงสารที่เป็นผลึก

พูน ปณ จิต ชีเว



ภาพประกอบ 12 ภาพถ่ายเถ้าซากไก่อ่จากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)
กำลังขยาย 5,000 เท่า

2.) วิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller Method (BET)

เถ้าซากไก่อ่ได้จากการเผาซากไก่อ่ที่อุณหภูมิ 700 °C นำไปวิเคราะห์พื้นที่ผิวของเถ้าซากไก่อ่โดยอาศัยการดูดซับด้วยแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ -195 °C พบว่า การดูดและคายซับมีลักษณะเป็นไอโซเทอมประเภทที่ 3 (Type III isotherm) จากการจำแนกของ IUPAC โดยขนาดรูพรุนของเถ้าซากไก่อ่เป็นขนาดกลาง (Mesopore) และเมื่อคำนวณด้วยสมการ Multipoint BET (Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett and Edward Teller) ผลที่ได้พบว่าพื้นที่ผิวของเถ้าซากไก่อ่ที่ คือ 7.5 m²/g ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ เนื่องจากมีการเผาที่อุณหภูมิน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิในการเผาเปลือกไข่ จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ที่อยู่ภายในเถ้าซากไก่อ่ได้น้อย จึงเกิดรูพรุนที่ใช้ในการดูดซับได้น้อยลง

4.1.2.2 วิเคราะห์ทางเคมี

1.) วิเคราะห์สารประกอบออกไซด์ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF)

ผลการศึกษาค่าองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ X-ray fluorescence spectrophotometer (XRF) (ตารางประกอบ 10) พบว่าเถ้าซากไก่อ่มีองค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) มากที่สุดถึงร้อยละ 70.82 เนื่องจากองค์ประกอบของซากไก่อ่ส่วนใหญ่เป็นกระดูกซึ่งเป็นแคลเซียม เมื่อนำซากไก่อ่ไปเผาที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์

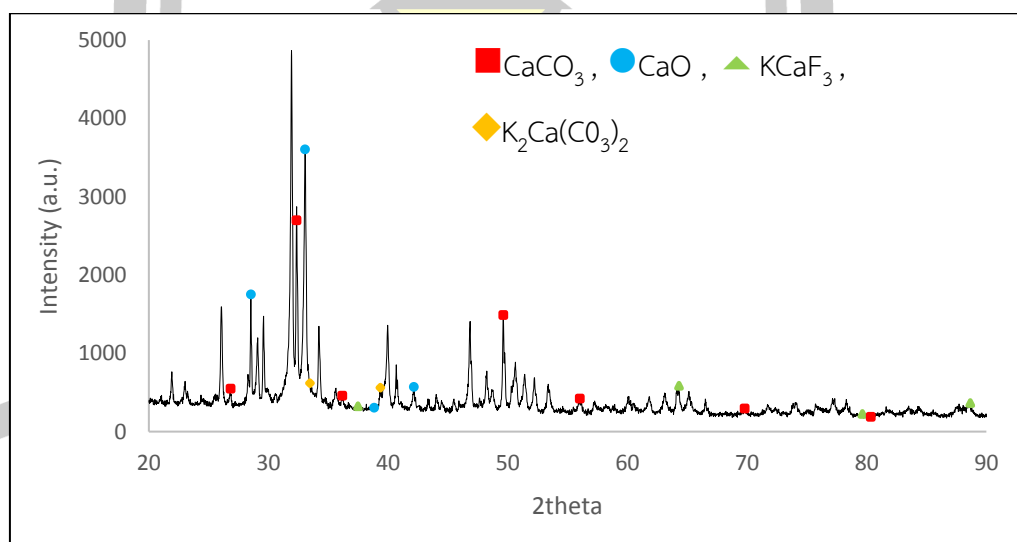
ที่มาก และยังพบธาตุอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น P_2O_5 พบร้อยละ 11.96 K_2O พบร้อยละ 6.57 เป็นต้น

ตารางที่ 10 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าซากไก่โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrophotometer

ธาตุ	CaO	MnO	P_2O_5	ZnO	Fe_2O_3	K_2O	TiO_2
เถ้าซากไก่ (%)	70.82	3.44	11.96	1.01	3.98	6.57	0.51

2.) วิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าซากไก่ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าซากไก่ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) (ภาพประกอบ 13) โดยเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมุมของการเลี้ยวเบน (2theta) กับ JCPDs (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) (ตารางที่ 11) พบว่ามีองค์ประกอบของ Ca (Calcium) , K (Potasium) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลได้



ภาพประกอบ 13 พีคของผลึกสารต่างๆในเถ้าซากไก่ที่วิเคราะห์โดยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD)

ตารางที่ 11 มุมของการเลี้ยวเบนของสารที่ตรวจพบในถ้ำซากไก่ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ JCPDS data

Compound (JCPDS data)	2Theta
CaCO_3	27.24° 32.76° 36.16° 37.28° 49.88° 56.18° 69.58° 80.38°
CaO	37.36° 64.16° 79.66° 88.52°
KCaF_3	28.82° 33.97° 38.53° 42.56°
$\text{K}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$	33.17° 39.88°

3.) การวิเคราะห์ความแรงเบสด้วยวิธี Hammett indicators method

วิเคราะห์โดยการเทียบสีจากอินดิเคเตอร์ที่มีค่า H_- ที่ต่างกันทั้งหมด 4 ช่วงก็คือ

(a) Bromothymol blue $H_- 7.2$, (b) Phenolphthaline $H_- 9.8$, (c) 2,4-Dinitro-aniline $H_- 15$ และ (d) 4-Nitroaniline $H_- 18.4$ จากการสังเกตการเปลี่ยนสี ผลการวิเคราะห์ความแรงเบสพบว่าถ้ำซากไก่ที่ได้มีความแรงเบสอยู่ในช่วง $15 < H_- < 18.4$ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสีจากการใช้สาร (c) 2,4-Dinitroaniline โดยเปลี่ยนจากสีเหลืองใสเป็นสีเขียวอ่อน แต่ไม่เปลี่ยนแปลงสีจากการใช้สาร (d) 4-Nitroaniline ดังภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 การเทียบสีความแรงเบสของถ้ำซากไก่ด้วยวิธี Hammett indicators method

4.1.3 น้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว

ในการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว (ตารางที่ 12) พบว่า ค่ากรดไขมันอิสระ เท่ากับ 3.15 โดยค่ากรดไขมันที่แนะนำอยู่ที่ไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งอาจจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้มีปริมาณที่ไม่สูงมาก และอาจเกิดสบู่ขึ้นได้เล็กน้อย และค่าไอโอดีน เท่ากับ 1.97 มีค่าที่อยู่ในช่วงมาตรฐาน แสดงว่ายังคงมีสมบัติที่ไม่แตกต่างจากน้ำมันปาล์มดิบเกรด A (Phitsamai, 2009) ในค่าสaponification เท่ากับ 209.352 มีค่าที่เกินจากมาตรฐานเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจจะต้องมีการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากขึ้น เพื่อให้ได้ผลผลิตไบโอดีเซลที่มากขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 12 ค่าสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว

Chemical properties	Crude palm oil grade A produces biodiesel by standard. (Phitsamai, 2009)	Waste fried chicken palm oil
Free fatty Acid (%FFA)	< 5	3.15
Saponification (mgKOH/g)	190-209	209.352
Iodine Value (g of I ₂ /100 g oil)	< 200	1.97

4.2 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

4.2.1 การศึกษาปริมาณแคลเซียมออกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล

ตั้งแต่ 0 , 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 และ 7% โดยน้ำหนักตามลำดับ (ตารางที่ 14) พบว่า ปริมาณการใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ 5 % โดยน้ำหนัก จะวิเคราะห์จากค่าพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ซึ่งพบมากที่สุด (กรดไขมันที่เป็นผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล ; C12-C22 (C. Brunschwig, W. Moussavou, 2012)) เท่ากับ 16.67% ลำดับถัดมาคือ 6 % โดยน้ำหนัก เท่ากับ 14.56% และพบน้อยที่สุด คือ ปริมาณการใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่ 0 % โดยน้ำหนัก เท่ากับ 0.3267% และยังคงมีสารประกอบทั้งหมด เช่น กรดไขมัน Palmitic Acid และ Oleic Acid ที่ยังไม่เปลี่ยนเป็นสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล สูงถึง 70.74% เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของสารประกอบทั้งหมด ในแต่ละปริมาณการใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ โดยใช้วิธีวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด One Way Anova (ตารางประกอบ13) พบว่า ในปริมาณการใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่สูงขึ้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จากนั้นพิจารณาความแตกต่างทางสถิติของสารประกอบทั้งหมด ใน

แต่ละปริมาณการใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ โดยใช้ Post-Hoc test (ภาคผนวก ข-10) พบว่า การที่ไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือที่ 0% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถเพิ่มอัตราและปริมาณการเกิดสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันมีค่าสaponification สูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอล มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก จึงต้องใช้ต่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส (นิธิยา, 2529) การใช้ต่างมากเกินไปจะทำให้ไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นสบู่ยิ่งมีต่างมากไตรกลีเซอไรด์ยิ่งเปลี่ยนเป็นสบู่มาก ทำให้เปลี่ยนเป็นเอสเตอร์ได้น้อยลง เนื่องจากการเกิดสบู่ในปฏิกิริยา การเกิดสบู่จะทำให้เมทิลเอสเตอร์ละลายในชั้นกลีเซอรอล ทำให้การแยกชั้นเมทิลเอสเตอร์กับชั้นกลีเซอรอลทำได้ยากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลถึงการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีมากเกินไปและการกำจัดสบู่ที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลมากกว่าอุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้ (Attanatho L. , Magmee S., 2014) แต่ในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปจะทำให้เกิดความหนืดและผสมกับอย่างไม่สมบูรณ์ในขั้นตอนของการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ลดลงพิจารณาได้จากการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 7% ดังนั้นในการนำเอาน้ำมันปาล์มทอดไก่อมาผลิตไบโอดีเซล จึงจำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์เป็นจำนวนมากและได้ค่าผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่สูง ประกอบกับตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อที่จะเป็นการลดของเสียจากภาคอุตสาหกรรม คือ เปลือกไข่มาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลให้ได้มากที่สุดและได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลตามที่ต้องการ จึงต้องเลือกใช้ปริมาณการใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์จากเปลือกไข่ 6 % มาใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งมีกรดไขมันที่เปลี่ยนเป็นสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล Hexadecanoic acid, methyl ester (C17) , Octadecanoic acid, methyl ester (C19) และ Hexadecanoic acid, 2-propyl-, methyl ester (C20) ที่สูง

ตารางที่ 13 การวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ของการใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ต่างกันด้วย One Way Anova

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
พื้นที่ของสารที่พบ * ปริมาณแคลเซียม ออกไซด์	Between Groups (Combined)	175.225	7	25.032	7.518	.000
	Within Groups	183.138	55	3.330		
	Total	358.363	62			

ตารางที่ 14 พื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ที่มีการใช้แคลเซียมออกไซด์ที่ต่างกัน

ปริมาณแคลเซียมออกไซด์	จำนวนคาร์บอน	Mean	SD.	Minimum	Maximum	Total
0%	C17	.1767	.03055	.15	.21	0.3267
	C19	.1500	.01000	.14	.16	
1%	C17	.6150	.00707	.61	.62	1.7717
	C19	.5367	.01528	.52	.55	
	C20	.6200	.	.62	.62	
2%	C16	7.0233	.54994	6.40	7.44	11.0766
	C17	1.4833	.03055	1.45	1.51	
	C19	2.5700	.47032	2.25	3.11	
3%	C17	3.1367	.12055	3.01	3.25	8.8534
	C19	4.2100	.17436	4.09	4.41	
	C20	1.5067	.09292	1.43	1.61	
4%	C17	3.3900	.05568	3.33	3.44	10.31
	C19	4.9900	.04359	4.94	5.02	
	C20	1.9300	.02000	1.91	1.95	
5%	C17	4.8733	.02517	4.85	4.90	16.6667
	C19	8.4767	.11719	8.39	8.61	
	C20	3.3167	.02517	3.29	3.34	
6%	C17	4.8600	.02000	4.84	4.88	14.56
	C19	7.9967	.03055	7.97	8.03	
	C20	1.7033	.01528	1.69	1.72	
7%	C17	2.0033	.02082	1.98	2.02	5.5566
	C19	3.5533	.02082	3.53	3.57	

* Condition in Biodiesel Production Process ; Ratio 15 : 1 (Methanol : Oil) , Temperature 65°C , Times 1 Hours

Note : A = Hexadecanoic acid,methyl ester (C17) , B = Dodecanoic acid, 2,4,6-trimethyl-, methyl ester (C16)

C = 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (C19) , D = 9-Octadecenoic acid,methyl ester (C19)

E = Octadecanoic acid, methyl ester (C19) , F = Heptadecanoic acid, 15-methyl-, methyl ester (C19)

4.2.2 การศึกษาปริมาณอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มทอดไก่

จากการศึกษาอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มทอดไก่ในการผลิตไบโอดีเซล ตั้งแต่ 6:1 , 9:1 , 12:1 และ 15:1 ตามลำดับ (ตารางที่ 16) จะวิเคราะห์จากพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด พบว่า อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มทอดไก่ที่ 15:1 มีการพบมากที่สุด (กรดไขมันที่เป็นผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล ; C12-C22 (C. Brunschwig, W. Moussavou, 2012)) เท่ากับ 12.02% ลำดับถัดมาคืออัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มทอดไก่ที่ 6:1 เท่ากับ 11.73% มีกรดไขมันที่เปลี่ยนเป็นสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล Hexadecanoic acid, methyl ester (C17) ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่ได้เปลี่ยนไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่สูง และพบน้อยที่สุด คือ อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มทอดไก่ที่ 9:1 เท่ากับ 9.56% เมื่อมีการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้วิธีวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด One Way Anova (ตารางที่ 15) พบว่าในการใช้อัตราส่วนของเมทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.5 อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มทอดไก่ที่เหมาะสมอยู่ที่ 6 ต่อ 1 จากสมการเคมีของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแสดงให้เห็นว่า ไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล ทำปฏิกิริยาพอดกับ แอลกอฮอล์ 3 โมล แต่ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องใช้ปริมาณแอลกอฮอล์มากเกินไปเพื่อให้ไตรกลีเซอไรด์ถูกเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ได้มากขึ้น (D.Y.C.Leung, 2006) ซึ่งหลังจากการผสมส่วนผสมเสร็จแล้ว ปล่อยให้อุณหภูมิเย็นลง เอสเทอร์และกลีเซอรอลจะถูกแยกออกจากกัน กลีเซอรอลอยู่ด้านล่าง ไบโอดีเซลอยู่ด้านบน ซึ่งอัตราส่วนระหว่าง 6: 1 พบว่าเป็นสภาวะที่ดีที่สุด เนื่องจากเมทานอลส่วนเกินจะทำการยับยั้งการไหลด้วยแรงโน้มถ่วง จะทำให้ได้ผลผลิตไบโอดีเซลลดลงเนื่องจากส่วนหนึ่งของกลีเซอรอลยังอยู่ในไบโอดีเซล (B. Freedman , E. H. Pryde, 1984) ดังนั้นอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มทอดไก่ 6:1 จึงเพียงพอที่จะใช้ในการผลิตไบโอดีเซล เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของพื้นที่ของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลในแต่ละอัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มทอดไก่ พบว่า ในการใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มทอดไก่ในแต่ละอัตราส่วนไม่ได้มีผลต่อการเกิดสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล

พูน ปณ จิต ชเว

ตารางที่ 15 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ในการใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่ต่างกันด้วย One Way Anova

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
พื้นที่ของสารที่พบ * อัตราส่วนของเมทา นอลต่อน้ำมัน	Between Groups (Combined)	4.276	3	1.425	1.317	.298
	Within Groups	20.565	19	1.082		
	Total	24.841	22			

ตารางที่ 16 พื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ที่มีการใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันต่างกัน

อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน	จำนวนคาร์บอน	Mean	SD.	Minimum	Maximum	Total
6:1	C17	4.8400	.10149	4.75	4.95	11.7367
	C19	6.8967	.09866	6.83	7.01	
9:1	C17	4.0300	.07550	3.96	4.11	9.5667
	C19	5.5367	.12423	5.46	5.68	
12:1	C17	4.5933	.07638	4.51	4.66	11.1433
	C19	6.5500	.09539	6.46	6.65	
15:1	C17	4.9533	.02517	4.93	4.98	11.8933
	C19	6.9400	.09539	6.85	7.04	

* Condition in Biodiesel Production Process ; CaO 6% , Temperature 65°C , Times 1 Hours

Note : A = Hexadecanoic acid,methyl ester (C17) , B = 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (C19)

C = 9-Octadecenoic acid,methyl ester (C19) , D = Octadecanoic acid, methyl ester (C19)

4.2.3 การศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ที่มีผลต่อการเกิดไบโอดีเซล

จากการศึกษาอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาตั้งแต่ อุณหภูมิห้อง, 55 , 60 และ 65 องศาเซลเซียส (เมื่อใช้อุณหภูมิที่เกินกว่าจุดเดือดของเมทานอล คือ 64.5 - 65 องศาเซลเซียส จะทำให้เมทานอลระเหยจนไม่สามารถเกิดเป็นไบโอดีเซลได้) ในระยะเวลาตั้งแต่ 0.5 , 1.0 , 1.5 , 2.0 , 2.5

และ 3.0 ชั่วโมง โดยจะพบกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ในการใช้อุณหภูมิที่สูง คือ 65 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 18) จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลได้สูงกว่า การใช้อุณหภูมิต่ำ คือ อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาเดียวกัน เพราะการใช้อุณหภูมิสูงในการทำปฏิกิริยา จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นโดย อุณหภูมิสูงจะทำให้การแยกตัวของแต่ละเฟสลดลง ค่าคงที่ ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นและเพิ่มการเข้ากันได้ของสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ เวลาในการทำปฏิกิริยาลดลง น้ำมันที่ใช้แล้วการใช้อุณหภูมิสูงจะเพิ่มความหนืดของไบโอดีเซลและมี ผลต่อการเกิดสบู่และทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ลดลง ทำให้การละลายของน้ำมันในเมทานอลดีขึ้นและเพิ่ม พื้นที่การสัมผัส ทำให้เกิดไตรกลีเซอไรด์สูงขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดดีและเร็ว แต่มีผลในการเร่งการเกิด สบู่ด้วย แสดงว่าอุณหภูมิสูงมีผลในทางลบต่อน้ำมันบริสุทธิ์ แต่มีผล ทางบวกต่อน้ำมันที่ใช้แล้วเพราะ ทำให้มีความหนืดมาก ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้จะสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ ควรหลีกเลี่ยง การใช้อุณหภูมิที่มากกว่า จุดเดือดของแอลกอฮอล์ เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการเกิดสบู่ของกลีเซอไรด์ (L.C. Meher, Vidya S.S. Dharmagadda, 2006) ในการทดสอบระยะเวลาที่แตกต่างกัน พบว่าทุก อุณหภูมิมีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เฉลี่ยของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ 1 ชั่วโมง และมีการลดลงในช่วง 1.5 - 2.5 ชั่วโมง ในการใช้เวลาที่มากจะทำให้เกิดการไฮโดรลิซิสของเอสเตอร์ ทำให้ปริมาณเอสเตอร์ ลดลง มีกรดไขมันเพิ่มและเกิดสบู่ในที่สุด เวลาที่มากจะทำให้เกิดการไฮโดรลิซิสของเอสเตอร์ ทำให้ ปริมาณเอสเตอร์ลดลง มีกรดไขมันเพิ่มและเกิดสบู่ในที่สุด แต่ข้อดีในการใช้เวลาที่มากจะทำให้เป็น การเพิ่มการผสมกันของสารตั้งต้นและการกระจายตัวของเมทานอลในน้ำมัน (รัตนปณณท์, 2529) และอาจทำให้มีผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอริฟิเคชันเกิดอย่างสมบูรณ์มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา กล่าวคือ ถ้าใช้ อุณหภูมิสูง ระยะเวลาที่ใช้จะน้อย แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์จะใช้ เวลานานขึ้น การใช้ระยะเวลาที่มากจะทำให้เกิดการไฮโดรลิซิสของเอสเตอร์ ทำให้ปริมาณเอสเตอร์ ลดลง มีกรดไขมันเพิ่มและเกิดสบู่ในที่สุด เมื่อเวลาผ่านไปจะเริ่มเห็นสบู่มากขึ้น ดังนั้นต้องควบคุม ไม่ให้ใช้เวลานานเกินไปเนื่องจากจะไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาผกผัน ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ลดลงแต่ความ เข้มข้นของเมทิลเอสเตอร์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มการผสมกันของสารตั้ง ต้นและการกระจายตัวของเมทานอลในน้ำมัน (Attanatho L. , Magmee S., 2014) เมื่อนำเอา สภาวะที่มีค่าพื้นที่ของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่มากที่สุดเปรียบเทียบกับสภาวะ ที่มีค่าน้อยที่สุดในทางสถิติด้วยโดยใช้วิธีวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของ พื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด One Way Anova (ตารางที่ 17) พบว่าในการใช้อุณหภูมิและ ระยะเวลาต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.5 เพราะฉะนั้นการใช้อุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จึงเหมาะสมที่สุดใน การนำเอามาเป็นสภาวะในการผลิตไบโอดีเซล จาก น้ำมันปาล์มทอดไก่ที่มีแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเมื่อวิเคราะห์สาร

ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล พบว่า ตัวอย่างที่มีการใช้อุณหภูมิที่สูงจะพบปริมาณของ Hexadecanoic acid, methyl ester (C17) , Octadecanoic acid, methyl ester (C19) ที่สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีคุณภาพที่ดีมากขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ของการใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่ต่างกันด้วย One Way Anova

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
พื้นที่ของสารที่พบ * อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	Between Groups (Combined)	141.383	3	47.128	15.042	.000
	Within Groups	513.840	164	3.133		
	Total	655.223	167			

ตารางที่ 18 พื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ที่มีการใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (hr.)	จำนวนคาร์บอน	Mean	SD.	Minimum	Maximum	Total
อุณหภูมิห้อง	.50	C17	1.2067	.02082	1.19	1.23	2.4634
		C19	1.2567	.01528	1.24	1.27	
	1.00	C17	.8400	.03000	.81	.87	1.9167
		C19	1.0767	.04163	1.03	1.11	
	1.50	C17	1.3200	.02646	1.29	1.34	2.7867
		C19	1.4667	.02517	1.44	1.49	
	2.00	C17	.5200	.04583	.48	.57	1.01
		C19	.4900	.04000	.45	.53	
	2.50	C17	1.4633	.01155	1.45	1.47	3.38
		C19	1.9167	.05686	1.87	1.98	
	3.00	C17	3.5100	.03000	3.48	3.54	7.8933
		C19	4.3833	.10693	4.26	4.45	

ตารางที่ 18 พื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ที่มีการใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (hr.)	จำนวนคาร์บอน	Mean	SD.	Minimum	Maximum	Sum
55.00	.50	C17	.4333	.01528	.42	.45	0.8466
		C19	.4133	.00577	.41	.42	
	1.00	C17	.9933	.09713	.91	1.10	2.4333
		C19	1.4400	.03606	1.41	1.48	
	1.50	C17	.4300	.01732	.41	.44	0.86
		C19	.4300	.01000	.42	.44	
		C17	1.0333	.02082	1.01	1.05	
	2.00	C19	1.2100	.03606	1.18	1.25	3.7266
		C20	1.4833	.03055	1.45	1.51	
		C17	1.2400	.01732	1.23	1.26	
	2.50	C19	1.5200	.03464	1.50	1.56	3.1267
		C20	.3667	.01155	.36	.38	
		C20	.3667	.01155	.36	.38	
	3.00	C17	.3100	.01000	.30	.32	2.3766
		C19	.3033	.01528	.29	.32	
		C20	1.7633	.03055	1.73	1.79	
60.00	.50	C19	1.6567	.04163	1.61	1.69	4.2967
		C20	2.6400	.02646	2.61	2.66	
	1.00	C17	2.1067	.01528	2.09	2.12	4.99
		C19	2.8833	.07506	2.81	2.96	
	1.50	C19	.5333	.02082	.51	.55	3.5666
		C20	3.0333	.02082	3.01	3.05	
	2.00	C17	.2100	.02000	.19	.23	4.0734
		C19	.6567	.01528	.64	.67	
		C20	3.2067	.02517	3.18	3.23	

ตารางที่ 18 พื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ที่มีการใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่แตกต่างกัน (ต่อ)

อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (hr.)	จำนวนคาร์บอน	Mean	SD.	Minimum	Maximum	Sum
65.00	2.50	C19	.6867	.04509	.64	.73	3.1034
		C20	2.4167	.07024	2.35	2.49	
	3.00	C19	1.3200	.03606	1.29	1.36	3.3533
		C20	2.0333	0.2082	2.01	2.05	
		C19	.6400	.04583	.60	.69	
		C20	3.1367	.03055	3.11	3.17	
	1.00	C17	4.9200	.02646	4.90	4.95	11.8633
		C19	6.9433	.05859	6.90	7.01	
		C17	1.0967	.01528	1.08	1.11	
		C19	1.0400	.08718	.94	1.10	
	1.50	C19	1.0400	.08718	.94	1.10	4.67
		C20	2.5333	.01155	2.52	2.54	
		C17	1.7033	.02082	1.68	1.72	
		C19	1.8767	.12662	1.74	1.99	
	2.00	C20	2.8633	.06807	2.81	2.94	6.4433
		C17	1.7133	.01528	1.70	1.73	
	2.50	C19	1.8033	.12220	1.67	1.91	3.5166
		C17	8.2933	.24664	8.01	8.46	
	3.00	C19	11.2533	.09238	11.20	11.36	21.6266
		C20	2.0800	.08888	1.98	2.15	
		C17	8.2933	.24664	8.01	8.46	

* Condition in Biodiesel Production Process ; CaO 6% , Ratio 15 : 1 (Methanol : Oil)

Note : A = Hexadecanoic acid,methyl ester (C17) ,B = 8,11-Octadecadienoic acid, methyl ester (C19)
 C = 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (C19) , D = 9-Octadecenoic acid,methyl ester (C19)
 E = Octadecanoic acid, 6-hydroxy-, methyl ester (C19) , F = Octadecanoic acid, methyl ester (C19)
 G = Hexadecanoic acid, 2-propyl-, methyl ester (C20) , H = Octadecanoic acid 3-oxo,methyl ester (C19)

4.2.4 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์ต่อเถ้าซากไก่

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแคลเซียมออกไซด์ต่อเถ้าซากไก่ คือ 100:0 , 80:20 , 60:40 , 50:50 , 40:60 , 20:80 , 0:100 เมื่อทำการทดสอบกรดไขมันอิสระของน้ำมันไบโอดีเซล

