

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดแคบหมูโดยใช้กระบวนการ
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในสภาวะที่มีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
**BIODIESEL PRODUCTION OF THE USED OIL FROM
FRYING PORK RINDS BY ALKALI - CATALYZED
TRANSESTERIFICATION PROCESS**



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดแคบหมูโดยใช้กระบวนการ
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในสถานะที่มีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
BIODIESEL PRODUCTION OF THE USED OIL FROM
FRYING PORK RINDS BY ALKALI – CATALYZED
TRANSESTERIFICATION PROCESS



นางสาวทิพภาพร
นางสาวสุชาดา
นางสาวอารีรัตน์

ทิมทอง
ประจง
ภานุมาศ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**BIODIESEL PRODUCTION OF THE USED OIL FROM FRYING
PORK RINDS BY ALKALI – CATALYZED
TRANSESTERIFICATION PROCESS**



**MISS TIPPAPORN TIMTONG
MISS SUCHADA PRACHONG
MISS AREERUT PANUMART**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY**

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2013
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดแคหมูโดยใช้กระบวนการ
ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในสภาวะที่มีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
Biodiesel Production of Used Oil from Frying Pork Rinds by
Alkali – catalyzed Transesterification Process

ชื่อนักศึกษา นางสาวทิพภาพร ทิมทอง
นางสาวสุชาดา ประจง
นางสาวอารีรัตน์ ภาณุมาศ


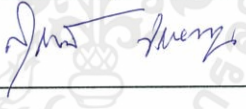
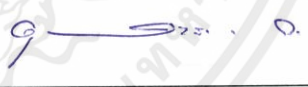
ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2556

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|-------------------------------|--|
| อ.กตินัฐคนธ์ สุวรรณรัตน์ |  |
| ผศ.ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน |  |
| ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ระบุไว้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ละเมิดลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

| | | |
|--------------------|--|---------|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดแคบหมูโดยใช้กระบวนการ ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในสภาวะที่มีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา | |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาวทิพาพร | ทิมทอง |
| | นางสาวสุชาดา | ประจง |
| | นางสาวอารีรัตน์ | ภานุมาศ |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรบัณฑิต | |
| สาขาวิชา | เคมีสิ่งแวดล้อม | |
| ปีการศึกษา | 2556 | |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ศศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ | |

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาการนำน้ำมันทอดแคบหมูมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของไบโอดีเซลในแง่ของปริมาณเมทิลเอสเทอร์และค่าความเป็นกรด ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 60-240 นาที ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ระหว่าง 0.5-2.0 %w/w และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน (6:1, 9:1 และ 12:1) จากการศึกษาพบว่า น้ำมันทอดแคบหมูมีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้เท่ากับ $3.00 \pm 0.03\%$ และมีกรดโอเลอิก (Oleic acid) เป็นองค์ประกอบหลัก ผลจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์เกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 9:1 ปริมาณความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 %w/w และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที

คำสำคัญ : น้ำมันทอดแคบหมู, เมทิลเอสเทอร์, ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|----------------------|---|
| Title | Biodiesel Production of the Used Oil from Frying Pork Rinds by Alkali-catalyzed Transesterification Process |
| Students | Miss Tippaporn Timtong Miss Suchada Prachong Miss Areerut Phanumart |
| Degree | Bachelor of Science |
| Major Program | Environmental Resource Chemistry |
| Academic Year | 2013 |
| Advisor | Asst. Prof. Dr. UsaratThawonchaisit |

ABSTRACT

Feasibility studies of biodiesel production from used pork rinds' byalkali-catalyzed transesterification process were investigated in this special project. In addition, factors affecting the fule properties of the produced biodiesel in terms of methyl ester contents and acid value were systematically studied. The effect of three variables including reaction time ranging from 60-240 min, KOH concentrations ranging from 0.5-2 %w/w and three different molar ratios of methanol to oil (6:1, 9:1 and 12:1) were studies. Result showed that frying pork rinds contained free fatty acid of $3.00\pm 0.03\%$ with Oleic acid as a major component of free fatty acid. Results from biodiesel production using KOH-catalyzed transesterificationprocess found that highest percentage of methyl ester obtained when using a molar ratio of methanol to oil at 9:1, KOH concentrations of 1.5 %w/w and reaction time of 60 min.

Keywords :Frying Pork rinds, Methyl ester, Transesterification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และ ข้อมูลที่มีประโยชน์จาก ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน และ อ.กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ เป็นอย่างสูงที่ กรุณาเป็นกรรมการในการสอบโครงการพิเศษ ตลอดจนให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ พิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พัชนี เจริญยิ่ง ที่เอื้อเฟื้อและให้ความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีในการ ตรวจวิเคราะห์ผลการศึกษา

ขอขอบพระคุณ นักวิทยาศาสตร์ และ เจ้าหน้าที่ นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่เอื้อเฟื้อและ อำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์และสถานที่ในการจัดทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจให้การอุปการะตลอดมา และขอบคุณเพื่อนๆที่เป็นกำลังใจ คอยช่วยเหลือในการจัดทำโครงการพิเศษนี้ คุณค่าและ ประโยชน์อันพึงมีของโครงการพิเศษฉบับนี้ขออุทิศให้แก่คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณต่อคณะวิจัยทุกท่าน

| | |
|-----------------|---------|
| นางสาวทิพภาพร | ทิมทอง |
| นางสาวสุชาดา | ประจง |
| นางสาวอารีรัตน์ | ภานุมาศ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VI |
| สารบัญรูปภาพ | VII |

| | |
|--|----|
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| 2.1 ไขมันและน้ำมัน | 4 |
| 2.2 น้ำมันทอดแคบหมู | 6 |
| 2.3 ไบโอดีเซล | 8 |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 12 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย | 16 |
| 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี | 16 |
| 3.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำมัน | 18 |
| 3.3 การศึกษาสมบัติของน้ำมันตัวอย่าง | 18 |
| 3.4 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในสภาวะ ที่มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา | 19 |
| 3.5 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา | 20 |
| 3.6 การศึกษาผลของความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ | 20 |
| 3.7 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน | 20 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล | 21 |
| 4.1 สมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันทอดแคบหมู | 21 |
| 4.2 การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา | 23 |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ | 28 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 28 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 29 |
| เอกสารอ้างอิง | 30 |
| ภาคผนวก ก | 33 |
| ภาคผนวก ข | 40 |
| ภาคผนวก ค | 44 |
| ภาคผนวก ง | 47 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 สูตร โครงสร้างจุดหลอมเหลวและจุดเดือดของกรดไขมัน | 6 |
| 3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันตัวอย่าง | 18 |
| 4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันทอดแคบหมูที่ใช้ในการศึกษา | 21 |
| ก-1 ปริมาตร KOH ที่ใช้ในการไทเทรตหาค่าความเป็นกรดของน้ำมันตัวอย่าง | 34 |
| ข-1 พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ใน ไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$: ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา | 41 |
| ข-2 พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ใน ไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$: ผลของความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ | 42 |
| ข-3 พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ใน ไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$: ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน | 43 |
| ค-1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันตัวอย่าง | 44 |
| ค-2 การคำนวณหามวลโมเลกุลของน้ำมันตัวอย่าง | 45 |
| ง-1 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (One way – ANOVA) : ระยะเวลาที่ใช้ใน การทำปฏิกิริยา | 47 |
| ง-2 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (One way – ANOVA) : ความเข้มข้นของ ตัวเร่งปฏิกิริยา | 48 |
| ง-3 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่โดยวิธี LSD : ความเข้มข้นของ ตัวเร่งปฏิกิริยา | 49 |
| ง-4 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (One way-ANOVA) : อัตราส่วนโดยโมล ระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน | 50 |
| ง-5 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่โดยวิธี LSD : อัตราส่วนโดยโมล ระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน | 51 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 องค์ประกอบของน้ำมัน | 5 |
| 2.2 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน | 8 |
| 2.3 กลไกปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน | 8 |
| 2.4 ปฏิกริยาสปอนนิฟิเคชัน | 9 |
| 3.1 น้ำมันทอดแคบหมู | 18 |
| 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล | 19 |
| 4.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันตัวอย่าง | 22 |
| 4.3 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (●) และค่าความเป็นกรด (○) ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ | 23 |
| 4.4 ผลของความเข้มข้นที่ใช้ในการทำปฏิกริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (●) และค่าความเป็นกรด (○) ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ | 25 |
| 4.5 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อปริมาณ เมทิลเอสเทอร์ (●) และค่าความเป็นกรด (○) ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ | 26 |
| ก-1 ตัวอย่างสเปกตรัมของไบโอดีเซลที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค 1H-NMR | 39 |
| ข-1 ตัวอย่างสเปกตรัมของไบโอดีเซลที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค 1H-NMR | 40 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ภาวะราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นประกอบกับแหล่งน้ำมันดิบที่มีอยู่ทั่วโลกเริ่มลดลงนั้น ทำให้การค้นคว้าและพัฒนาพลังงานทดแทนต่างๆ เป็นหัวข้อที่หลายฝ่ายให้ความสนใจไบโอดีเซล หรือสารประกอบอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid alkyl ester, FFAE) ที่มีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันดีเซล จัดเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่รัฐบาลโดยกระทรวงพลังงานมีนโยบายส่งเสริมการผลิตและการใช้เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียมตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 28 มกราคม 2552 (กระทรวงพลังงาน, 2554) ผลจากการดำเนินนโยบายดังกล่าวทำให้ปริมาณความต้องการใช้ไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจาก 1.7 ล้านลิตรต่อวัน ในปี 2553 เป็น 2.7 ล้านลิตรต่อวัน ในปี 2555 (กระทรวงพลังงาน, 2555)