ดีเซล (ตารางที่ 20) ซึ่งจากการทดสอบค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มทอดไก่ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีค่า 3.15 และเมื่อนำไปผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซล พบว่า การใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกต่อการใช้เถ้าซากไก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วน 0:100 พบพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ที่มากที่สุด คือ 88.31% และพบน้อยที่สุด ที่อัตราส่วน 80 : 20 คือ 67.85% ในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการใช้แคลเซียมออกไซด์เปรียบเทียบกับออกไซด์ของโลหะชนิดอื่นๆ นั้น ให้ร้อยละของผลได้ FAME ต่ำกว่า 50% ดังนั้นแคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ที่ดีที่สุดในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน แต่เนื่องจากน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้วมีปริมาณของกรดไขมันอิสระอยู่มาก ทำให้เมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์ซึ่งมีค่าความเป็นเบสมากจึงเกิดปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันขึ้นได้ผลผลิตเป็นสบู่ ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้วควรทำผ่านปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน คือ ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ และตามด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันตามลำดับ เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดสบู่ และเป็นการส่งผลทำให้ได้ร้อยละของผลได้ FAME มากขึ้นด้วยอีกทั้งแคลเซียมออกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์นั้น สามารถนำกลับมาใช้งานซ้ำได้ (สุกร และคณะ, 2552) แต่ในทุกอัตราส่วนยังคงสามารถให้ผลผลิตของน้ำมันไบโอดีเซลที่ไม่แตกต่างกันเมื่อวิเคราะห์ผลในทางสถิติด้วยโดยใช้วิธีวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด One Way Anova (ตารางที่ 21) เนื่องจากคุณสมบัติเบื้องต้นของทั้งสองตัวเร่งปฏิกิริยามาคุณสมบัติและองค์ประกอบของธาตุที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนต่างๆ จะพบปริมาณพื้นที่ของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ 67-88

ตารางที่ 19 ค่าสมบัติเบื้องต้นในน้ำมันไบโอดีเซล

ที่	ตัวอย่าง	น้ำหนักรวมของตัวเร่งปฏิกิริยา (4.84 กรัม) แคลเซียมออกไซด์ : เถ้าซากไก่	ปริมาณกรดไขมันอิสระ ในน้ำมันไบโอดีเซลด้วย เทคนิคการไตเตรต	ค่าความหนืดที่ 40 oC (cSt)
1	100 : 0	4.84 : 0	1.38	7.75
2	80 : 20	3.87 : 0.97	1.39	7.77
3	60 : 40	2.90 : 1.93	1.31	7.69
4	50 : 50	2.42 : 2.42	1.38	7.76
5	40 : 60	1.93 : 2.90	1.35	7.75
6	20 : 80	0.97 : 3.87	1.31	7.68
7	0 : 100	0 : 4.84	1.32	7.69

* Control ใช้แคลเซียมออกไซด์เกรดการค้าและน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ผ่านการใช้งานในการผลิตไบโอดีเซล

* กรมธุรกิจพลังงานกำหนดค่าความหนืดไว้ไม่เกิน 0.50 มิลลิกรัมไบโอดีเซลไฮดรอกไซด์/กรัม

* กรมธุรกิจพลังงานกำหนดค่าความหนืดไว้ไม่เกิน 3.5 - 5.0

ตารางที่ 20 พื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด มีการใช้อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน

อัตราส่วนของเปลือกไข่ต่อถั่วเหลือง	จำนวนคาร์บอน	Mean	SD.	Minimum	Maximum	Total
100:0	C15	.5067	.02517	.48	.53	71.74
	C17	29.4233	.55429	28.82	29.91	
	C19	41.7033	.60078	41.01	42.07	
	C21	.1033	.02082	.08	.12	
80:20	C15	.6033	.03055	.57	.63	67.85
	C17	26.8833	.09452	26.81	26.99	
	C19	39.4367	.60119	38.78	39.96	
	C21	.9233	.01528	.91	.94	
60:40	C15	.7167	.03055	.69	.75	86.97
	C17	35.3000	.41617	34.82	35.56	
	C19	50.2933	.45764	49.91	50.80	
	C21	.6633	.06110	.61	.73	
50:50	C15	.6167	.03055	.59	.65	77.98
	C17	31.1633	.07506	31.09	31.24	
	C19	46.2000	.39509	45.81	46.60	
	C21	.6067	.04509	.56	.65	
40:60	C17	34.0133	.13796	33.91	34.17	81.07
	C19	44.6867	.81193	43.75	45.19	
	C21	1.7633	.19140	1.56	1.94	
	C15	.7167	.04509	.67	.76	
20:80	C17	32.8267	.08737	32.73	32.90	84.53
	C19	50.9900	.05292	50.93	51.03	
	C15	.8533	.08145	.76	.91	
0:100	C17	34.7633	.11015	34.69	34.89	88.31
	C19	51.5867	.58620	50.91	51.94	
	C21	1.1067	.05859	1.04	1.15	
	C15	.8533	.08145	.76	.91	

* Condition in Biodiesel Production Process ; CaO 6% , Temperature 65°C , Times 1 Hours , Methanol : Oil 6:1

Note : A = Tetradecanoic acid, methyl ester (C15) , B = Hexadecanoic acid, methyl ester (C17)
 C = 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (C19) , D = 9-Octadecenoic acid, methyl ester (C19)
 E = 11,14,17-Eicosatrienoic acid, methyl ester (C21)

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ของการใช้อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่างกันด้วย One Way

Anova

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
พื้นที่ของสารที่พบ	Between Groups (Combined)	1005.691	6	167.615	.391	.882
* อัตราส่วนของ	Within Groups	30436.430	71	428.682		
เปลือกไขต่อถั่วขาว	Total	31442.121	77			
ไก่						

4.3 ศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำในการผลิตไบโอดีเซล

การศึกษาการนำเอาตัวเร่งปฏิกิริยาไบโอดีเซลมาใช้ซ้ำในการผลิตไบโอดีเซล จะนำเอาอัตราส่วนของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไขต่อถั่วขาวไก่ที่อัตราส่วน 0 : 100 ที่พบพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ที่มากที่สุดมาทำการทำปฏิกิริยาซ้ำ ซึ่งทำการนำเอาตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำ 3 รอบ จะได้ค่าพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด คือ 88.31% , 54.93 % และ 37.24% ตามลำดับ (ตารางที่ 23) ซึ่ง โดยค่าพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด มีแนวโน้มที่ลดลง แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ตามตารางประกอบ 22 เมื่อมีการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำหลายๆครั้ง ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกน้ำมันที่เป็นสารตั้งต้นเคลือบที่ผิวและมีลักษณะเป็นเจล ทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง การสัมผัสของสารตั้งต้นกับตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้น้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงจึงไม่สามารถทำให้เกิดหมู่ $-OCH_3$ เพื่อเข้าไปทำปฏิกิริยากับกลีเซอไรด์จากน้ำมันได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานครั้งแรก (Granados, M. López, M.D. Zafra Poves, D. Martín Alonso, R. Mariscal, F. Cabello Galisteo, R. Moreno-Tost, J. Santamaría, 2007) อีกทั้งยังพบว่าการสูญเสียปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาบางส่วนไปกับการเกิดปฏิกิริยาสaponification ที่จะทำให้เกิดเป็นสบู่ และมีปะปนอยู่ในไบโอดีเซลหลังจากขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากระบบจึงส่งผลต่ออัตราการเกิดสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ลดลงตามปริมาณการใช้ซ้ำที่มากขึ้น (M. Berrios, 2008)

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ของการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำในการผลิตไบโอดีเซลด้วย One Way Anova

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
พื้นที่ของสารที่พบ * จำนวนซ้ำ	Between Groups (Combined)	243.035	2	121.518	.421	
	Within Groups	6060.493	21	288.595	.662	
	Total	6303.529	23			

ตารางที่ 23 พื้นที่ร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่พบในร้อยละของพื้นที่ของสารประกอบทั้งหมด ที่มีการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำในการผลิตไบโอดีเซล

จำนวนซ้ำ	จำนวนคาร์บอนในไบโอดีเซล	Mean	SD.	Minimum	Maximum	Sum
0	C15	.7900	.08888	.72	.89	
	C17	34.6100	.62865	33.89	35.05	88.31
	C19	50.5567	1.20351	49.75	51.94	
	C21	.8567	.23692	.71	1.13	
1	C17	24.2367	.29569	23.98	24.56	54.93
	C19	30.2767	.10066	30.17	30.37	
2	C17	12.0233	.16042	11.87	12.19	
	C19	24.6000	.90736	23.56	25.23	

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

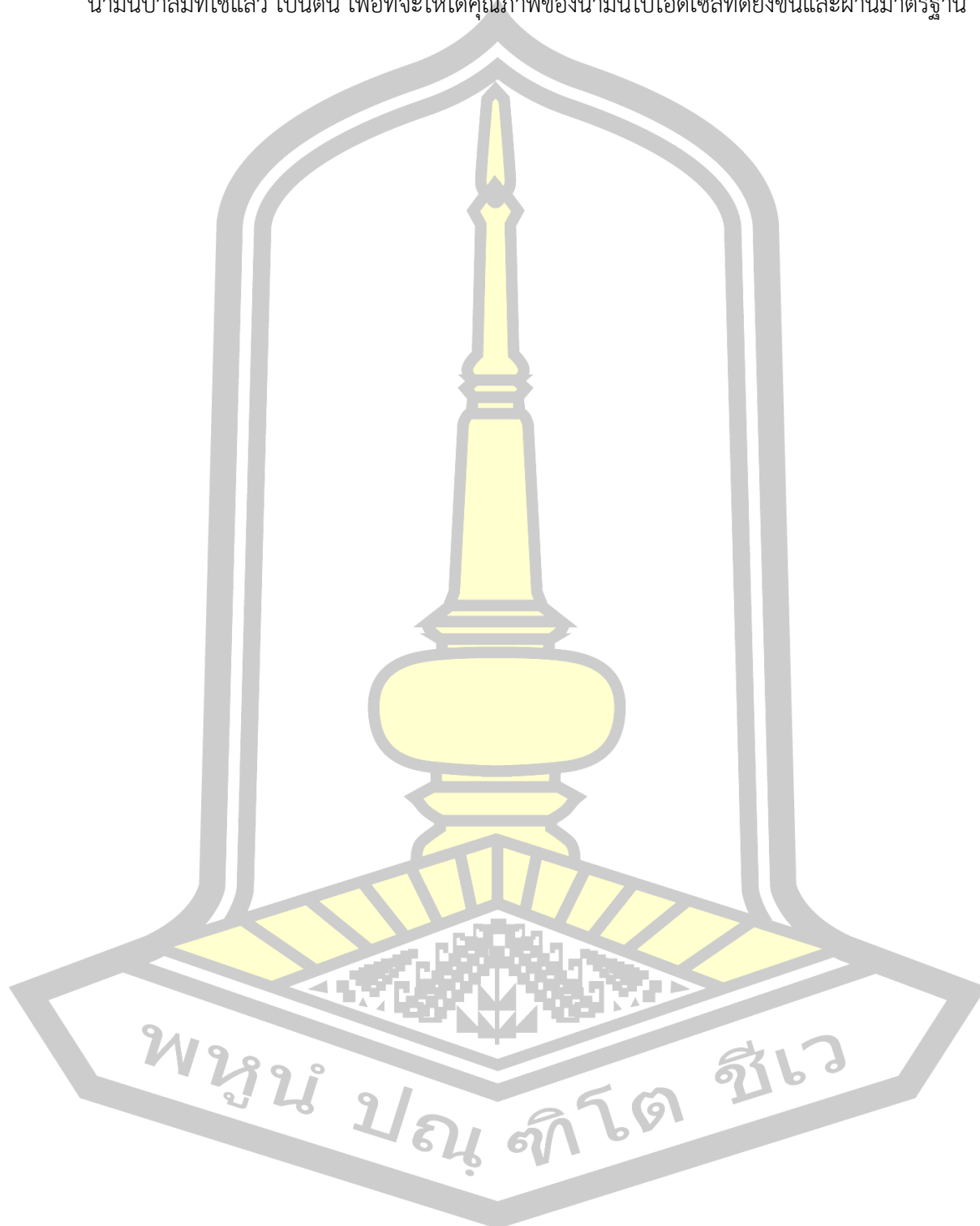
5.1 สรุปผลการวิจัย

1. แคลเซียมออกไซด์ที่ได้จากเปลือกไข่ มาจากการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งจะได้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นส่วนประกอบที่มากที่สุด 68.2 % w และมีความบริสุทธิ์สูงของ CaO (ประมาณ 98.0% w) และจะให้พื้นที่ผิว $14.9 \text{ m}^2/\text{g}$ (Teepakorn, 2015)
2. ถ้าหากใช้เปลือกไข่ที่อุณหภูมิใช้อุณหภูมิตามที่โรงงานใช้ในการเผาปกติ คือ 1300-1350 °F หรือประมาณ 700 °C
3. ปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล
 - 3.1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 6 % โดยน้ำหนัก
 - 3.2 อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน เท่ากับ 6 ต่อ 1 โดยโมล
 - 3.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส
 - 3.4 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง
 - 3.5 ในการใช้อัตราส่วนของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ให้ค่าของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถพบพื้นที่ของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลในร้อยละ 67 ถึง 88 แต่คุณภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาและน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว ยังเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญถึงคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้
4. ในการนำเอาตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จะต้องมีการฟื้นฟูและปรับสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพ แต่การนำเอาตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำโดยไม่มีการฟื้นฟูและปรับสภาพจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ลดลง