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตมาจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เช่น เมล็ดเรพ ทานตะวัน งา ฟ้าย ถั่วลิสง ละหุ่ง สบู่ดำ มะพร้าว ปาล์ม รวมไปถึงไขมันสัตว์ และน้ำมันเหลือใช้หลังการปรุงอาหาร สำหรับประเทศไทยวัตถุดิบหลักที่นิยมนำมาผลิตไบโอดีเซล คือปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศทั้งในแง่ของอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมพลังงาน ดังจะเห็นได้จากสัดส่วนปริมาณการใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันพืชเพื่อการบริโภคมีสูงถึง 42% รองลงมาคือ ไบโอดีเซล 28% (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2556) ข้อควรระวังของการใช้ปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบ ในการผลิตนั้นคือ วัตถุดิบอาจจะไม่เพียงพอที่จะเห็นได้จากตลาดสินค้าอุปโภคบริโภคได้เผชิญปัญหาน้ำมันพืชบรรจุขวดที่วางจำหน่ายไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคในปี พ.ศ. 2555 โดยมีสาเหตุหลักมาจากความต้องการใช้น้ำมันปาล์มดิบในประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะการใช้ผลิตไบโอดีเซล ประกอบกับปริมาณผลผลิตปาล์มออกสู่ตลาดน้อยลงกว่าปกติอันเนื่องมาจากสภาพอากาศแห้งแล้ง ทำให้ปัญหาการแย่งชิงวัตถุดิบระหว่างอุตสาหกรรมอาหารกับอุตสาหกรรมพลังงานเป็นปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ ด้วยเหตุนี้การค้นคว้าวิจัยหาพืชพลังงานที่ไม่เกี่ยวข้องกับโซ่อาหารของมนุษย์มาผลิตเป็นพลังงาน จึงเป็นแนวทางที่อาจแก้ไขปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบ ในการผลิตไบโอดีเซล

แคบหมูเป็นอาหารพื้นบ้านของชาวล้านนาไทย ซึ่งถือว่าเป็นนวัตกรรมการถนอมอาหารที่เกิดจากภูมิปัญญาชาวบ้านที่สืบทอดกันมา ปัจจุบันถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่แพร่หลายเป็นที่รู้จัก และมีจำหน่ายทั่วไปนิยมซื้อ-ขายเป็นของฝาก นิยมรับประทานเป็นเครื่องเคียงกับอาหารหลากหลายชนิดทั้งในประเทศและต่างประเทศ รวมทั้งได้เป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) ที่มีผู้นำสินค้าไปจำหน่ายในจังหวัดต่างๆ ตลอดจนส่งออกสู่ประเทศเพื่อนบ้าน เช่น ลาว จีน สิงคโปร์ ใต้หวัน ญี่ปุ่น (มาลี, 2554) แคบหมูเป็นผลผลิตจากการนำหนังหมูมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปต้ม

ในน้ำมัน 2-3 ครั้ง แล้วนำไปทอดในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิสูงจนหนังหมูมีลักษณะ พอง กรอบ และมีสีน้ำตาล (ที่ผ่านการปรุงรสด้วยเกลือซีอิ๊วและผงชูรส) (อรทัย, 2555) จากการสำรวจการใช้น้ำมันในการทอดแคบหมูในแต่ละวัน มีไม่ต่ำกว่า 100 ลิตรจากผู้ผลิต 14-15 รายในอำเภอเมืองจังหวัดแพร่ (มดิชน, 2549) และจากผลการสำรวจในจังหวัดเชียงรายมีผู้ผลิตแคบหมูจำหน่ายมากประมาณ 600 ราย (ยุวพันธ์, 2553) แสดงให้เห็นว่าในประเทศไทยจะมีปริมาณน้ำมันที่เหลือจากการทอดแคบหมูเป็นจำนวนมากน้ำมันเหล่านี้เมื่อผ่านการทอดซ้ำๆ จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรส์ ซึ่งทำให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพและไม่เหมาะสำหรับการนำกลับมาใช้ในกระบวนการประกอบอาหาร เนื่องจากมีกลุ่มของสารก่อมะเร็งเกิดขึ้นในน้ำมันทอดซ้ำ ได้แก่ กรดไขมันอิสระ สารออกไซด์ สารเพอร์ออกไซด์ อนุมูลอิสระ สารโมนอเมอร์ สารพอลิเมอร์ เป็นต้น (ทิพยเมตร, 2551) นอกจากนี้ยังพบปริมาณสารโพลาร์ (Total Polar Material ;TPM) ในปริมาณสูง อีกทั้งการรับประทานอาหารที่มีการใช้น้ำมันทอดซ้ำอาจทำให้ร่างกายได้รับสารดังกล่าว ซึ่งจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย อาทิเช่น ทำให้เกิด โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง โรคมะเร็งปอด มะเร็งตับ และมะเร็งกระเพาะปัสสาวะ (วัชรพร, 2556) ด้วยเหตุนี้การสนับสนุน และรณรงค์การเลิกใช้น้ำมันทอดแคบหมูมาใช้ในการทอดประกอบอาหาร รวมทั้งการส่งเสริมทางเลือกของการนำน้ำมันเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลจึงเป็นแนวทางการควรดำเนินการ

โครงการพิเศษนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดแคบหมู พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซล โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ในสถานะที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่เหลือจากการผลิตแคบหมูโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. น้ำมันที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำมันที่ได้จากการทอดแคบหมู
2. ศึกษาสมบัติของน้ำมันที่ได้จากการทอดแคบหมู โดยสมบัติที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความชื้น (Moisture) ค่าความเป็นกรด (acid values) ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ค่าไอโอดีน (Iodine value) และปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ (Fatty Acid Composition)
3. การผลิตไบโอดีเซลใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในสถานะที่มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันผลิตแคบหมู โดยปัจจัยที่ศึกษาได้แก่

- เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60, 120 และ 240 นาที
- ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5%, 1.0%, 1.5% และ 2.0% โดยน้ำหนักน้ำมัน

และ

- อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1, 9:1 และ 12:1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ได้จากการผลิตแคบหมู
2. ได้แหล่งวัตถุดิบทางเลือกที่มีในประเทศไทยและมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน
3. เป็นแนวทางในการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันจัดเป็นสารชีวโมเลกุลจำพวกลิพิดเชิงเดี่ยว โดยทั้งไขมันและน้ำมันมีสมบัติใกล้เคียงกัน คือเป็นสารที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน หน้าที่สำคัญของไขมันและน้ำมัน คือเป็นโครงสร้างสำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์และเป็นแหล่งพลังงานของสิ่งมีชีวิต ไขมันและน้ำมันพบได้ทั้งในพืชและสัตว์ ในพืชมักพบในผลและเมล็ด เช่น มะพร้าว มะกอก ปาล์ม ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย เมล็ดทานตะวัน ในสัตว์พบในไขมันสัตว์ ซึ่งสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมัน เช่น ไขมันวัว ไขมันแกะ เป็นต้น

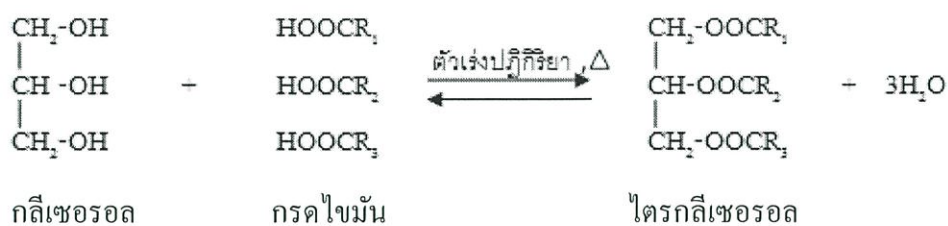
2.1.1 สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายได้ดีใน คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และปิโตรเลียมอีเทอร์ แต่ละละลายได้น้อยในเมทานอล เอทานอล และอะซิโตน การทำให้ตัวทำละลายร้อนจะช่วยให้ไขมันและน้ำมันละลายในแอลกอฮอล์ และอะซิโตนดีขึ้น กรดไขมันจะมีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวสูงขึ้นตามจำนวนคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งกรดไขมันอิ่มตัวมีจุดเดือดสูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 2.1

2.1.2 สมบัติทางเคมีของน้ำมันและไขมัน

ไขมันและน้ำมันมีลักษณะเป็นสารประกอบที่เรียกว่าไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) เกิดจากกลีเซอรอล (glycerol) 1 โมเลกุล เข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน (fatty acids) 3 โมเลกุล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาและความร้อนร่วมด้วย ดังรูปที่ 2.1 หมู่แอลคิลทั้ง 3 หมู่ในโมเลกุลของไขมัน หรือน้ำมัน อาจเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ และในหมู่แอลคิลอาจมีพันธะเดี่ยว และพันธะคู่ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมัน โดยการรวมตัวของกลีเซอรอลจะควบแน่นกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) แต่ละหมู่ในโมเลกุลของกลีเซอรอลจะควบแน่นกับหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ของกรดไขมันแล้วได้หมู่โมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันที่มาควบแน่นด้วยนั้นอาจมีคาร์บอนในโมเลกุลตั้งแต่ 4 อะตอมจนถึง 24 อะตอม อาจเป็นกรดไขมันที่อิ่มตัวหรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ ตั้งแต่ 1-5 แห่งอยู่ที่ตำแหน่ง (ปาริชาติและคณะ, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของไขมัน

กลีเซอรอล (Glycerol) หรือกลีเซอรินมีสูตรโมเลกุลเป็น $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ เป็นสารจำพวกแอลกอฮอล์ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ เป็นของเหลวหนืดละลายน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดี แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายจำพวกไฮโดรคาร์บอน กลีเซอรอลเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนแอลกอฮอล์ต่างๆ ไป โดยที่หมู่ไฮดรอกซิลมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา กลีเซอรอลสามารถทนความร้อนได้ถึง 275 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาของกลีเซอรอลควรทำในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่างที่อุณหภูมิห้อง กลีเซอรอลจะดูดซับน้ำอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย

กรดไขมัน (Fatty acid)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน โดยมักจะมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป มีสูตรทั่วไป คือ R-COOH ลักษณะสูตรโครงสร้างของกรดไขมันประกอบด้วย 2 ส่วนคือส่วนที่เรียกว่า คาร์บอกซิล (COOH) ซึ่งมีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมตัวกันอยู่ อีกส่วนหนึ่งเรียกว่า ห่วงโซ่คาร์บอน (R) โดยมีธาตุคาร์บอนยึดเหนี่ยวกันเป็นห่วงโซ่ โดยปกติธาตุคาร์บอนจะมีอยู่ 4 แขนง แขนงที่เหลือจากการจับธาตุคาร์บอนด้วยกันจะไปจับกับธาตุไฮโดรเจน กรดไขมันมีอยู่หลายชนิดทุกชนิดจะมีหน่วยคาร์บอกซิลอยู่หนึ่งหน่วยเหมือนกัน ส่วนที่แตกต่างกัน คือ ลักษณะทางเคมีในส่วนของโซ่คาร์บอนทำให้กรดไขมัน มีชื่อแตกต่างกันไป กรดไขมันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