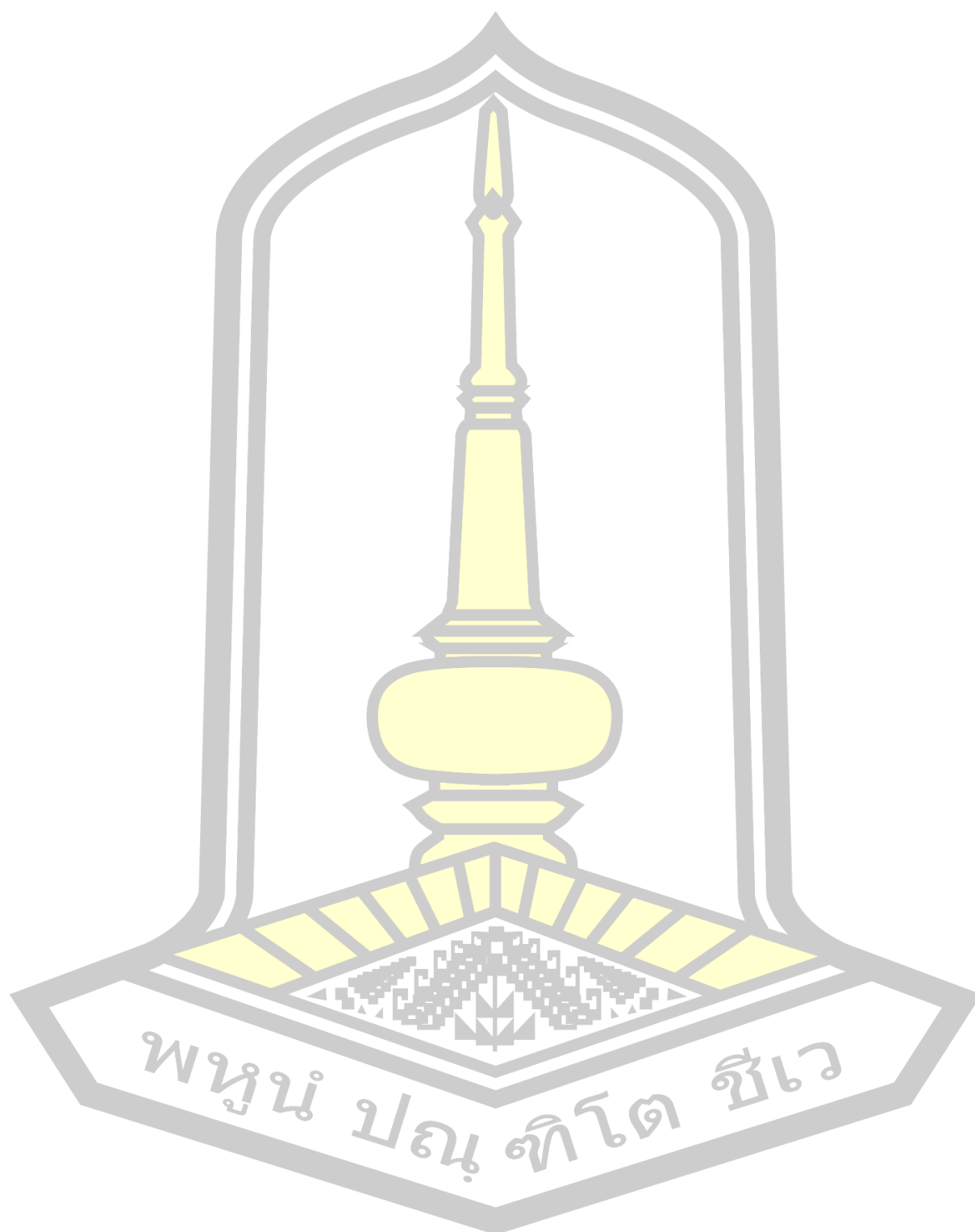
5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่มีแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่และถ้าหากใช้เปลือกไข่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล โดยวิเคราะห์การพื้นที่ที่พบของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลจากร้อยละของสารประกอบที่พบในน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเครื่องแกสโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, GCMS) โดยควรที่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมในการวิเคราะห์หาผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลหรือความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์พร้อมเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดเพื่อนำไปใช้งานได้จริง ควรมีการพัฒนา

และปรับปรุงในส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเพิ่มขึ้นตอนในการผลิต เช่น การกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว เป็นต้น เพื่อที่จะให้ได้คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ดียิ่งขึ้นและผ่านมาตรฐาน



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

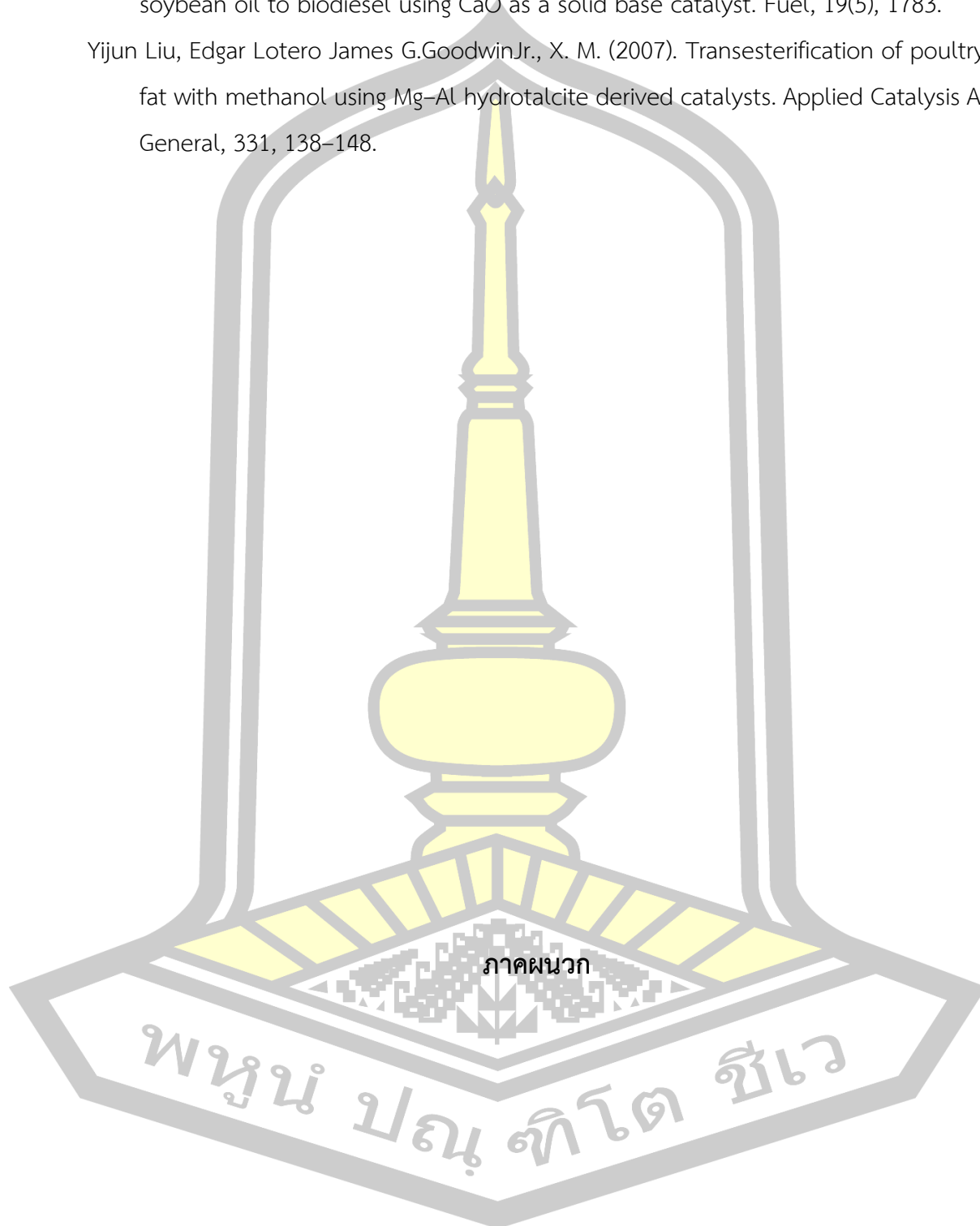
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2554). สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย. กลุ่มสถิติและข้อมูลพลังงาน ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- คณะกรรมการกิจการพลังงานสภาผู้แทนราษฎร. (2545). พลังงานทดแทนเอทานอลและไบโอดีเซล. พิมพ์ครั้งแรก .บริษัทแปลนกราฟฟิคจำกัด
- ณัฐชา สังข์ทอง อภิญญา โนนทิง. (2545). การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีแคลเซียมเป็นพื้นฐาน. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พัชรนันท์ ภูสกุล. (2554). ศึกษาการใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซลโดยมีการป้อนกลับแอลกอฮอล์. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นิธิยา รัตนพานนท์. (2529). วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพฯ. 83–87.
- วรวิมล จุฬาลักษณ์นกุล. (2548). การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการกระตุ้นด้วยเอนไซม์ไลเปส. Energy plus, (6), 24–27.
- วิชัย ดำรงโกคณัฒ. (2012). เทคโนโลยีการนำเปลือกไข่มาใช้ประโยชน์. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์, 11(2), 75–83.
- สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. (2543). สถานการณ์นโยบายและมาตรการพลังงานของไทยปี กรุงเทพฯ. 2544.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2553). สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2554. สำนักพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย นนทบุรี.
- สุกร บัญเย็น , พชรพร เทียมปานสมลักษณ์ เรื่องสุทินฤภาพ. (2556). การสังเคราะห์ตัวเร่งวิวิธพันธ์จาก เปลือกหอยเหลือทิ้งเพื่อใช้เตรียมไบโอดีเซล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 21(6). 526-532
- สุกร บัญเย็น , สมลักษณ์ เรื่องสุทินฤภาพ , ยุกา อำนวยภาณิช , ทศนีย์ ทัทกรี. (2552). ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์สำหรับไบโอดีเซลน้ำมันปาล์มและน้ำมันใช้แล้ว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปี ที่ 17(4). 23-28
- อนุชา พรหมวังขวา , ชัยชาญ ฤทธิกริกไกร. (2550). ไขประตูสู่ความรู้เรื่องไบโอดีเซล(1). วารสารโลกพลังงาน, 10(35), 49–56.

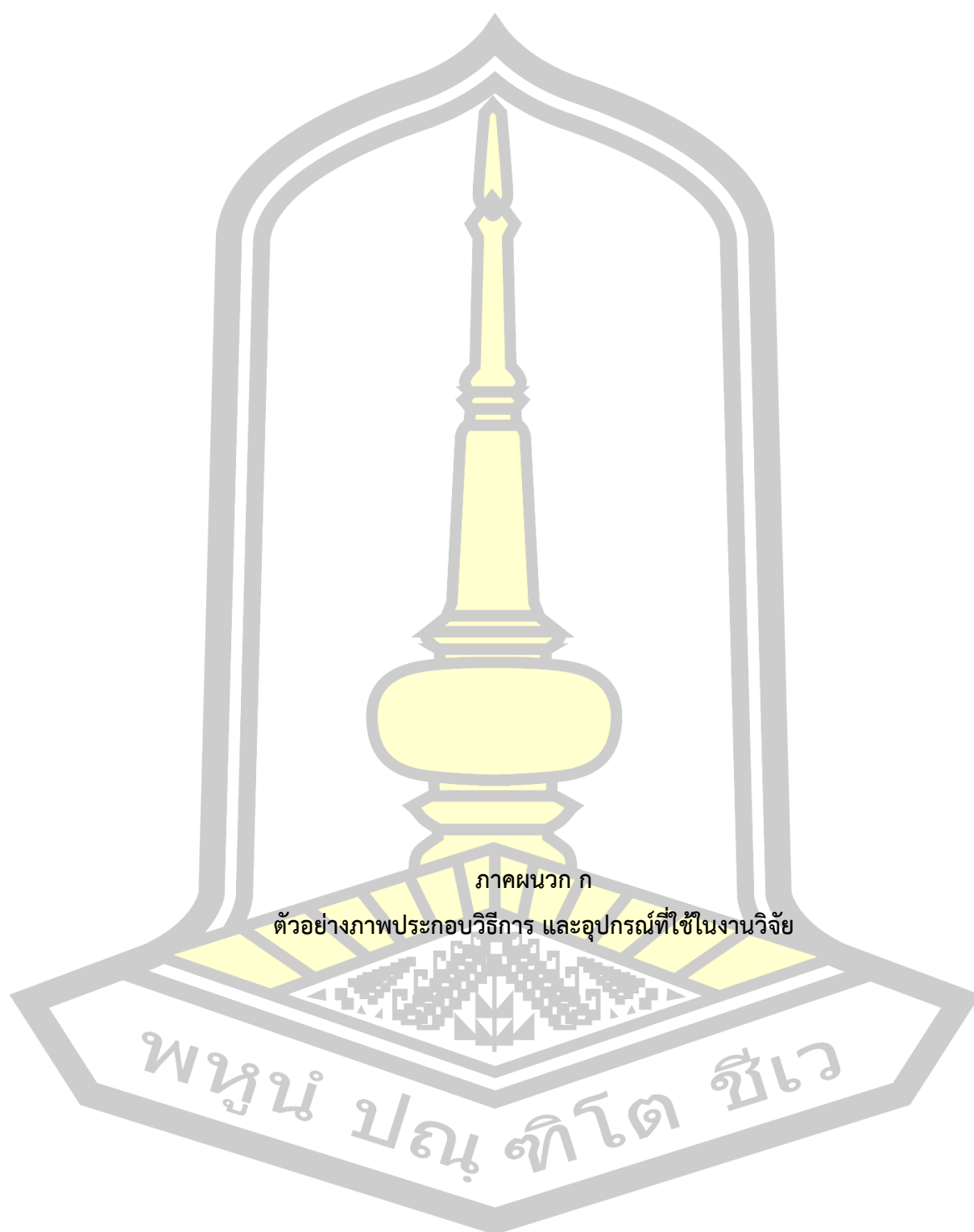
- อภิญา วัฒนา. (2551). การศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันและการประเมินศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดส้มโอ. ปรินญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 46.
- อากรณ พุกอ่อน , กันยารัตน์ นวมโคกสูง. (2555). การสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ที่เตรียมด้วยวิธีทางเคมีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 31(6). 817-827
- Ahmet Necati Ozsezen, M. C. (2008). Effects of Biodiesel from Used Frying Palm Oil on the Performance, Injection, and Combustion Characteristics of an Indirect Injection Diesel Engine. *Energy Fuels*, 22(2), 1297–1305.
- Attanatho L. , Magmee S., J. (2014). Factors Affecting the Synthesis of Biodiesel from Crude Palm Kernel Oil. The Joint International Conference on “Sustainable Energy and Environment., 359–361.
- Berrios M., R. L. S. (2008). Comparison of purification methods for biodiesel. *Chemical Engineering Journal*, 144(3), 459–465.
- Bronner, F. (ม.ป.ป.). Dynamics and function of calcium, In *Mineral Metabolism*. Academic Press: New York, 341–344.
- Brunschwig C., W. Moussavou, J. B. (2012). Use of bioethanol for biodiesel production. *Progress in Energy and Combustion Science*, 38(2), 283–301.
- D.Y.C.Leung, Y. G. (2006). transesterification of neat and used frying oil : Optimization for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*, 87(10), 883–890.
- Deepak Agarwal , Shailendra Sinha, A. K. A. (2006). Experimental investigation of control of NOx emissions in biodiesel-fueled compression ignition engine. *Renewable Energy*, 31(14), 2356–2369.
- Edgar Lotero, Yijun Liu, Dora E. Lopez, Kaewta Suwannakarn, David A. Bruce, and J. G. G. (2005). Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(14), 5353–5363.
- Freedman B., E. H. Pryde, T. L. M. (1984). Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists Society.*, 61(10), 1638–1643.
- Granados, M. López, M.D. Zafra Poves, D. Martín Alonso, R. Mariscal, F. Cabello