1.1 กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) หมายถึง กรดไขมันที่คาร์บอนในโมเลกุลมี 46 ไฮโดรเจน จับเกาะอยู่เต็มที่แล้วไม่สามารถรับไฮโดรเจนหรือธาตุอื่นใดเข้าไปในโมเลกุลได้อีกโดยที่ห่วงโซ่คาร์บอน (R) เท่ากับ $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ และ n เป็นตัวเลขที่แสดงถึงจำนวนคาร์บอนอะตอม กรดไขมันชนิดนี้พบมากใน ไขมันสัตว์ น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม

1.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) หมายถึง กรดไขมันที่มีคาร์บอนในโมเลกุลมีไฮโดรเจนน้อยกว่าชนิดอิ่มตัว โดยที่มีคาร์บอนในโมเลกุล 2 อะตอม จับกันเองด้วยพันธะคู่ การมีพันธะคู่ 1 แห่งจะทำให้มีไฮโดรเจนน้อยลงกว่าชนิดอิ่มตัว 2 อะตอม การมีพันธะคู่อาจมีมากกว่า 1 ตำแหน่ง กรดไขมันไม่อิ่มตัวนี้พบมากใน ไขมันพืช ยกเว้น น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม การมีพันธะคู่มากจะทำให้น้ำมันเหม็นหืนได้ง่ายเมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศ แต่พบว่าน้ำมันสัตว์มีกลิ่นหืนเร็วกว่าน้ำมันพืชต่างๆ ที่น้ำมันพืชมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่า ทั้งนี้เพราะน้ำมันพืชมี

วิตามินอี ซึ่งเป็นสารป้องกันการเติมออกซิเจนอยู่แล้วตามธรรมชาติ ตัวอย่างกรดไขมันชนิดนี้ได้แก่ กรดไลโนเลอิก

ตารางที่ 2.1 สูตร โครงสร้าง จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของกรดไขมัน

| กรดไขมัน | จำนวนของคาร์บอน : พันธะคู่ | โครงสร้างทางเคมี | จุดหลอมเหลว (°C) | จุดเดือด (°C) |
|-------------|----------------------------|---|------------------|---------------|
| Caprylic | C8 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$ | 16.5 | 239 |
| Capric | C10 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$ | 31.3 | 269 |
| Lauric | C12 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$ | 43.6 | 304 |
| Myristic | C14 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$ | 58 | 332 |
| Palmitic | C16:0 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ | 62.9 | 349 |
| Palmitoleic | C16:1 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ | 33 | - |
| Stearic | C18:0 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ | 69.9 | 371 |
| Oleic | C18:1 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ | 16.3 | - |
| Linoleic | C18:2 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ | -5 | - |
| Linolenic | C18:3 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ | -11 | - |
| Arachidic | C20:0 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$ | 75.2 | - |
| Eicosenoic | C20:1 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$ | 23 | - |
| Behenic | C22:0 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$ | 80 | - |
| Eurcic | C22:1 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$ | 34 | - |

ที่มา : <http://www.wmrc.uiuc.edu/tech/small-scale-biodiesel.pdf>

2.2 น้ำมันทอดแคบหมู

น้ำมันทอดแคบหมู เป็นน้ำมันที่เกิดจากกรรมวิธีในการผลิตแคบหมู เนื่องจากการนำหนังหมูไปผ่านการทอดในน้ำมันปาล์มที่มีอุณหภูมิสูงจนหนังหมูมีลักษณะพอง กรอบ และมีสีน้ำตาล โดยในการทอดจะมีน้ำมันจากหนังหมูออกมาปนกับน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอด และมีสิ่งเจือปนอื่นๆ เช่น ซีอิ้ว เกลือ ผงชูรส ซึ่งน้ำมันทอดแคบหมูจัดเป็นน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมที่จะนำมาประกอบอาหาร (พิศมัยและลลิตา, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 กระบวนการผลิตแคบหมู

ส่วนผสมในการผลิต

- 1) หนัหมูสันล้วน
- 2) เกลือ
- 3) ผงชูรส
- 4) ซีอิ้วดำ
- 5) น้ำมันปาล์ม

การทำความสะอาดหนัหมู

โดยการนำหนัหมูมาขูดขน และสิ่งสกปรกที่ติดมากับหนัหมูออกให้หมด จากนั้นจึงนำไปล้างน้ำให้สะอาด ในกรณีที่หนัหมูมีกลิ่นหลังจากที่ล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วให้นำไปล้างด้วยน้ำที่ผสมสารส้มอย่างเจือจาง แล้วจึงล้างด้วยน้ำให้สะอาดอีกครั้ง

ขั้นตอนการผลิตแคบหมู

- 1) นำหนัหมูที่ทำความสะอาดแล้วหมักกับเกลือ ผงชูรส และซีอิ้วดำ ตามอัตราส่วน โดยหมักทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
- 2) นำหนัหมูที่ได้จากข้อ 1 ตากเป็นเวลา 5-6 ชั่วโมง โดยหนัหมูจะเปลี่ยนจากสีขาว กลายเป็นสีน้ำตาล
- 3) หั่นหนัหมูให้ได้ขนาด ความกว้าง 1 เซนติเมตร และความยาว 5-6 เซนติเมตร
- 4) นำหนัหมูไปต้มในน้ำมันปาล์ม โดยการต้มในแต่ละครั้งจะต้องให้น้ำมันท่วมหนัหมู ใช้เวลาในการต้มประมาณ 30 นาที หนัหมูที่ต้มจะหดตัว และมีน้ำมันออกมา จะสังเกตเห็นว่าหนัหมูลอยตัว และไม่ติดกันกระทะ แล้วตักออกทิ้งไว้ให้เย็นและแห้ง สามารถเก็บหนัหมูจากการต้มในขั้นนี้ได้นานหลายเดือน ส่วนน้ำมันที่ใช้ต้มนั้นไม่สามารถนำมาทอดซ้ำได้อีกครั้งจึงเก็บไว้ในถัง
- 5) นำหนัหมูจากข้อ 4 มาทอดในน้ำมันปาล์มอีกครั้งจนหนัหมูมีลักษณะพองตัว ค่อยๆ ลอยตัวขึ้น และมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นแล้วจึงตักออกทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำมัน จากนั้นสามารถนำไปบริโภคได้เลย ส่วนของน้ำมันที่เหลือจากการทอดไม่สามารถที่จะนำมาใช้ในการผลิตได้อีก จึงนำไปเทรวมกับน้ำมันที่เก็บไว้ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลได้

2.2.2 คุณสมบัติของน้ำมันทอดแคบหมู

ลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันทอดแคบหมู

ในระหว่างที่ไขมันและน้ำมันได้รับความร้อนขณะทอด จะมีการเปลี่ยนแปลงของไตรเอซิลกลีเซอรอล ทำให้เกิดการสลายตัวที่มีความซับซ้อนเกิดขึ้น ส่งผลให้น้ำมันมีสีคล้ำมากขึ้น มีความหนืดเพิ่มขึ้น จุดเกิดควันลดลง และเกิดฟองมากขึ้น

องค์ประกอบของน้ำมันทอดแคบหมู ประกอบด้วยกรดไขมันหลัก 3 ชนิด เรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้คือ กรดโอเลอิก (Oleic acid ; C18:1) กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid ; C16:0)

และกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid ; C18:2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ จุฑาทาศ (2551) ที่พบว่าปริมาณกรดโอเลอิกสูงที่สุดในน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว

2.3 ไบโอดีเซล

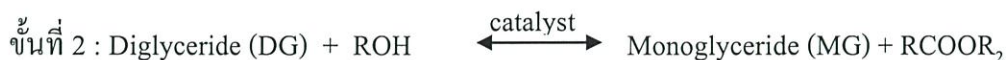
ไบโอดีเซล คือ เชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ โดยผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างไขมันให้เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เป็น ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งเป็นสารประกอบทางเคมี ที่ประกอบด้วยกรดไขมัน (Fatty acid) และกลีเซอริน (Glycerin) เมื่อไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยมีสารเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นด่าง (Base catalyst) เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide (KOH)) จะทำให้เกิดการรวมพันธะของกรดไขมันและแอลกอฮอล์ เกิดเป็นไบโอดีเซล ซึ่งได้กลีเซอรอล (Glycerol) เป็นผลพลอยได้ (By product) ปฏิกิริยานี้ เรียกว่า Transesterification ดังรูปที่ 2.4 โดยที่ R คือ คาร์บอน 16-18 อะตอม ซึ่งมีพันธะคู่ระหว่าง C = C ตั้งแต่ 1-3 คู่



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

กลไกปฏิกิริยาและจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ประกอบด้วยปฏิกิริยาที่ผันกลับได้จำนวนหนึ่งที่เกิดต่อเนื่องกันไป ไตรกลีเซอไรด์จะถูกเปลี่ยนตามลำดับขั้นไปเป็นไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ และสุดท้ายเป็นกลีเซอรอล (ตามสมการในรูปที่ 2.3) โดยมีเอสเทอร์เกิดขึ้นหนึ่งโมลในแต่ละขั้นตอน แม้ว่าจะเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ก็ตาม แต่สมดุลจะโน้มเอียงไปทางผลิตภัณฑ์ คือ เอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ester) และกลีเซอรอล ดังรูปที่ 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เชียงใหม่ ไม่ให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
รูปที่ 2.3 กลไกปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดเพราะเบสมีราคาถูก ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นและให้ปริมาณอัลคิลเอสเทอร์ที่สูง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปัจจุบัน คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟ (NaOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมเมทิลเลตหรือโซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH₃) และโพแทสเซียมเมทิลเลตหรือโพแทสเซียมเมทอกไซด์ (KOCH₃) โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีราคาถูกที่สุด หาได้ง่าย ส่วนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะมีราคาสูงกว่า แต่ที่นิยมใช้เพราะสบู่ของโพแทสเซียมเป็นของเหลว ดังนั้นเมื่อปนเปื้อนในกลีเซอรอลจะทำให้กลีเซอรอลยังคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ ต่างจากสบู่ของโซเดียมซึ่งเป็นของแข็งเมื่อปนเปื้อนในกลีเซอรอลทำให้กลีเซอรอลเป็นของแข็งตามไปด้วย ซึ่งอาจทำให้ท่ออุดตันได้เมื่อทำการทดลองแบบแบทช์ การใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นมีข้อจำกัดสำหรับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง เช่น น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้ทอดแล้วหรือน้ำมันพืชที่ยังไม่ผ่านกระบวนการกลั่นเนื่องจากกรดไขมันอิสระในน้ำมันจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสบู่โดยปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน

โดยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นสบู่ได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือทั้ง 3 ชนิด การเกิดเป็นสบู่เพิ่มขึ้นแบบเอ็กโพเนนเชียล ตามความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันจะช่วยเพิ่มสมดุลให้เกิดเป็นเอสเทอร์ได้สูงขึ้น

2.3.1 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วนั้นปกติจะประกอบด้วย 6 ขั้นตอน (กระทรวงพลังงาน, 2553) ประกอบด้วย

1. เริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบ มาทำการกรองหยาบ เพื่อเอาเศษสิ่งปลอมปนขนาดใหญ่ออก
2. นำไปต้มไล่ความชื้นให้น้ำระเหย
3. ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารเมทานอล (ความบริสุทธิ์มากกว่า 99%) โดยมีกรดหรือด่างเป็น

สารเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเป็นไบโอดีเซลได้เร็วขึ้น สารเร่งด่างที่นิยมใช้ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือสารเร่งกรด เช่น กรดซัลฟิวริก เป็นต้น ขั้นตอนการทำปฏิกิริยานี้จะต้องควบคุมสารผสมที่อุณหภูมิที่เหมาะสม และเวลาที่ใช้ประมาณ 1.5 ถึง 6 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดสารเร่งและอุณหภูมิที่ใช้

4. ที่อุณหภูมิประมาณ 1 คืบ เพื่อให้กลีเซอรินแยกออกจากน้ำมันไบโอดีเซล โดยไบโอดีเซลจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลบางประการ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาไปใช้

5. ล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ เพื่อเอาสบู่ที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำปฏิกิริยาออก และเอาสิ่งเจือปนอื่นออก

6. นำไปไล่ความชื้นขั้นสุดท้าย และกรองด้วยกระดาษกรองความละเอียด 1 ไมครอน เมื่อผ่านทุกขั้นตอนแล้ว จะได้ไบโอดีเซลซึ่งสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลได้

2.3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

1. ความชื้น

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องไม่มีน้ำเป็นส่วนผสม เพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ในระหว่างการทำปฏิกิริยา ซึ่งสบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลง และยังส่งผลทำให้ความหนืดมีค่าสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจล ยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลด้วย ซึ่งความชื้นสูงกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาหรือปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ลดลง

2. ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ กล่าวคือปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำและสูงเกินไป จะทำให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำ ดังนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะมีค่าคงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้ถ้าปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีค่ามากจะทำให้ตัวเร่งที่เกินมากไปทำปฏิกิริยากับน้ำมัน ธีรยุทธ์ (2551) ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จาก 0.5 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันสบู่ดำ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จาก 0.5 เป็น 1.0 เปอร์เซ็นต์ ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เฉลี่ย จะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จาก 1.0 เป็น 1.5 เปอร์เซ็นต์ ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เฉลี่ย จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้มีปริมาณมากเกินไปทำให้ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา

3. เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา ถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น เนื่องจากโอกาสที่สารตั้งต้นจะทำปฏิกิริยามีมากขึ้น ส่งผลให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีค่ามากขึ้น

Dias. et al. (2012) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันต่อการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ไขมันสัตว์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 2, 4 และ 8 ชั่วโมงพบว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะเพิ่มมากขึ้นด้วย

พนธ์นิภาและคณะ (2555) ทำการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล โดยเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 10 เป็น 20 และ 40 นาที พบว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นเป็น 60 นาที ได้ค่าเมทิลเอสเทอร์

ใกล้เคียงกับปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน 40 นาที แสดงให้เห็นว่า เวลานานขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น และพบว่าหลังจากการทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 40 นาทีปฏิกิริยาจะ เริ่มเข้าสู่สมดุล ดังนั้นการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ เพิ่มขึ้นจากเดิมมากนัก

Darnoko and Cheryan (2000) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 90 นาทีแรก ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 %w/w และอัตราส่วน โดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 พบว่าผลผลิตของร้อยละเมทิลเอสเทอร์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะเริ่มลดลงและเข้าสู่ภาวะสมดุลในระยะเวลา 60 นาที

4. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตไบโอดีเซล โดยความสามารถในการผสมกันระหว่าง แอลกอฮอล์และน้ำมันจะเกิดได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยของ ชีรยุทธ์ (2551) ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าเมื่อเพิ่ม อุณหภูมิจาก 40 เป็น 50 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เฉลี่ยจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ จาก 50 เป็น 60 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เฉลี่ยจะลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของเมทานอล (63 องศาเซลเซียส) ทำให้การไหลกลับ (Reflux) ของเมทานอลเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้เมทานอลมีโอกาสสัมผัสกับน้ำมันลดลง และได้ เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ลดลง

5. อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยามีหลายชนิด เช่น เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล โดยเมทานอลถูกนำไปใช้ในระดัการวิจัยและโรงงานอุตสาหกรรมในทางทฤษฎี พบว่า ต้องใช้เมทานอล 3 โมลต่อไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล หรือเพื่อให้ได้เมทิลเอสเทอร์ 3 โมล และกลีเซอรอล 1 โมล (ใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน เป็น 3:1) ในกรณีของน้ำมันบริสุทธิ์ พบว่าอัตราส่วน โดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 จะให้ผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุด (Meher.et al, 2006) ถ้ามี ปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วและสมบูรณ์มากขึ้น สำหรับน้ำมันที่ใช้ แล้ว พบว่าต้องใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันมากกว่า 6:1 จึงจะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มาก เนื่องจาก น้ำมันที่ใช้แล้วมีความหนืดสูงกว่า ทำให้ต้องใช้ปริมาณเมทานอลมาก เพื่อละลายน้ำมันและทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างน้ำมันกับเมทานอล (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553)

6. การปั่นกว

การปั่นกวมีความสำคัญต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากการปั่นกวมีส่วน ช่วยในการเริ่มต้นของปฏิกิริยาที่ทำให้น้ำมันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยามีการผสมกัน เนื่องจากน้ำมันและแอลกอฮอล์ที่ใช้นั้นไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ตามธรรมชาติ

และสารทั้งสองชนิดมีความสามารถในการละลายที่แตกต่างกัน ถ้าไม่มีการปั่นกวนปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณรอยต่อของชั้นน้ำมันกับแอลกอฮอล์เท่านั้น ดังนั้นการปั่นกวนจะช่วยทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้มากขึ้นและเร็วขึ้น แต่ถ้าการปั่นกวนมากกว่าค่าหนึ่งแล้วจะไม่ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วไปกว่านั้น เนื่องจากค่าๆนั้นเป็นค่าการสัมผัสของน้ำมันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากที่สุด (Rashid , 2008)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปาริชาติ และคณะ (2552) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากกากไขมันของร้านอาหาร โดยใช้ปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน คือ เอสเทอร์ฟิเคชันใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา รวมทั้งศึกษาความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากขั้นแรก โดยใช้รูปแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียล ($2 \times 2 \times 2$) มาประยุกต์ใช้ จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระต่อเมทานอล เป็นตัวแปรที่ผลมากที่สุดรองลงมาคือความเข้มข้นโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไม่ใช่ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิต ซึ่งสภาวะที่ให้ผลดีที่สุดในการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน คือใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระต่อเมทานอลเท่ากับ 1:5 ปริมาณกรดซัลฟิวริก เท่ากับ 5% ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง กรดไขมันอิสระจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์เกือบทั้งหมดในช่วง 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นผลผลิตจะลดลง ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 83.59% และปริมาณกรดไขมันอิสระในกากไขมันมีค่าลดลงเหลือ 6.12% คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดได้เท่ากับ 80.30% ส่วนการผลิตไบโอดีเซลในขั้นทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเมทิลเอสเทอร์สูงถึง 99.34%

ธัญวลัย และคณะ (2552) เป็นการศึกษาการนำกากไขมันจากบ่อดักไขมันของโรงงานผลิตและแปรรูปอาหารทะเลมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอน เนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันอิสระประกอบสูง ถึง 70 - 85 % ขั้นตอนแรกใช้กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันอิสระกับเมทานอล จนปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 2 โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขมันเท่ากับ 10:1 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกร้อยละ 3 โดยเทียบกับน้ำหนักไขมัน และเวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง ส่วนในขั้นที่สองใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นที่ 1 เท่ากับ 10:1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 30 นาที สามารถเตรียมไบโอดีเซลความบริสุทธิ์สูงที่สุดร้อยละ 66.22 และร้อยละผลผลิตของไบโอดีเซลเท่ากับ 64.02 ไบโอดีเซลที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน

พันธัณิภา และคณะ (2555) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคเจียวและศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคเจียว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ซึ่งในขั้นตอนที่ 1 ใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ส่วนในขั้นที่ 2 ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส โดยใช้สภาวะการทดลองของ Dias et al. (2008) ซึ่งไขมันโคเจียวนี้มีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงถึงร้อยละ 69.85 มีความชื้นเท่ากับ $0.0092 \pm 0.0002\%$ และมีปริมาณกรดไขมันอิสระค่าประมาณ $0.32 \pm 0.06\%$ คิดเป็นค่าความเป็นกรดอยู่ 0.79 ± 0.01 mgKOH/g จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคเจียว คือใช้ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 45 นาที และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 จากผลการวิเคราะห์จะได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์เท่ากับร้อยละ 97.56 โดยน้ำหนัก

เพ็ญจิตร และคณะ (2554) ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อร้อยละผลที่ได้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอนจากกรดไขมันปาล์มที่ได้จากการกลั่น ซึ่งกรดไขมันมีค่าความเป็นกรดที่ 154.6 มิลลิกรัม โดยขั้นตอนแรกสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันปาล์มจำนวน 50 กรัม คือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง โดยมีอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันปาล์ม เป็น 12:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 3.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน สภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ คือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันปาล์ม เป็น 6:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถูกกำหนดให้คงที่ ให้ร้อยละผลที่ได้ของน้ำมันไบโอดีเซล เท่ากับ 97.3 เปอร์เซ็นต์