- Galisteo, R. Moreno-Tost, J. Santamaría, J. L. G. F. (2007). Biodiesel from sunflower oil by using activated calcium oxide. *Applied Catalysis B: Environmental*, 73(3–4), 317–326.
- Jaturong Jitputti , Boon YarachKitiyanan , Pramoch Rangsunvigit , Kunchana Bunyakiat , Lalita Attanatho, P. J. (2006). Transesterification of crude palm kernel oil and crude coconut oil by different solid catalysts. *Chemical Engineering Journal*, 116(1), 61–66.
- Meher L.C., Vidya S.S. Dharmagadda, S. N. N. (2006). Optimization of alkali-catalyzed transesterification of *Pongamia pinnata* oil for production of biodiesel. *Bioresource Technology*, 97(12), 1392–1397.
- Probst, Y. (2009). Nutrient values for Australian and overseas chicken meat. *Nutrition & Food Science*, 39(6), 685–693.
- Pugnet Véronique , Sylvie Maury , Vincent Coupard , A. Dandeu , Anne-Agathe Quoineaud , Jean-Louis Bonneau, D. T. (2010). Stability, activity and selectivity study of a zinc aluminate heterogeneous catalyst for the transesterification of vegetable oil in batch reactor. *Applied Catalysis A: General*, 374(1–2), 71–78.
- Robert T. Burns. (2000). Using Incinerators for Poultry Mortality Management.
- Teepakorn Pornchai , Ajchara Imkum Putkham, A. P. (2559). Effect of Calcination Time on Physical and Chemical Properties of CaO- catalyst Derived from Industrial-eggshell Wastes. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 35(6), 693–273.
- Umer Rashid, F. A. (2008). Production of biodiesel through optimized alkaline-catalyzed transesterification of rapeseed oil. *Fuel Processing Technology*, 87(3), 265–273.
- Victor T. Wyatt , Melissa A. Hess , Robert O. Dunn , Thomas A. Foglia , Michael J. Haas, W. N. M. (2005). Fuel properties and nitrogen oxide emission levels of biodiesel produced from animal fats. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 82(8), 585–591.
- Witchakorn Charusiri, T. V. (2005). Kinetic Study of Used Vegetable Oil to Liquid Fuels over Sulfated Zirconia. *Energy & Fuels*, 19(5), 1783–1789.

Xuejun Liu, Huayang He, Yujun Wang , Shenlin Zhu, X. P. (2008). Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst. Fuel, 19(5), 1783.

Yijun Liu, Edgar Lotero James G. Goodwin Jr., X. M. (2007). Transesterification of poultry fat with methanol using Mg–Al hydrotalcite derived catalysts. Applied Catalysis A: General, 331, 138–148.







ภาคผนวก ก-1 อุปกรณ์เครื่องแก้วชนิดต่างๆ

พูน ปณ ทิโต ชีเว



ภาคผนวก ก-2 เตาให้ความร้อน (Muffle furnace)



ภาคผนวก ก-3 ตะแกรงร่อน ขนาดต่างๆ

พหุพันธ์ บัณฑิตศึกษา



ภาคผนวก ก-4 เครื่องชั่งสารทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Weight Balance)



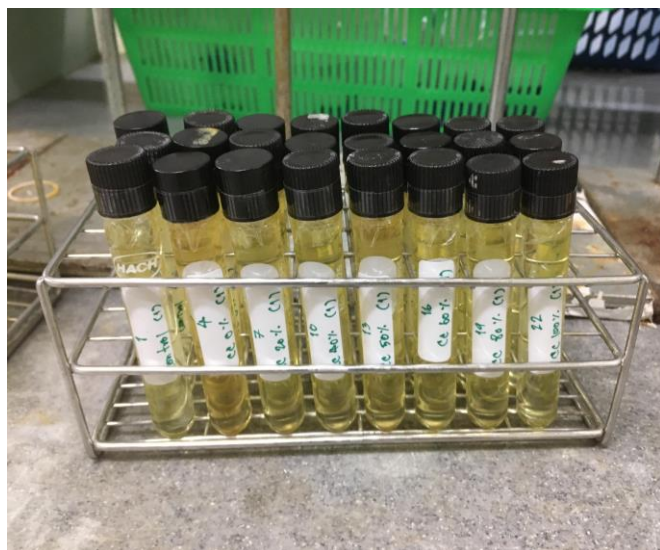
ภาคผนวก ก-5 เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Pump)



ภาคผนวก ก-6 เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)



ภาคผนวก ก-7 เครื่องกวนสาร พร้อมให้ความร้อน (Hotplate Stirrer)



ภาคผนวก ก-8 ขวดเก็บตัวอย่าง



ภาคผนวก ก-9 ตู้ดูดความชื้น



ภาคผนวก ก-10 น้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว



ภาคผนวก ก-11 เปลือกไข่



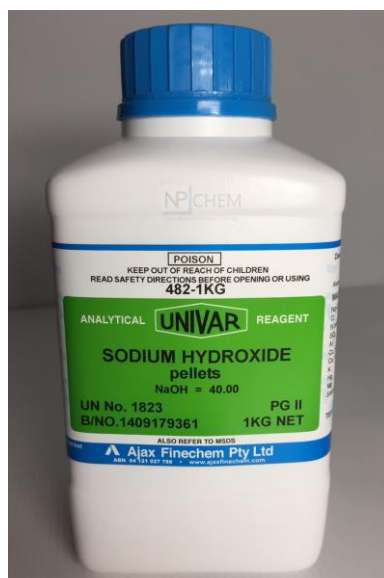
ภาคผนวก ก-12 ถ้ำซากไก่



ภาคผนวก ก-13 เมทานอล (Methanol)



ภาคผนวก ก-14 แคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์

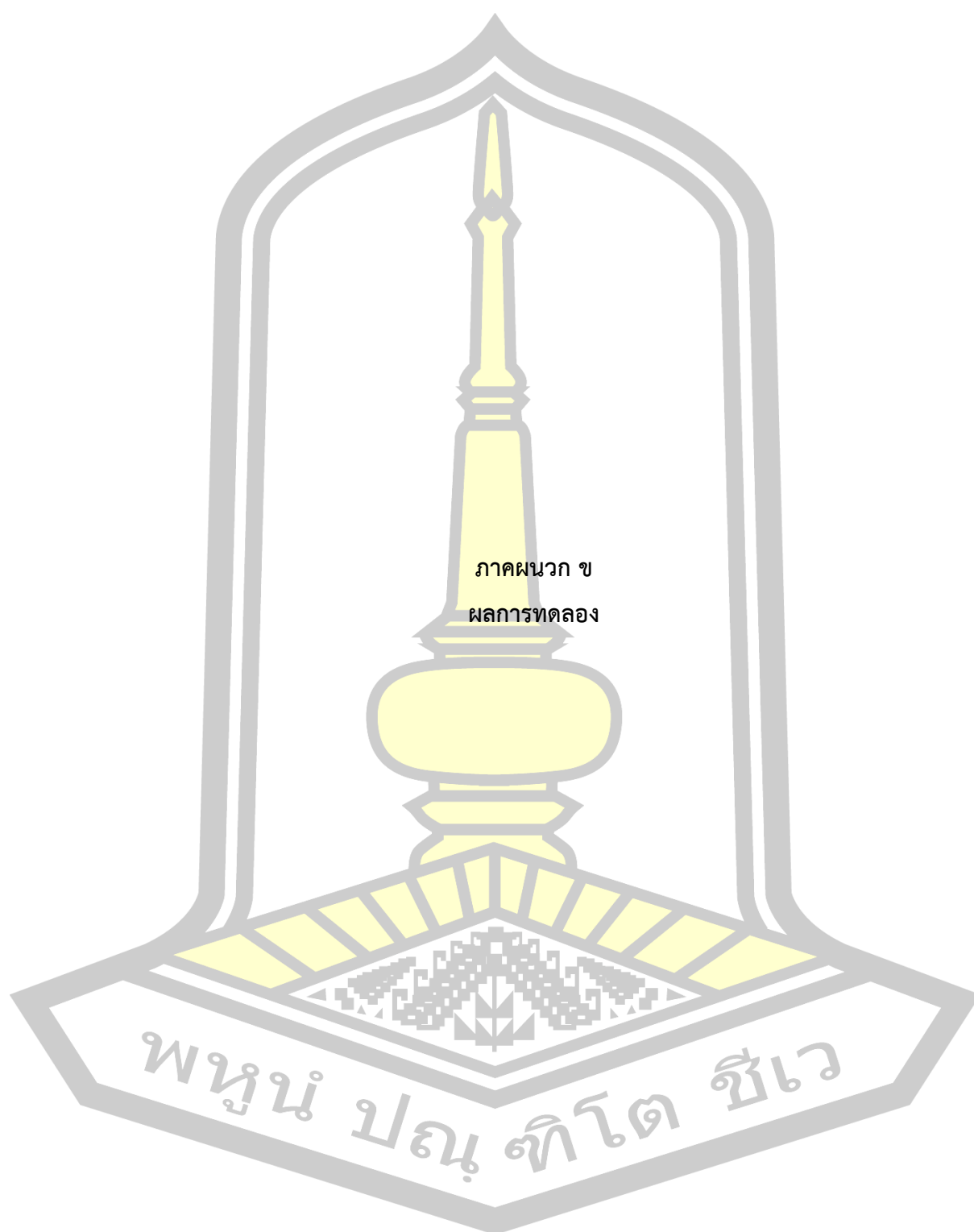


ภาคผนวก ก-15 โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์



ภาคผนวก ก-16 เครื่อง Gas Chromatograph -Mass Spectrometer
(GC-MS Shimadzu QP2010)





ภาคผนวก ข-1 ปริมาณของสารประกอบที่พบในน้ำมันไบโอดีเซลที่มีการใช้แคลเซียมออกไซด์ต่างกัน