ทัศนีย์ (2550) ศึกษาการสกัดน้ำมันสนุดำโดยใช้เบสโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มาผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อเป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล โดยนำการออกแบบทางสถิติแบบ Box-Behnken มาใช้ ปัจจัยที่ศึกษา คือปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา แล้วนำไบโอดีเซลที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยโปรแกรม Minitab เพื่ออธิบายผลร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ เวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และเทอมกำลังสองของตัวแปร ส่วนตัวแปรที่ไม่มีผลต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ คือ อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา และเทอมที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติหาสภาวะที่เหมาะสมที่ได้ คือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6.9:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5% โดยน้ำหนัก

ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที พบว่าได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เป็น 97.9 % และมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน EN 14214

เกศระวี และคณะ (2554) ศึกษาการนำไขมันโคมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ และสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตโดยใช้รูปแบบการทดลองแบบบล็อก-เบห์นเคนร่วมการวิเคราะห์แบบ Response Surface Methodology โดยปัจจัยที่ได้ทำการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลา 30-60 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.75-2.0 %w/w และอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล 6:1-15:1 ซึ่งจากการศึกษา พบว่า เมื่อนำไขมัน 1 กิโลกรัม มาสกัดน้ำมันด้วยวิธีการเจียวจะได้น้ำมันเท่ากับ 0.75 ลิตร น้ำมันที่เจียวได้จะมีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 1.17 ± 0.002 mgKOH/g คิดเป็นปริมาณกรดไขมันอิสระประมาณ $0.53 \pm 0.001\%$ ซึ่งไขมันโคมีปริมาณความชื้นน้อยมาก ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ กรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดสเตียริก และผลจากการวิเคราะห์นัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของแต่ละตัวแปรอิสระในแบบจำลอง พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งใช้วิธีวิเคราะห์ผลจากพื้นที่ตอบสนอง (Response Surface Methodology) ได้สภาวะที่เหมาะสมดังนี้ ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 40.30 นาที ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น 1.24 %w/w และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 15:1 นอกจากนี้การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ พบว่าค่าที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน

Encinar et al. (2011) ทำการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันสัตว์ที่ได้จากโรงฆ่าสัตว์แตกต่างกัน 3 ชนิด ใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เป็น 89% โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 9% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาเป็น 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เทียบกับการใช้ปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน ใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟิวริก 0.5% โดยน้ำหนัก หรือใช้กรดพาราโทลูอินซัลฟูนิค 1.0% โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ขั้นตอนนี้จะทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเหลือน้อยกว่า 0.5% แล้วนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5% โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ถึง 97.3% โดยน้ำหนัก ซึ่งไบโอดีเซลนี้มีคุณภาพและคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน EN 14214 ด้วย

Dias et al. (2011) ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันหมู โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ในสภาวะที่มีแคลเซียมเมกานีสออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ผลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology (RSM)) ในการ

หาสภาวะที่มีผลในการผลิตไบโอดีเซลที่บริสุทธิ์ โดยจะศึกษาอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของตัวเร่งร่วมด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 2, 4 และ 8 ชั่วโมง และจากผลการทดลอง พบว่าที่เวลา 4 ชั่วโมง ให้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์มากที่สุด คือ 92.4 wt% - 95.8 wt%

Dias et al. (2009) ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันหมูที่ใช้แล้ว โดยทำปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ในขั้นแรกทำการบำบัดกรดไขมันอิสระก่อนด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันที่อุณหภูมิ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด คือ อุณหภูมิ 65 °C ตัวเร่งปฏิกิริยา 2.0 wt% H₂SO₄ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง ไบโอดีเซลที่ได้จากขั้นที่สองหลังการบำบัดในขั้นแรก มีความหนืด 4.81 mm²s⁻¹ และมีความบริสุทธิ์ 99.6 wt% ซึ่งผ่านมาตรฐาน EN 14214



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่างน้ำมัน
 - 1.1 ชุดกรองลดความดัน
 - 1.2 บีกเกอร์ ขนาด 600 มิลลิลิตร
 - 1.3 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 2 (Filter paper)
2. อุปกรณ์สำหรับผลิตไบโอดีเซล
 - 2.1 เครื่องให้ความร้อนและกวนด้วยแท่งแม่เหล็กรุ่น C-MAG HS7 (Stirrer Hotplates) บริษัท Thai Pure Science Co., Ltd.
 - 2.2 เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง รุ่น ED224S บริษัท Sartorius
 - 2.3 เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Contact Thermometers) บริษัท ไอทีเอส (ไทยแลนด์) จำกัด
 - 2.4 เครื่องกรองลดความดัน (Filtration pressure)
 - 2.5 เครื่องควบแน่น (Condenser)
 - 2.6 ขวดก้นกลมสามคอ (3-neck round-bottomed flask)
 - 2.7 กรวยแยก (Separatory funnel)
 - 2.8 เครื่องแก้วต่างๆ (Glassware)
 - 2.9 แท่งแม่เหล็ก (Magnet)
 - 2.10 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
 - 2.11 กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ (Universal paper)
 - 2.12 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 43 (Filter paper)
 - 2.13 ขาตั้ง+ที่จับคอนเดนเซอร์+ห่วงเหล็ก (Stand+ Clamp+ Iron ring)
 - 2.14 อ่างน้ำร้อน (Water bath)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์

- 3.1 หลอด NMR ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร
- 3.2 เครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ BRUKER รุ่น Avance DPX 300 ด้วยความถี่ 300 เมกะเฮิรตซ์ สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ปรากฏตำแหน่งสัญญาณของ CHCl_3 ที่ δ 7.25 ppm

3.1.2 สารเคมี

1. สารเคมีสำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน
 - 1.1 น้ำมันทอดแคบหมู
 - 1.2 เมทานอล 99.99 เปอร์เซ็นต์ (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba)
 - 1.3 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (เกรดวิเคราะห์ บริษัท BDH Analar)
 - 1.4 แอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba)
 - 1.5 ถ่านกัมมันต์ ขนาด 12.01 เมช (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Rankem)
2. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์
 - 2.1 คลอโรฟอร์ม (CDCl_3)
3. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด
 - 3.1 ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์
 - 3.2 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N (เกรดวิเคราะห์ บริษัท BDH Analar)
 - 3.3 ฟีนอล์ฟทาลีน
4. สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ค่าไอโอดีน
 - 4.1 โซเดียมไทโอซัลเฟต (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Univar)
 - 4.2 โพแทสเซียมไอโอไดด์ 15%
 - 4.3 คลอโรฟอร์ม (เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba)
 - 4.4 Hanus Reagent
 - 4.5 น้ำแป้ง
 - 4.6 น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมตัวอย่างน้ำมัน

ตัวอย่างน้ำมันที่ใช้เป็นน้ำมันที่เหลือจากการทอดแคบหมูของกลุ่มแคบหมูไร้มันสมุนไพร ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี (รูปที่ 3.1) นำมากรองแบบลดความดัน โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 2 เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่ปนเปื้อนมากับน้ำมัน ก่อนนำไปใช้ในการศึกษาสมบัติ และการผลิตไบโอดีเซลต่อไป



รูปที่ 3.1 น้ำมันทอดแคบหมู

3.3 การศึกษาสมบัติของน้ำมันตัวอย่าง

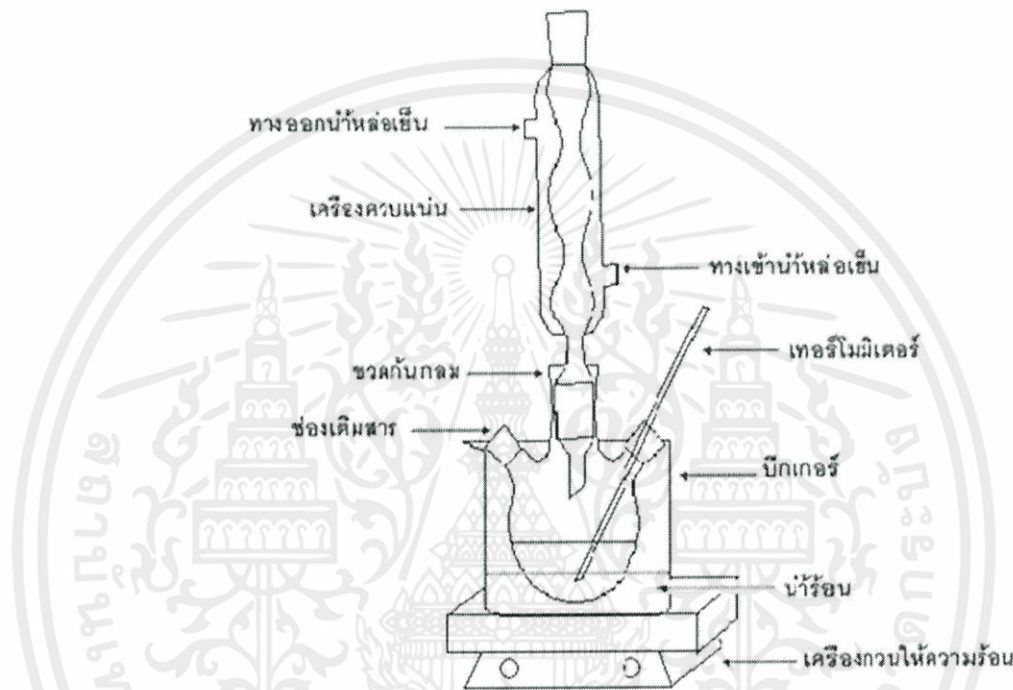
น้ำมันที่เตรียมได้จากข้อที่ 3.2 จะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันตัวอย่าง

| สมบัติ | หน่วยวัด | วิธีวิเคราะห์ |
|--|--------------------|---|
| ความชื้น (moisture) | ร้อยละโดยน้ำหนัก | อบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C และชั่งน้ำหนัก |
| ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) | ร้อยละโดยน้ำหนัก | ไทเทรชัน (titration) (กระทรวงพลังงาน, 2553) |
| ค่าความเป็นกรด (acid values) | มิลลิกรัม KOH/กรัม | ไทเทรชัน (titration) (กระทรวงพลังงาน, 2553) |
| ค่าไอโอดีน (Iodine values) | ร้อยละโดยน้ำหนัก | Hanus Method (นิธิยา, 2548) |
| ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ (fatty acid composition) | ร้อยละโดยน้ำหนัก | AOAC(2005) 996.06 (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้เผยแพร่ในเชิงพาณิชย์โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในสภาวะที่มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1. นำน้ำมันทอดแคบหมูไปต้มที่อุณหภูมิ 120°C เพื่อไล่น้ำออกจากน้ำมัน นาน 15 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นชั่งน้ำมันมา 100 กรัม ใส่ในขวดก้นกลมสามคอ
2. ติดตั้งอุปกรณ์ชุดรีฟลักซ์โดยต่อขวดก้นกลมสามคอที่มีน้ำมันอยู่เข้ากับคอนเดนเซอร์ ดังรูปที่ 3.2 แล้วอุ่นน้ำมันให้ได้อุณหภูมิ 60°C



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

3. เตรียมเมทานอลตามอัตราส่วนโดยโมลต่อน้ำหนักของน้ำมันที่กำหนด
4. ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และนำไปละลายในเมทานอลที่เตรียมไว้ในข้อ 3 จนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำไปอุ่นให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับน้ำมัน
5. เทสารผสมในข้อ 4 ลงในขวดก้นกลมสามคอในข้อ 2 ทำการปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที พร้อมกับเริ่มจับเวลา
6. ทำการรีฟลักซ์นานตามเวลาที่กำหนด
7. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว เทสารใส่กรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
8. ไขชั้นของกลีเซอรอลที่อยู่ด้านล่างออก แล้วนำชั้นเมทิลเอสเทอร์ที่อยู่ด้านบนไปต้มไล่

เอกสารนี้เป็น เมทานอลที่ยังเหลือออกกับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 9. เอน้ำมันที่ได้ใส่กรวยแยก เดิมน้ำอุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 70°C ใส่ลงในกรวยแยกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันที่ได้ ล้างจนกว่าน้ำที่อยู่ด้านล่างจะใส

10. ไซส่วนของไบโอดีเซลลงในบีกเกอร์ เติมน้ำมันไฮดรอกซีเพตและปั่นกวนเบาๆ เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปกรองแยกของแข็งออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 43

11. เติมน้ำมันก๊าดประมาณ 1 กรัมและปั่นกวนเบาๆเป็นเวลา 30 นาที เพื่อกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนที่ทำให้ไบโอดีเซลไม่บริสุทธิ์ แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 43 จะได้ไบโอดีเซลที่บริสุทธิ์

12. ชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิต (ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ก-8) วิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค ^1H Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy ($^1\text{H-NMR}$) (ดูวิธีการคำนวณในภาคผนวก ก-9) และนำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้

3.5 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

นำตัวอย่างน้ำมันในข้อ 3.2 มาผลิตไบโอดีเซลตามรายละเอียดวิธีการในข้อ 3.4 โดยเปลี่ยนระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 60 นาที เป็น 120 และ 240 นาที ตามลำดับ กำหนดให้สภาวะต่อไปนี้มีค่าคงที่ ได้แก่ อุณหภูมิ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.0% และใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันมีค่าเท่ากับ 9:1

3.6 การศึกษาผลของความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

นำตัวอย่างน้ำมันในข้อ 3.2 มาผลิตไบโอดีเซลตามรายละเอียดวิธีการในข้อ 3.4 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จาก 0.5% เป็น 1.0, 1.5 และ 2.0% ตามลำดับ กำหนดให้สภาวะต่อไปนี้มีค่าคงที่ ได้แก่ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันมีค่าเท่ากับ 9:1

3.7 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน

นำตัวอย่างน้ำมันในข้อ 3.2 มาผลิตไบโอดีเซลตามรายละเอียดวิธีการในข้อ 3.4 โดยเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันจาก 6:1 เป็น 9:1 และ 12:1 ตามลำดับ กำหนดให้สภาวะต่อไปนี้มีค่าคงที่ ได้แก่ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น 1.0% ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 120 นาที และอุณหภูมิที่ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดแคบหมู ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปัจจัยที่ศึกษาหรือตัวแปรต้น ได้แก่ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (C) เวลาในการทำปฏิกิริยา (t) และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน (M) ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1 สมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันทอดแคบหมู

เมื่อนำตัวอย่างน้ำมันจากการทอดแคบหมูชนิดไร้มันสมุนไพรมาวิเคราะห์สมบัติและชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ผลที่ได้แสดงได้ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

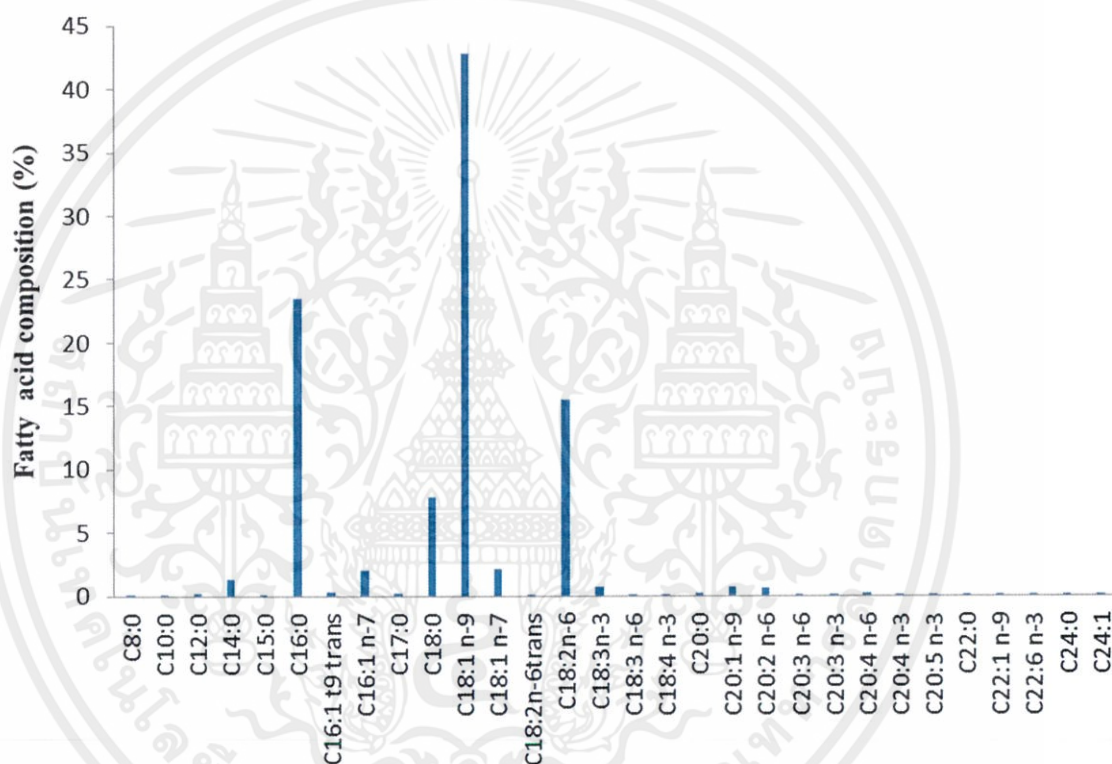
ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันทอดแคบหมูที่ใช้ในการศึกษา

| สมบัติ | หน่วยที่วัดได้ | ค่าที่วัดได้ |
|--------------------------|-------------------|----------------|
| ค่าความชื้น | ร้อยละ โดยน้ำหนัก | 0.013 ± 0.004 |
| ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g) | มิลลิกรัมKOH/กรัม | 5.98 ± 0.061 |
| ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%) | ร้อยละ โดยน้ำหนัก | 3.00 ± 0.031 |
| ไอโอดีน | ร้อยละ โดยน้ำหนัก | 61.26 ± 10.460 |

จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำมันทอดแคบหมูมีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 0.013 ± 0.004% ซึ่งถือว่าปริมาณความชื้นน้อยมากและไม่เป็นอุปสรรคต่อการผลิตไบโอดีเซลมีค่าความเป็นกรด 5.98 ± 0.061 mgKOH/g คิดเป็นค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ 3.00 ± 0.03% นอกจากนี้ น้ำมันทอดแคบหมูยังมีค่าไอโอดีน ระหว่าง 61.26 ± 10.46% โดยน้ำหนัก ซึ่งถือว่าปริมาณน้อยมากเหมาะสมในการนำมาผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากการผลิตไบโอดีเซลจะต้องเลือกน้ำมันที่มีค่าไอโอดีนที่ต่ำกว่า 120 ตามมาตรฐานที่กำหนดค่าไอโอดีนของไบโอดีเซล และเพื่อช่วยเพิ่มค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไบโอดีเซล (พิศมัยและลลิตา, 2549)

ผลจากการตรวจวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันจากน้ำมันทอดแคบหมูโดยห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) พบว่าน้ำมันทอดแคบหมูประกอบด้วยกรดไขมันหลัก 3 ชนิด เรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้กรดโอเลอิก (Oleic acid ; C18:1) กรดปาล์มิติก (Palmitic acid ; C16:0) และกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid ; C18:2 n-6)

ในปริมาณ 42.77, 23.51 และ 15.47 ต่อน้ำหนักน้ำมัน 100 กรัม ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.1 และพบว่ามีชนิดของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูงถึง 65.57% ขณะที่กรดไขมันอิ่มตัวมีอยู่ 33.45% สอดคล้องกับรายงานของนิธิยา (2548) ที่ระบุว่าชนิดและปริมาณไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันหมูและน้ำมันปาล์ม จะมีปริมาณของกรดโอเลอิกสูง และมีปริมาณกรดไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวสูงกว่ากรดไขมันชนิดอิ่มตัว โดยในน้ำมันหมูนั้นมีปริมาณกรดโอเลอิกสูงถึง 47% กรดปาล์มิติก 25% และกรดลิโนเลอิก 12% ส่วนในน้ำมันปาล์มมีปริมาณกรดโอเลอิกสูงถึง 45.2% กรดปาล์มิติก 4.8% และกรดลิโนเลอิก 7.9% ทั้งนี้ น้ำมันปาล์มมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมด 53.1% และมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด 49.6%