No	Volatile compound	R.T	Base peak (m/z)	Area (%)							
				0	1	2	3	4	5	6	7
1	3-Methylpentane	3.539	57.10	-	-	-	0.06	-	-	-	-
2	1-Methylethylcyclopropane	6.130	81.00	0.23	1.23	-	-	-	-	0.34	0.66
3	2,4-Decadienal,trans,trans-2,4-Decadienal	6.650	81.00	0.52	-	0.69	0.38	4.28	3.64	0.61	1.77
4	2-Undecenal (CAS) Undec-2-enal	7.739	43.05	-	-	-	-	-	-	0.26	0.59
5	1,3-Dimethylcyclopentane	7.748	43.05	-	-	-	-	-	-	-	0.85
6	Cyclooctasiloxane, hexadecamethyl	16.671	73.00	-	0.23	-	-	-	0.21	-	0.57
7	9-Octadecene	17.228	55.05	-	-	-	-	0.51	0.36	-	-
8	Cyclononasiloxane, octadecamethyl	22.086	73.05	-	-	-	-	0.18	-	-	0.61
9	1H-Purin-6-amine, [(2-fluorophenyl)methyl]	22.143	73.00	-	0.28	-	-	-	-	-	-
10	Hexadecanoic acid,methyl ester (C17)	25.835	74.00	0.17	0.62	1.49	3.01	3.44	4.90	4.88	2.02
11	n-Hexadecanoic acid	27.393	60.00	20.94	25.42	30.04	48.38	43.97	42.60	20.17	28.03
12	Dodecanoic acid, 2,4,6-trimethyl-, methyl ester(C16)	27.533	43.10	-	-	7.44	-	-	-	-	-
13	Glycine	27.775	57.05	2.51	-	-	-	-	-	-	-
14	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (C19)	31.069	67.05	-	-	0.36	0.78	1.17	2.16	1.99	0.66
15	9-Octadecenoic acid,methyl ester (C19)	31.435	43.05	0.15	0.54	1.63	3.26	3.85	6.11	5.48	2.29
16	Tetracos methyl cyclododecasil	31.924	73.00	-	0.41	-	-	-	-	-	0.74
17	Octadecanoic acid,methyl ester (C19)	32.076	74.05	-	-	-	-	0.34	0.56	0.62	-
18	Heptadecanoic acid, 15-methyl-, methyl ester (C19)	32.076	7410	-	-	0.26	0.37	-	-	-	-
19	Heptadecene-(8)-Carbonix Acid	32.841	55.05	-	56.75	-	-	18.62	-	-	40.18
20	Oleic Acid	32.970	55.05	49.80	-	16.94	21.64	-	14.52	44.71	-
21	Ether, dodecyl isopropyl	32.967	54.05	-	-	2.78	-	-	-	-	-
22	Octadecanoic acid	33.662	57.05	9.13	1.00	-	-	-	-	8.50	-
23	Cyclononasiloxane	36.231	73.00	-	-	-	-	-	-	-	0.54
24	Dodecanoyl chloride	37.146	57.10	-	-	0.55	-	-	1.47	-	-
25	Decanoic acid, 2-oxo-, methyl ester (C11)	37.158	57.10	-	-	-	0.85	-	-	-	-
26	Hexadecanoic acid	37.349	57.05	1.18	1.32	-	-	0.81	-	1.43	2.87
27	Hexadecanoic acid, 2-propyl-, methyl ester (C20)	37.456	129.05	-	-	-	1.48	1.95	3.32	1.70	-
28	Glycidol stearate	37.672	129.05	1.98	1.08	1.35	-	-	-	-	1.52
29	2,5-Furandione, 3-(dodecenyl) dihydro	38.359	41.00	-	0.37	-	-	-	-	-	-
30	Oleoyl chloride	38.345	55.05	1.04	0.72	-	-	-	-	-	1.17
31	Octadeca methyl cyclononasil oxane	40.227	73.00	-	0.67	-	-	-	-	-	0.67
32	Dodecanoic acid, 1,2,3-propanetriyl ester	41.191	57.10	-	-	4.67	-	-	-	-	-
33	Di-(9-Octadecenoyl)-Glycerol	42.123	55.05	-	-	11.31	-	3.50	4.73	-	-
34	9-Octadecenal	42.332	55.05	3.45	3.27	-	2.90	-	-	-	4.51
35	13-Octadecenal	42.358	-	-	-	-	-	-	-	3.43	-
36	Cyclohexanecarboxylic acid, heptadecyl ester	42.659	129.05	-	5.18	13.19	3.43	6.31	7.15	4.64	2.76
37	Tetracosanoic acid	43.650	57.05	7.87	-	-	1.71	-	-	-	-
38	11-Hexacosyne	43.942	96.05	-	-	-	2.12	-	-	-	-
39	Z)14-Tricosenyl formate	43.967	96.10	-	-	-	-	1.87	-	-	-
40	Cyclononasiloxane, octadecamethyl	43.984	73.00	-	0.46	-	-	-	-	-	2.31
41	Triacontane, 1-Bromo	44.091	57.05	-	-	-	4.28	-	-	-	-
42	Stigmasta-7,22-dien-3-ol, acetate	44.145	313.20	-	-	7.31	-	-	-	-	-
43	Linoleic acid	46.901	55.05	-	-	-	3.52	2.17	0.85	-	-
44	1H-Purin-6-amine, [(2-fluorophenyl)methyl]- (CAS)	52.584	73.05	-	0.37	-	-	-	-	-	1.61
45	2,6,10,14,18,22-Tetracosahexaene	52.965	69.05	-	-	-	1.81	7.01	7.43	1.25	3.07
46	1H-Indene, 2-butyl-4-hexyloctahydro	53.067	69.05	1.03	0.07	-	-	-	-	-	-
Total Compound				14	19	14	17	16	15	15	22
Percent Area of FAME (C12-C22) (%)				0.32	1.16	11.18	8.9	10.75	17.05	14.67	4.97

* Condition in Biodiesel Production Process ; Ratio 15 : 1 (Methanol : Cooking Oil) , Temperature 65°C , Times 1 Hours

ภาคผนวก ข-2 ค่าเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของพื้นที่ของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลในแต่ละปริมาณการใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ (%)

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	175.225	7	25.032	7.518	.000
Within Groups	183.138	55	3.330		
Total	358.363	62			

Post Hoc Tests

(I) ปริมาณ แคลเซียม ออกไซด์	(J) ปริมาณ แคลเซียม ออกไซด์	95% Confidence Interval				
		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
0%	1%	-.41333	1.05353	1.000	-4.5301	3.7034
	2%	-3.52889	.96174	.083	-7.2870	.2292
	3%	-2.78778	.96174	.318	-6.5459	.9703
	4%	-3.27333	.96174	.140	-7.0314	.4847
	5%	-5.39222*	.96174	.001	-9.1503	-1.6341
	6%	-4.69000*	.96174	.004	-8.4481	-.9319
	7%	-2.61500	1.05353	.528	-6.7318	1.5018
1%	0%	.41333	1.05353	1.000	-3.7034	4.5301
	2%	-3.11556	.96174	.187	-6.8736	.6425
	3%	-2.37444	.96174	.535	-6.1325	1.3836
	4%	-2.86000	.96174	.286	-6.6181	.8981
	5%	-4.97889*	.96174	.002	-8.7370	-1.2208
	6%	-4.27667*	.96174	.014	-8.0347	-.5186
	7%	-2.20167	1.05353	.734	-6.3184	1.9151

ภาคผนวก ข-2 ค่าเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของพื้นที่ของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลในแต่ละปริมาณการใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ (%) (ต่อ)

(I) ปริมาณ แคลเซียม ออกไซด์	(J) ปริมาณ แคลเซียม ออกไซด์	95% Confidence Interval				
		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
2%	0%	3.52889	.96174	.083	-.2292	7.2870
	1%	3.11556	.96174	.187	-.6425	6.8736
	3%	.74111	.86020	.998	-2.6202	4.1024
	4%	.25556	.86020	1.000	-3.1058	3.6169
	5%	-1.86333	.86020	.696	-5.2247	1.4980
	6%	-1.16111	.86020	.967	-4.5224	2.2002
	7%	.91389	.96174	.996	-2.8442	4.6720
3%	0%	2.78778	.96174	.318	-.9703	6.5459
	1%	2.37444	.96174	.535	-1.3836	6.1325
	2%	-.74111	.86020	.998	-4.1024	2.6202
	4%	-.48556	.86020	1.000	-3.8469	2.8758
	5%	-2.60444	.86020	.263	-5.9658	.7569
	6%	-1.90222	.86020	.673	-5.2636	1.4591
	7%	.17278	.96174	1.000	-3.5853	3.9309
4%	0%	3.27333	.96174	.140	-.4847	7.0314
	1%	2.86000	.96174	.286	-.8981	6.6181
	2%	-.25556	.86020	1.000	-3.6169	3.1058
	3%	.48556	.86020	1.000	-2.8758	3.8469
	5%	-2.11889	.86020	.538	-5.4802	1.2424
	6%	-1.41667	.86020	.906	-4.7780	1.9447
	7%	.65833	.96174	.999	-3.0997	4.4164

ภาคผนวก ข-2 ค่าเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของพื้นที่ของสารผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลในแต่ละปริมาณการใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ (%) (ต่อ)

(I) ปริมาณ แคลเซียม ออกไซด์	(J) ปริมาณ แคลเซียม ออกไซด์	95% Confidence Interval				
		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
5%	0%	5.39222*	.96174	.001	1.6341	9.1503
	1%	4.97889*	.96174	.002	1.2208	8.7370
	2%	1.86333	.86020	.696	-1.4980	5.2247
	3%	2.60444	.86020	.263	-.7569	5.9658
	4%	2.11889	.86020	.538	-1.2424	5.4802
	6%	.70222	.86020	.998	-2.6591	4.0636
	7%	2.77722	.96174	.323	-.9809	6.5353
6%	0%	4.69000*	.96174	.004	.9319	8.4481
	1%	4.27667*	.96174	.014	.5186	8.0347
	2%	1.16111	.86020	.967	-2.2002	4.5224
	3%	1.90222	.86020	.673	-1.4591	5.2636
	4%	1.41667	.86020	.906	-1.9447	4.7780
	5%	-.70222	.86020	.998	-4.0636	2.6591
	7%	2.07500	.96174	.700	-1.6831	5.8331
7%	0%	2.61500	1.05353	.528	-1.5018	6.7318
	1%	2.20167	1.05353	.734	-1.9151	6.3184
	2%	-.91389	.96174	.996	-4.6720	2.8442
	3%	-.17278	.96174	1.000	-3.9309	3.5853
	4%	-.65833	.96174	.999	-4.4164	3.0997
	5%	-2.77722	.96174	.323	-6.5353	.9809
	6%	-2.07500	.96174	.700	-5.8331	1.6831

ภาคผนวก ข-3 ปริมาณของสารประกอบที่พบในน้ำมันไบโอดีเซลที่มีการใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วต่างกัน

No	Volatile compound	R.T	Base peak (m/z)	Area (%)			
				6:1	9:1	12:1	15:1
1	2,4-Decadienal,trans,trans-2,4-Decadienal	5.993	81.05	4.18	4.91	5.37	6.65
2	Hexadecane	11.119	57.05	-	-	-	0.18
3	Cyclohexadecane	16.911	55.05	-	-	0.29	0.26
4	Hexadecanoic acid,methyl ester (C17)	25.439	74.00	4.95	4.02	4.66	4.98
5	n-Hexadecanoic acid	26.807	73.00	7.99	9.59	11.08	12.87
6	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (C19)	30.808	67.05	1.02	0.88	1.00	1.01
7	9-Octadecenoic acid,methyl ester (C19)	30.900	55.05	5.50	4.45	5.22	5.47
8	Octadecanoic acid, methyl ester (C19)	31.814	74.00	0.49	0.35	0.43	0.56
9	Linoleic acid	32.200	81.05	0.51	-	-	-
10	Oleic Acid	32.358	83.05	7.01	9.40	11.40	12.60
11	9-Octadecenoic acid (Z)-, tetradecyl ester	32.970	55.05	0.11	-	-	-
12	Stearic acid	33.073	73.00	0.35	-	-	-
13	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	34.825	43.05	0.67	0.67	0.61	1.23
14	Octadecanedioic acid	36.525	55.05	0.23	4.41	5.20	5.43
15	Hexadecanoic acid, 1-(hydroxymethyl)-1,2-ethanediyl ester	36.877	57.05	2.84	-	-	-
16	2-Octadecyloxyethanol	36.967	313.15	-	0.24	-	-
17	9-Octadecenoic acid (Z)-, 2,3-dihydroxypropyl ester	37.042	55.05	0.02	-	-	-
18	Oleoyl chloride	40.442	262.10	0.76	1.02	0.94	0.93
19	9-Octadecenoic acid (Z)- (CAS) Oleic acid	41.363	55.05	-	0.35	-	0.25
20	DI-(9-OCTADECENOYL)-GLYCEROL	41.392	55.05	-	-	0.34	-
21	Propyleneglycol monoleate	41.392	55.05	0.33	-	-	-
22	Linoleic acid	41.625	67.05	0.26	0.49	0.56	0.53
23	9-Octadecenal	41.778	55.05	-	-	10.98	11.81
24	Formamide	41.790	130.00	15.52	13.41	-	-
25	1H-Indene, 1-hexadecyl-2,3-dihydro- (CAS) 1-N-HEXADECYLINDANE	42.317	117.00	19.38	17.23	18.51	12.52
26	3-[3-(1,5-Dimethylhexyl)-7-(2-hydroxy-1-methylethyl)	45.358	387.20	1.69	1.39	3.05	4.23
27	Octacosanoic acid, 2,4,6,8-tetramethyl-, methyl ester (C33)	45.492	55.05	0.09	-	-	-
28	1-Cyclohexyldimethylsilyloxybutane	46.462	131.00	9.09	6.08	4.20	2.88
29	Linoleic acid	46.901	55.05	-	-	0.58	-
30	Oleic acid, trimethylsilyl ester	46.967	131.10	11.44	13.19	9.70	8.06
31	Lanostan-11-one, 3-(acetoxy)-,	50.572	149.00	0.80	1.75	-	-
32	2,6,10,14,18,22-Tetracosahexaene	52.124	69.05	4.76	5.56	5.89	6.90
Total Compound				25	20	20	20
Percent Area of FAME (C12-C22) (%)				11.96	9.7	11.31	12.02

* Condition in Biodiesel Production Process ; CaO 6% , Temperature 65°C , Times 1 Hours