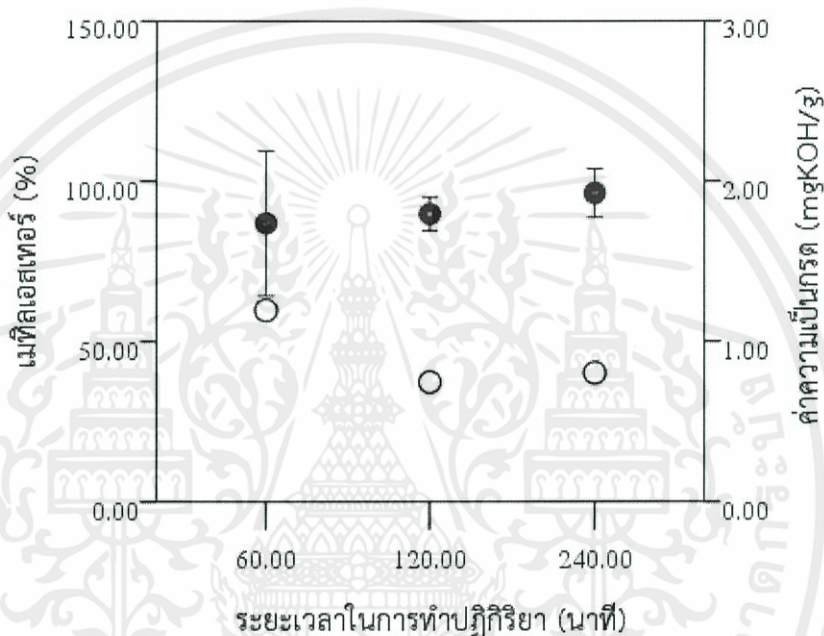
รูปที่ 4.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันตัวอย่าง

ข้อมูลองค์ประกอบและสัดส่วนของกรดไขมันในน้ำมันตัวอย่าง (ดูในภาคผนวกตารางที่ ค-1) สามารถนำไปคำนวณหาโมเลกุลโดยเฉลี่ยหมู่อัลคิลของกรดไขมัน ซึ่งแสดงสัญลักษณ์โดยตัวอักษร R_1 , R_2 , R_3 ในสูตรโครงสร้าง Triglyceride พบว่าใน 1 โมเลกุลจะมี R 3 ตัว เมื่อทำการคำนวณโดยใช้ข้อมูลชนิดและสัดส่วนของกรดไขมัน (ดูในภาคผนวกตารางที่ ค-1) จะได้ผลการคำนวณว่า R แต่ละตัวมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 227.424 g/mol (ดูในภาคผนวกตารางที่ ค-2) ดังนั้น R ทั้ง 3 ตัวจึงมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 682.272 g/mol และเมื่อนำผลมวลโมเลกุลของ R ทั้ง 3 ตัวไปรวมกับมวลโมเลกุลในส่วนหัวของ Triglyceride ซึ่งหนึ่งโมเลกุล ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน (C) เท่ากับ 6 อะตอม ไฮโดรเจน (H) เท่ากับ 5 อะตอม และออกซิเจน (O) เท่ากับ 6 อะตอม จะได้ว่าน้ำมันทอดแคบหมูมีมวลโมเลกุลโดยเฉลี่ยเท่ากับ 855.272 g/mol

4.2 การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.2.1 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ทำการศึกษาโดยเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 60 เป็น 120 และ 240 นาที ตามลำดับกำหนดให้สถานะในปฏิกิริยามีค่าคงที่ได้แก่ ความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 9:1 ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3



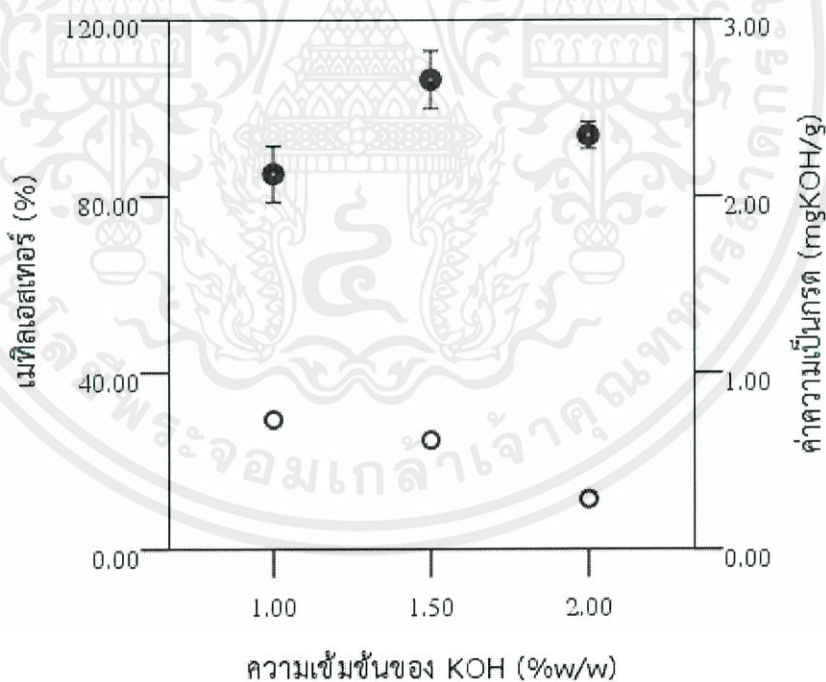
รูปที่ 4.2 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (●) และค่าความเป็นกรด (○) ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 60 เป็น 120 และ 240 นาที ค่าความเป็นกรดโดยเฉลี่ยของไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีแนวโน้มลดลงจาก 1.19 เหลือ 0.75 และ 0.73 mgKOH/g ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์บางส่วนถูกใช้ในการทำปฏิกิริยาสะเทินกับกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันตัวอย่าง นอกจากนี้พบว่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์โดยเฉลี่ยในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น ดังจะเห็นได้จากการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจาก 60 เป็น 120 และ 240 นาที ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์เท่ากับ 86.79 ± 9.10 เป็น 89.70 ± 2.10 และ $96.21 \pm 3.03\%$ ตามลำดับ เมื่อนำค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ไปทดสอบค่าทางสถิติด้วยวิธีการ One – way ANOVA พบว่าการเพิ่มขึ้นของร้อยละเมทิลเอสเทอร์มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ง-1) แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (60-240 นาที) ไม่ใช่ปัจจัยที่มี

ผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของปาริชาติและคณะ (2552) ที่พบว่า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของกากไขมันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (1 และ 3 ชั่วโมง) ไม่ใช่ปัจจัยหลักที่มีผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ เนื่องจากกรดไขมันอิสระจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเมทิลเอสเทอร์เกือบทั้งหมดในช่วง 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงเกิดผลิตภัณฑ์ลดลง และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Damoko และ Cheryan (2000) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์มในเครื่องปฏิกรณ์ โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วง 90 นาทีแรก ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 %w/w และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อไขมัน 6:1 พบว่าผลผลิตของร้อยละเมทิลเอสเทอร์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นจะเริ่มลดลงและเข้าสู่สภาวะสมดุลในระยะเวลา 60 นาที

4.2.2 ผลของความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ทำการศึกษา โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยาจาก 0.5 เป็น 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน ตามลำดับ กำหนดให้สภาวะอื่นๆ มีค่าคงที่ ได้แก่ อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 120 นาที และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อไขมันเป็น 9:1 ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ผลของความเข้มข้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (●)

และค่าความเป็นกรด (○) ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

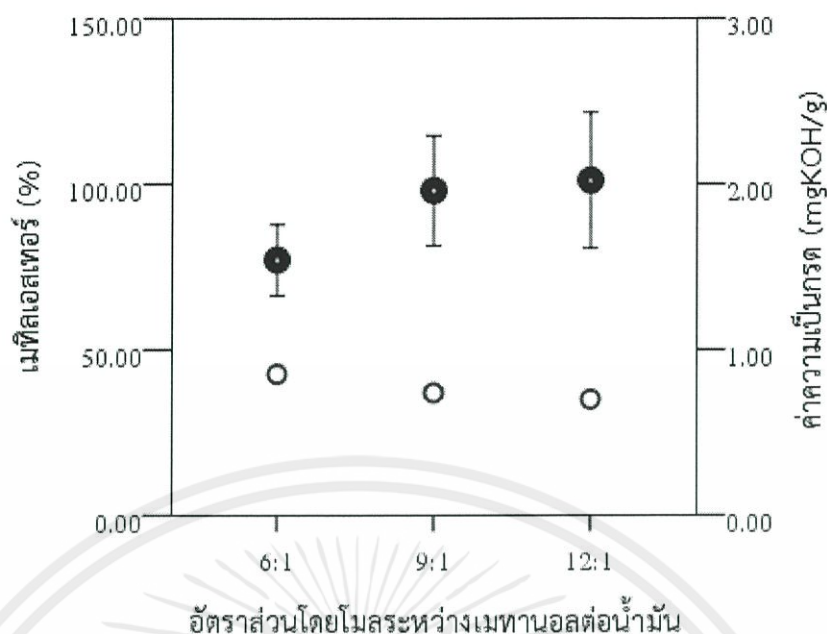
จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จาก 1.0 เป็น 1.5 และ 2.0 %w/w ค่าความเป็นกรดมีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

บางส่วนถูกใช้ในการทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันตัวอย่าง สอดคล้องกับผลการศึกษาเบื้องต้น (preliminary study) ซึ่งใช้ความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.5% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และพบว่าไม่เกิดการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอล เนื่องจากน้ำมันตัวอย่างที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดสบู่ในระหว่างการผลิตไบโอดีเซล (นาวล, 2013) และยับยั้งการเปลี่ยนของไตรกลีเซอรอลเป็นไบโอดีเซล (สุภกรและคณะ, 2553) เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จาก 1.0 เป็น 1.5 %w/w ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จาก $85.09 \pm 0.71\%$ เป็น $106.47 \pm 0.73\%$ เมื่อนำไปทดสอบค่าทางสถิติด้วยวิธีการ One – way ANOVA (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ง-2, ง-3) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น 2.0 %w/w พบว่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์จะมีค่าลดลง เหลือ $93.83 \pm 0.34\%$ ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการผลิตไบโอดีเซลเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อใช้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.5% w/w สอดคล้องกับงานวิจัยของ Azeanand Danisman (2007) ทำการศึกษาโดยใช้คลื่นไมโครเวฟด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดฝ้าย โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5 %w/w อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ เท่ากับ 91.4%