ภาคผนวก ข-4 พื้นที่ของสารประกอบที่พบในน้ำมันไบโอดีเซลในอุณหภูมิต่างๆ

No	Volatile compound	R.T	Base peak (m/z)	Area (%)				
				อุณหภูมิห้อง	55°C	60°C	65 °C	70 °C
1	2-Decenal	5.286	43.05	-	0.32	-	-	-
2	2,4-Decadienal,trans,trans-2,4-Decadienal	5.993	81.05	4.48	3.80	3.69	4.18	4.20
3	2-Undecenal	7.438	55.05	-	0.29	-	-	-
4	Tetrahydrocyclopenta[1,3]dioxin-4-one	7.835	68.00	-	0.17	-	-	-
5	Tetratriacontane, 17-hexadecyl	11.044	57.05	-	0.16	-	-	-
6	Pentadecane	11.081	57.10	-	-	-	-	0.18
7	8-Heptadecene	16.960	55.05	-	0.22	0.17	-	0.25
8	Tetradecanoic acid	20.032	73.05	-	0.22	-	-	-
9	Hexadecanoic acid,methyl ester (C17)	25.439	74.00	0.87	1.10	2.11	4.95	4.28
10	Hexadecanoic acid (CAS) Palmitic acid	26.807	73.00	27.54	17.65	22.93	7.99	17.53
11	8,11-Octadecadienoic acid, methyl ester (C19)	30.682	67.05	-	-	-	-	-
12	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (C19)	30.808	67.05	0.16	0.19	0.37	1.02	0.81
13	9-Octadecenoic acid,methyl ester (C19)	30.900	55.05	0.93	1.08	2.37	5.50	4.77
14	Octadecanoic acid, 6-hydroxy-, methyl ester (C19)	30.999	85.10	-	0.12	-	-	-
15	Tetracosamethyl-cyclododecasiloxane	31.558	355.05	-	-	-	-	0.04
16	Octadecanoic acid, methyl ester (C19)	31.814	74.00	-	0.09	0.22	0.49	0.33
17	Oleic Acid	32.358	83.05	36.01	24.34	32.31	7.01	28.57
18	9-Octadecenoic acid (Z)-, tetradecyl ester	32.970	55.05	-	-	-	0.11	-
19	Octadecanoic acid (CAS) Stearic acid	33.073	73.00	4.89	-	4.74	-	-
20	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	34.825	43.05	0.94	7.65	7.87	0.67	1.87
21	Cyclononasiloxane, octadecamethyl	35.867	73.05	-	-	-	-	0.15
22	Octadecanedioic acid	36.525	55.05	2.74	3.18	-	0.23	4.03
23	Hexadecanoic acid, 1-(hydroxymethyl)-1,2-ethanediyl ester	36.877	57.05	-	-	-	2.84	0.95
24	Stearic anhydride	36.922	55.05	-	3.86	3.90	0.35	4.70
25	Hexadecanoic acid, 2-propyl-, methyl ester (C20)	37.347	129.10	-	-	0.88	-	-
26	Oleoyl chloride	40.442	262.10	0.63	2.16	4.39	0.76	0.61
27	DI-(9-OCTADECENOYL)-GLYCEROL	41.392	55.05	-	-	-	-	-
28	Propyleneglycol monooleate	41.392	55.05	-	-	-	0.33	-
29	Linoleic acid	41.625	67.05	-	0.12	-	0.77	13.34
30	9-Octadecenal	41.778	55.05	6.80	8.39	7.63	-	6.93
31	Formamide	41.790	130.00	-	-	-	15.52	-
32	Cyclohexanecarboxylic acid, butyl ester	42.305	129.10	-	-	0.36	-	-
33	1H-Indene, 1-hexadecyl-2,3-dihydro- (CAS) 1-N-	42.317	117.00	4.68	10.69	-	19.38	0.12
34	HEXADECYLINDANE	42.459	117.00	-	-	-	-	-
35	Glycidol stearate	45.358	387.20	0.28	0.36	-	1.69	-
36	3-[3-(1,5-Dimethylhexyl)-7-(2-hydroxy-1-methylethyl)]	45.492	55.05	-	-	-	0.09	-
37	Octacosanoic acid, 2,4,6,8-tetramethyl-, methyl ester (C33)	45.808	43.05	-	-	-	-	-
38	Hexadecanoic acid, (3-bromoprop-2-ynyl) ester	46.462	131.00	1.07	2.49	-	9.09	-
39	1-Cyclohexyldimethylsilyloxybutane	46.967	131.10	1.45	6.17	-	11.44	1.45
40	Oleic acid, trimethylsilyl ester	47.025	117.00	-	-	-	-	0.30
41	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, trimethylsilyl ester	47.291	355.00	-	-	-	-	0.19
42	Tetracosamethyl-cyclododecasiloxane Decyl sulfide	49.757	173.05	1.71	2.14	1.61	-	0.75
43	Lanostan-11-one, 3-(acetyloxy)	50.572	69.05	-	-	-	0.80	-
44	2,6,10,14,18,22-Tetracosahexaene	52.124	69.05	3.00	3.16	2.59	4.76	3.41
45	4-Trifluoromethylbenzoic acid, dodecyl ester	57.883	55.05	1.81	-	1.88	-	-
Total Compound				18	26	18	23	24
Percent Area of FAME (C12-C22) (%)				1.96	2.58	5.95	11.96	10.19

* Condition in Biodiesel Production Process ; CaO 6% , 6:1 (Methanol : Oil) , Times 1 Hours

ภาคผนวก ข-5 พื้นที่ของสารประกอบที่พบในน้ำมันไบโอดีเซลที่มีการใช้อุณหภูมิห้องในระยะเวลา
ต่างๆ

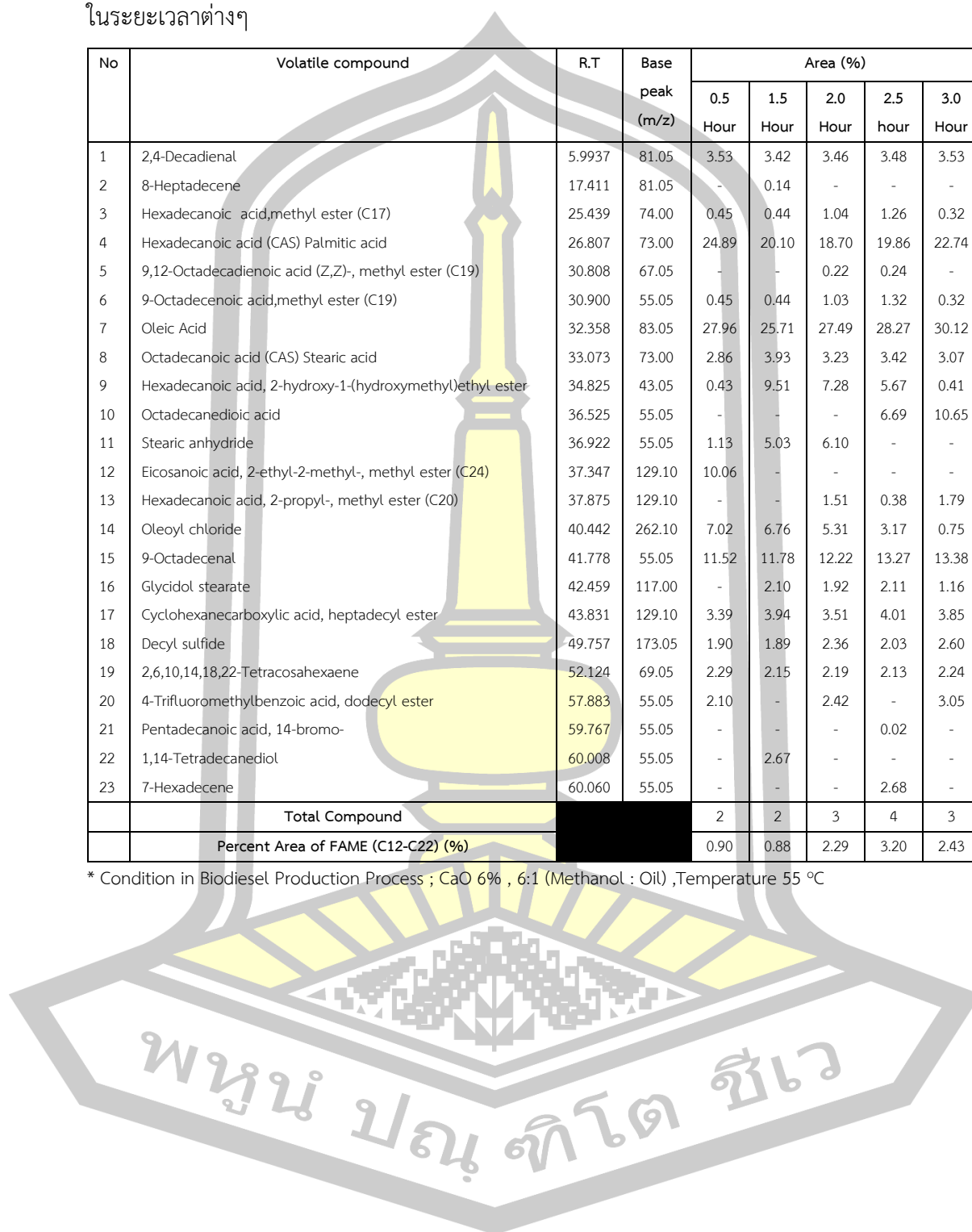
No	Volatile compound	R.T	Base peak (m/z)	Area (%)				
				0.5 Hour	1.5 Hour	2.0 Hour	2.5 hour	3.0 Hour
1	2,4-Decadienal	5.9937	81.05	8.07	4.98	4.77	3.42	3.91
2	9-Octadecenoic acid (Z)-, tetradecyl ester	17.393	83.10	0.14	-	-	-	-
3	Tetradecanoic acid	20.032	73.05	0.40	-	-	-	-
4	Hexadecanoic acid,methyl ester (C17)	25.439	74.00	1.23	1.33	0.57	1.47	3.54
5	Hexadecanoic acid (CAS) Palmitic acid	26.807	73.00	20.38	15.37	19.15	14.05	16.56
6	8,11-Octadecadienoic acid, methyl ester (C19)	30.682	67.05	-	-	0.11	-	-
7	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (C19)	30.808	67.05	-	0.22	0.53	0.30	0.66
8	9-Octadecenoic acid,methyl ester (C19)	30.900	55.05	1.26	1.27	-	1.54	3.47
9	Octadecanoic acid, 6-hydroxy-, methyl ester (C19)	30.999	85.10	-	-	-	-	0.31
10	Octadecanoic acid, methyl ester (C19)	31.814	74.00	-	-	-	0.14	-
11	Oleic Acid	32.358	83.05	20.98	18.41	22.98	20.70	26.71
12	9-Octadecenoic acid (Z)-, tetradecyl ester	32.970	55.05	-	-	-	-	-
13	Octadecanoic acid (CAS) Stearic acid	33.073	73.00	1.22	2.03	1.35	2.23	3.31
14	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	34.825	43.05	8.52	0.26	14.11	19.33	0.46
15	Cyclononasiloxane, octadecamethyl	35.867	73.05	-	-	-	-	-
16	Octadecanedioic acid	36.525	55.05	-	3.86	-	4.96	5.12
17	Hexadecanoic acid, 1-(hydroxymethyl)-1,2-ethanediyl ester	36.877	57.05	0.49	-	-	-	11.76
18	Stearic anhydride	36.922	55.05	1.73	-	6.15	-	-
19	Eicosanoic acid, 2-ethyl-2-methyl-, methyl ester (C24)	37.347	129.10	-	17.44	-	1.33	-
20	Oleoyl chloride	40.442	262.10	15.79	20.07	14.55	14.51	7.72
21	DI(9-OCTADECENOYL)-GLYCEROL	41.392	55.05	0.26	-	-	-	-
22	Linoleic acid	41.625	67.05	5.56	-	-	-	-
23	9-Octadecenal	41.778	55.05	-	6.76	11.73	8.97	11.31
24	1H-Indene, 1-hexadecyl-2,3-dihydro- (CAS) 1-N-HEXADECYLINDANE	42.317	117.00	2.31	1.10	-	-	-
25	Glycidol stearate	42.459	117.00	-	-	-	2.14	0.48
26	Triarachine	43.108	57.10	-	0.56	-	-	-
27	1,22-Dibromodocosane \$\$ Docosane,	46.001	57.10	0.23	-	-	-	-
28	1-Cyclohexyldimethylsilyloxybutane	46.462	131.00	3.92	2.23	-	-	-
29	Oleic acid, trimethylsilyl ester	46.967	131.10	2.22	0.90	-	-	-
30	Tetratriacontane, 17-hexadecyl	47.575	43.10	-	0.01	-	-	-
31	Hexadecanoic acid, dimethyl(isopropyl)silyl ester	47.933	131.05	0.46	-	-	-	-
32	Decyl sulfide	49.757	173.05	-	-	1.05	1.25	1.31
33	Lanostan-11-one, 3-(acetyloxy)	50.572	149.10	-	-	-	-	-
34	2,6,10,14,18,22-Tetracosahexaene	52.124	69.05	4.83	3.20	2.97	2.40	2.47
35	4-Trifluoromethylbenzoic acid, dodecyl ester	57.883	55.05	-	-	-	1.28	0.90
Total Compound				2	3	3	4	4
Percent Area of FAME (C12-C22) (%)				2.49	2.82	1.21	3.45	7.98

* Condition in Biodiesel Production Process ; CaO 6% , 6:1 (Methanol : Oil) , Room Temperature

ภาคผนวก ข-6 พื้นที่ของสารประกอบที่พบในน้ำมันไบโอดีเซลที่มีการใช้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส
ในระยะเวลาต่างๆ

No	Volatile compound	R.T	Base peak (m/z)	Area (%)				
				0.5 Hour	1.5 Hour	2.0 Hour	2.5 hour	3.0 Hour
1	2,4-Decadienal	5.9937	81.05	3.53	3.42	3.46	3.48	3.53
2	8-Heptadecene	17.411	81.05	-	0.14	-	-	-
3	Hexadecanoic acid,methyl ester (C17)	25.439	74.00	0.45	0.44	1.04	1.26	0.32
4	Hexadecanoic acid (CAS) Palmitic acid	26.807	73.00	24.89	20.10	18.70	19.86	22.74
5	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (C19)	30.808	67.05	-	-	0.22	0.24	-
6	9-Octadecenoic acid,methyl ester (C19)	30.900	55.05	0.45	0.44	1.03	1.32	0.32
7	Oleic Acid	32.358	83.05	27.96	25.71	27.49	28.27	30.12
8	Octadecanoic acid (CAS) Stearic acid	33.073	73.00	2.86	3.93	3.23	3.42	3.07
9	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	34.825	43.05	0.43	9.51	7.28	5.67	0.41
10	Octadecanedioic acid	36.525	55.05	-	-	-	6.69	10.65
11	Stearic anhydride	36.922	55.05	1.13	5.03	6.10	-	-
12	Eicosanoic acid, 2-ethyl-2-methyl-, methyl ester (C24)	37.347	129.10	10.06	-	-	-	-
13	Hexadecanoic acid, 2-propyl-, methyl ester (C20)	37.875	129.10	-	-	1.51	0.38	1.79
14	Oleoyl chloride	40.442	262.10	7.02	6.76	5.31	3.17	0.75
15	9-Octadecenal	41.778	55.05	11.52	11.78	12.22	13.27	13.38
16	Glycidol stearate	42.459	117.00	-	2.10	1.92	2.11	1.16
17	Cyclohexanecarboxylic acid, heptadecyl ester	43.831	129.10	3.39	3.94	3.51	4.01	3.85
18	Decyl sulfide	49.757	173.05	1.90	1.89	2.36	2.03	2.60
19	2,6,10,14,18,22-Tetracosahexaene	52.124	69.05	2.29	2.15	2.19	2.13	2.24
20	4-Trifluoromethylbenzoic acid, dodecyl ester	57.883	55.05	2.10	-	2.42	-	3.05
21	Pentadecanoic acid, 14-bromo-	59.767	55.05	-	-	-	0.02	-
22	1,14-Tetradecanediol	60.008	55.05	-	2.67	-	-	-
23	7-Hexadecene	60.060	55.05	-	-	-	2.68	-
Total Compound				2	2	3	4	3
Percent Area of FAME (C12-C22) (%)				0.90	0.88	2.29	3.20	2.43

* Condition in Biodiesel Production Process ; CaO 6% , 6:1 (Methanol : Oil) ,Temperature 55 °C



ภาคผนวก ข-7 พื้นที่ของสารประกอบที่พบในน้ำมันไบโอดีเซลที่มีการใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
ในระยะเวลาต่างๆ

No	Volatile compound	R.T	Base peak (m/z)	Area (%)				
				0.5 Hour	1.5 Hour	2.0 Hour	2.5 hour	3.0 Hour
1	2,4-Decadienal	5.9937	81.05	3.57	3.36	3.09	3.07	3.03
2	Hexadecanoic acid,methyl ester (C17)	25.439	74.00	1.53	0.55	0.69	0.78	1.39
3	Hexadecanoic acid (CAS) Palmitic acid	26.807	73.00	29.06	20.58	21.40	29.27	23.84
4	8,11-Octadecadienoic acid, methyl ester (C19)	30.682	67.05	-	-	0.23	-	-
5	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (C19)	30.808	67.05	0.32	-	-	-	0.22
6	9-Octadecenoic acid,methyl ester (C19)	30.900	55.05	1.60	0.55	0.66	0.73	1.36
7	Octadecanoic acid, 6-hydroxy-, methyl ester (C19)	30.999	85.10	-	-	-	-	-
8	Octadecanoic acid, methyl ester (C19)	31.814	74.00	0.09	-	-	-	-
9	Oleic Acid	32.358	83.05	29.81	29.41	28.79	28.91	27.63
10	Octadecanoic acid (CAS) Stearic acid	33.073	73.00	2.76	3.55	3.90	2.93	2.80
11	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	34.825	43.05	0.57	2.85	1.03	0.63	0.65
12	Octadecanedioic acid	36.525	55.05	-	-	7.38	-	8.17
13	Stearic anhydride	36.922	55.05	-	9.84	2.04	-	-
14	Hexadecanoic acid, 2-propyl-, methyl ester (C20)	37.875	129.10	2.65	3.04	3.23	2.49	2.04
15	Oleoyl chloride	40.442	262.10	0.63	0.84	1.10	0.87	0.85
16	13-Octadecenal,	41.778	55.05	13.35	13.36	13.21	15.34	14.74
17	Glycidol stearate	42.459	117.00	2.13	-	-	2.32	1.86
18	Cyclohexanecarboxylic acid, heptadecyl ester	43.831	129.10	3.32	4.53	4.74	4.11	4.18
19	Oxiraneundecanoic acid, 3-pentyl-, methyl ester	43.998	98.05	-	-	2.07	-	-
20	16-Hentriacontanone	45.636	239.10	-	0.94	1.12	1.59	1.64
21	Decyl sulfide	49.757	173.05	2.75	3.04	3.22	3.22	3.51
22	Lanostan-11-one, 3-(acetyloxy)	50.572	149.10	-	-	-	-	-
23	2,6,10,14,18,22-Tetracosahexaene	52.124	69.05	2.37	2.30	2.10	1.93	2.11
24	4-Trifluoromethylbenzoic acid, dodecyl ester	57.883	55.05	2.66	-	-	1.80	-
25	3-(1-Nitro-2-oxocyclododecyl)propanal	60.103	55.05	-	1.25	-	-	-
Total Compound				5	3	4	3	4
Percent Area of FAME (C12-C22) (%)				6.19	4.14	4.81	4.00	5.01

* Condition in Biodiesel Production Process ; CaO 6% , 6:1 (Methanol : Oil) ,Temperature 60 °C



ภาคผนวก ข-8 พื้นที่ของสารประกอบที่พบในน้ำมันไบโอดีเซลที่มีการใช้อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส
ในระยะเวลาต่างๆ

No	Volatile compound	R.T	Base peak (m/z)	Area (%)				
				0.5 Hour	1.5 Hour	2.0 Hour	2.5 hour	3.0 Hour
1	2,4-Decadienal	5.9937	81.05	3.47	2.86	2.65	2.78	2.09
2	Hexadecanoic acid,methyl ester (C17)	25.439	74.00	0.79	1.11	1.72	1.73	8.46
3	Hexadecanoic acid (CAS) Palmitic acid	26.807	73.00	22.91	20.51	30.94	22.08	17.98
4	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (C19)	30.808	67.05	-	0.15	0.28	0.17	1.63
5	9-Octadecenoic acid,methyl ester (C19)	30.900	55.05	0.69	0.95	1.54	1.47	8.91
6	Octadecanoic acid, 6-hydroxy-, methyl ester (C19)	30.999	85.10	-	-	0.17	0.27	-
7	Octadecanoic acid, methyl ester (C19)	31.814	74.00	-	-	-	-	0.82
8	Oleic Acid	32.358	83.05	28.88	29.45	27.49	25.99	21.59
9	Octadecanoic acid (CAS) Stearic acid	33.073	73.00	2.95	3.71	3.68	3.53	1.76
10	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	34.825	43.05	0.51	0.51	0.63	0.53	0.61
11	Octadecanedioic acid	36.525	55.05	8.50	8.71	-	8.39	7.62
12	Stearic anhydride	36.922	55.05	-	2.56	-	-	3.01
13	Hexadecanoic acid, 2-propyl-, methyl ester (C20)	37.875	129.10	3.17	2.54	2.94	-	2.15
14	Octadecanoic acid, 3-oxo-, methyl ester (C19)	37.899	129.05	-	-	-	1.56	-
15	Oleoyl chloride	40.442	262.10	0.78	0.95	0.92	1.12	-
16	6-Nitro-cyclohexadecane-1,3-dione	41.140	55.05	-	0.20	0.18	-	-
17	13-Octadecenal,	41.778	55.05	15.62	15.11	15.23	17.18	14.12
18	Glycidol stearate	42.459	117.00	2.45	-	2.36	2.81	-
19	6-Hepten-1-ol, 3-methyl	42.924	55.05	3.41	-	-	-	-
20	Cyclohexanecarboxylic acid, heptadecyl ester	43.831	129.10	-	5.20	3.87	4.47	4.12
21	1-Cyclohexyldimethylsilyloxybutane	46.462	131.00	-	-	-	0.48	-
22	Decyl sulfide	49.757	173.05	3.66	3.44	3.61	3.47	2.97
23	2,6,10,14,18,22-Tetracosahexaene	52.124	69.05	2.21	2.02	1.81	1.94	1.36
Total Compound				3	4	4	5	5
Percent Area of FAME (C12-C22) (%)				4.65	4.75	3.71	5.20	21.97

* Condition in Biodiesel Production Process ; CaO 6% (CaO : Chicken Carcasses Ash) , 6:1 (Methanol : Oil)
,Temperature 65 °C



ภาคผนวก ข-9 พื้นที่ของสารประกอบที่พบในน้ำมันไบโอดีเซลที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

No	Volatile compound	R.T	Base peak (m/z)	Area (%)						
				100:0	80:20	60:40	50:50	40:60	20:80	0:100
1	Ethanol, 2-butoxy- (CAS) 2-Butoxyethanol	3.026	57.10	-	-	-	-	-16.11	-	-
2	1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane	3.237	44.05	-	0.31	0.19	0.60	-	0.24	0.34
3	Palmitic acid	3.245	43.01	10.97	13.71	4.54	9.67	13.99	6.43	4.90
4	Tetradecanoic acid, methyl ester (C15)	14.373	74.01	0.53	0.63	0.75	0.65	0.65	0.76	0.89
5	Hexadecanoic acid, methyl ester (C17)	20.454	74.05	29.91	26.99	35.36	31.16	34.17	32.90	34.89
6	Glycerin	22.716	61.05	0.11	-	-	-	-	-	-
7	Benzoic Acid	25.552	122.05	0.11	-	-	-	-	-	-
8	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (C19)	26.914	55.01	34.13	31.32	42.13	37.45	37.02	40.33	42.23
9	9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester (C19)	28.144	67.10	6.55	6.09	8.67	7.81	8.17	8.65	9.71
10	11,14,17-Eicosatrienoic acid, methyl ester (C21)	29.892	79.10	0.12	-	0.73	1.77	1.94	-	1.13
11	Hexadecanoic acid 2-hydroxy	37.567	57.10	0.52	-	0.44	-	-	-	-
12	1-Methoxy-3-methyl-5-trimethylsilyloxypentane	39.233	73.05	-	0.23	-	-	-	-	-
13	Stearic acid	43.734	73.05	5.07	0.67	-	-	-	-	-
14	Oleic acid	44.426	55.10	10.59	17.49	7.19	10.81	20.18	8.62	5.91
15	9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester (C19)	45.674	67.05	1.39	2.56	-	-	-	2.05	-
Total Compound				12	10	9	8	8	8	8
Percent Area of FAME (C12-C22) (%)				72.63	67.58	87.64	78.84	81.95	84.69	88.85

* Condition in Biodiesel Production Process ; Catalyst 6% (CaO : Chicken Carcasses Ash) , Temperature 65°C , Times 1 Hours , Methanol : Oil 6:1

ภาคผนวก ข-10 พื้นที่ของสารประกอบที่พบในน้ำมันไบโอดีเซลที่มีการนำเอาตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำ

No	Volatile compound	R.T	Base peak (m/z)	Area (%)		
				0	1	2
1	1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecane	3.234	44.05	0.34	0.65	2.61
2	Tetradecanoic acid, methyl ester (C15)	14.373	74.01	0.89	-	-
3	Hexadecanoic acid, methyl ester (C17)	20.450	74.05	34.89	24.56	12.01
4	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (C19)	26.904	34.13	42.23	30.21	24.78
5	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester (C19)	28.173	6.55	9.71	0.16	0.45
6	Hexadecanoic acid, 1-(hydroxymethyl)-1,2-ethanediyl ester	37.551	57.10	-	3.78	1.78
7	Palmitic acid	38.824	43.01	4.90	17.98	22.4
8	Oleic acid	44.465	55.10	5.91	22.65	35.97
9	11,14-Eicosadienoic acid, methyl este (C21)	45.690	0.12	1.13	-	-
Total Compound				5	3	3
Percent Area of FAME (C12-C22) (%)				88.85	54.93	37.24

* Condition in Biodiesel Production Process ; Catalyst 6% (CaO : Chicken Carcasses Ash ; 100:0) , Temperature 65°C , Times 1 Hours , Methanol : Oil 6:1

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายเทพรัตน์ โคตรมงคล
วันเกิด	วันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2534
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 18 ซอยแจ้งสนิท10 ถนนแจ้งสนิท ตำบลในเมือง อำเภอเมืองอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี รหัสไปรษณีย์ 34000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2552 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนปทุมพิทยาคม จังหวัดอุบลราชธานี พ.ศ. 2556 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2561 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม
ทุนวิจัย	ทุนโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท ประจำปี 2557 ทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท) งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559
ผลงานวิจัย	เทพรัตน์ โคตรมงคล , นิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล , ยุวดี ไชยเชษฐ์. (2560). ผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มทอดไก่โดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ฉบับพิเศษ ประจำปี 2560. 146-156

พูน ปณ จิต ชีเว