4.2.3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน

ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันซึ่งมีผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ ทำการศึกษาโดยเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันจาก 6:1 เป็น 9:1 และ 12:1 ตามลำดับ กำหนดให้สภาวะอื่นๆ สำหรับปฏิกิริยามีค่าคงที่ ได้แก่ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่ 120 นาที ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่มีผลต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (●) และค่าความเป็นกรด (○) ของไบโอดีเซลที่ผลิตได้

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันจาก 6:1 เป็น 9:1 และ 12:1 ทำให้ค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ได้มีค่าลดลงจาก 0.85 เป็น 0.74 และ 0.70 mgKOH/g ตามลำดับ การลดลงของค่าความเป็นกรดเกิดจากการทำปฏิกิริยาสะเทินของเบสบางส่วนกับกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันเริ่มต้น นอกจากนี้พบว่าปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลนั้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่สูงขึ้น โดยการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันจาก 6:1 เป็น 9:1 ได้ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จาก $77.07 \pm 4.32\%$ เป็น $97.99 \pm 6.68\%$ เมื่อนำไปทดสอบค่าทางสถิติด้วยวิธีการ One - way ANOVA (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ง-4, ง-5) และเมื่ออัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้นเป็น 12:1 ได้ปริมาณของร้อยละเมทิลเอสเทอร์เท่ากับ $101.04 \pm 8.24\%$ อย่างไรก็ตามพบว่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่เพิ่มขึ้นมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้จากการใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 9:1 (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ง-4, ง-5) แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่เหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซล คืออัตราส่วน 9:1 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Encinaret al. (2007) ทำการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้วกับเอทานอลที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ถึง 12:1 อุณหภูมิ 78°C และความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.0% พบว่าปริมาณเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอัตราส่วน

โดยโมระหว่างเอทานอลต่อน้ำมันในช่วง 9:1 ถึง 12:1 สำหรับอัตราส่วนโดยโมระหว่างเอทานอลต่อน้ำมันที่น้อยกว่า 6:1 จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ไม่สมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่เหลือจากการทอดแคบหมู โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสคือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ รวมทั้งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์และค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. น้ำมันทอดแคบหมู เป็นน้ำมันที่ได้จากการทอดหนังหมู โดยใช้น้ำมันปาล์ม ซึ่งจะมีไขมันหมูบางส่วนหลอมเหลวผสมอยู่ร่วมกับน้ำมันปาล์มภายหลังการทอด น้ำมันผสมนี้มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบสูงถึงร้อยละ 65.57 มีความชื้นอยู่น้อยมาก ($0.013 \pm 0.004\%$) มีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 5.98 ± 0.061 mgKOH/g คิดเป็นค่าปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ $3.00 \pm 0.031\%$ และมีค่าไอโอดีนเท่ากับ $61.26 \pm 10.460\%$

2. การเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 60 นาที เป็น 120 และ 240 นาที ทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้นจาก 86.79 ± 9.10 เป็น 89.70 ± 2.10 และ $96.21 \pm 3.03\%$ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าการเพิ่มขึ้นของร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลนั้น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. การเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จาก 1.0 %w/w เป็น 1.5 %w/w ทำให้ไบโอดีเซลมีร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้นจาก 85.09 ± 0.71 เป็น $106.47 \pm 0.73\%$ แต่เมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณมากขึ้นเป็น 2.0%w/w ทำให้ปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลงเหลือ $93.83 \pm 0.34\%$ นอกจากนี้หากใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณน้อยเกินไป ($0.5\%w/w$) เบสนั้นจะทำปฏิกิริยาสะเทินกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันตัวอย่างเกิดเป็นสบู่ ทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเกิดขึ้นได้น้อยหรือไม่เกิดขึ้นเลย

4. การเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันจาก 6:1 เป็น 9:1 จะทำให้ได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์มากขึ้นจาก $77.07 \pm 4.32\%$ เป็น $97.99 \pm 6.68\%$ ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงเพียงพอตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องข้อกำหนดคุณสมบัติไบโอดีเซล การเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 12:1 ทำให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกับเมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ 9:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการศึกษาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการนำน้ำมันที่ใช้แล้วมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล
- 2) ควรมีการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแล้วจากหลายแหล่ง
- 3) ควรมีการศึกษาเทคนิคเพิ่มเติมในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซล เพื่อเป็นการลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ที่ได้และปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง
- 4) เนื่องจากน้ำมันทอดแคบหมูมีปริมาณความชื้นน้อยมาก ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนในการผลิต จึงอาจไม่ต้องทำการระเหยน้ำออกจากน้ำมันทอดแคบหมู ในการเตรียมวัตถุดิบก่อนการผลิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. 2553. [online] ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล. สืบค้นจาก:

<http://www.rsu.ac.th/engineer/energy/download/002/Fact%20Sheet.doc>. [10 กันยายน 2556]

กระทรวงพลังงาน. 2554. สถิติพลังงานของประเทศไทย ๒๕๕๔. สืบค้นจาก:

<http://www.dede.go.th>. [2 ตุลาคม 2556].

กระทรวงพลังงาน. 2555. สถิติพลังงานของประเทศไทย ๒๕๕๕. สืบค้นจาก:

<http://www.dede.go.th>. [2 ตุลาคม 2556].

เกศระวี ปานทับ. 2554. การใช้ประโยชน์ของไขมันโคเจียวเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล.

โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2554.

ชาคริต ทองอุไร. 2554. [online] PSU ไบโอดีเซล 43: อิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาแอลคาไลน์เอกพันธ์. สืบค้นจาก: <http://share.psu.ac.th/blog/eng-biodiesel/21739>. [21 สิงหาคม 2556]

มติชน. 2549. [online] แคมเปญสร้างเงินผู้การผลิตน้ำมันใช้เองในชุมชน. สืบค้นจาก:

<http://library.dip.go.th/multim6/edoc/15767.pdf>. [24 กันยายน 2556]

จุฑาเกศ เทียนเมธางกูร. 2551. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วโดยกระบวนการใช้ตัวเร่งแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2551.

ทัศนีย์ สวัสดิ์พาณิชย์. 2550. การหาสถานะที่เหมาะสมทางสถิติไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่น้ำมันด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2550.

ทิพยเนตร อริยปิติพันธ์. 2551. [online] อันตรายของน้ำมันทอดซ้ำ. สืบค้นจาก:

<http://www.nutritionthailand.or.th>. [11 ตุลาคม 2556]

ธัญวลัย จิรหิรัญวงศ์, นิพนธ์ ตั้งคนานุรักษ์ และวิทยา ชั้นสุวรรณ. การใช้ไขมันจากบ๊อดักไขมันของโรงงานผลิตและแปรรูปอาหารทะเล เพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล. 2552. โครงการงานวิจัยวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2552.

ธีรยุทธ ธรรมวิจิตร. 2551. การหาสถานะที่เหมาะสมทางสถิติสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารน้ำมัน สบู่น้ำมันใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2551. เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นวดล เหล่าศิริพจน์. 2013. [online] กระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่มีอยู่ในปัจจุบัน. สืบค้นจาก:
<http://www.thaienergy.org>. [11 ตุลาคม 2556]
- นิธิยา รัตนปนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. กรุงเทพฯ:
 โอ.เอส. พรินติ้ง เฮาส์. น.11, 164-166.
- ปาริชาติ หาสุหนทร์, วิชชุดา ตุ่มทอง และสุกานดา ยศโชติ. 2552. การนำกากไขมันจากบ่อดักไขมัน
 ของ สถานที่จำหน่ายอาหารมาผลิตไบโอดีเซล. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต
 ภาควิชาเคมี สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2552.
- พันธ์นิภา ห้อยสันต์, ศศิธร พรหมประเสริฐ และอารยา แซ่ด่าน. 2555. การผลิตไบโอดีเซลจาก
 ไขมันโคโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต
 ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2555.
- พิศมัย เจนวนิชปัญญกุล และลลิตา อตันโก. 2549. รอบรู้เรื่องราวไบโอดีเซล. สมุทรปราการ:
 พินิจการพิมพ์. น.67
- เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, เมธี สายศรีหยุด และอนุสิทธิ์ ธนะพิมพ์เมธา. 2554. การศึกษาพารามิเตอร์ที่มี
 ผลต่อร้อยละผลได้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอนจากกรดไขมันปาล์ม
 ที่ได้จากการกลั่น. วารสารวิศวกรรมสาร มก. 24(75):81-89
- มาลี หมวกกุล. 2554. การพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตแคมพูในจังหวัดเชียงราย.
 วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่. 3(5):72.
- ยุวพันธ์ สันติทวีฤกษ์. 2553. แนวทางสู่ความสำเร็จของการประยุกต์ใช้ GHP:ผลิตแคมพู
 จังหวัดเชียงราย. 3(2):62.
- วัชรพร คงวิลาศ. 2556. น้ำมันทอดซ้ำ จุดเริ่มต้นของโรคร้ายเป็นภัยต่อชีวิต เป็นภัยต่อ
 สิ่งแวดล้อม. สืบค้นจาก: <http://suchons.wordpress.com/2013/04/21>. [11 ตุลาคม 2556]
- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 2556. [online] ธุรกิจปาล์มน้ำมันหลังก้าวเข้าสู่ AEC. สืบค้นจาก:
<http://www.ksmcare.com/Article/82/28155/ธุรกิจพลังงานหลังก้าวเข้าสู่-AEC>. [3 ตุลาคม 2556]
- สุกกร บุญยี่น, สมลักษณ์ เรืองสุทธิ, นฤภาพ จิรดา สิงขรรัตน์ และนภัทร ทวีกาญจน์. 2553.
 อิทธิพลของ กรดไขมันอิสระต่อการผลิตไบโอดีเซล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
 18 (2):38.
- อรทัย บุญทะวงศ์. 2555. [online] แคมพูไมโครเวฟ ไขมันต่ำเลี้ยงมะเร็ง. สืบค้นจาก:
<http://www.popcornfor2.com/content/-news-15236>. [1 ตุลาคม 2556]
- Awad, S., Paraschiv, M., Varuvel, E. and Tazerout, M. 2012. Optimization of biodiesel
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
Bioresource Technology. 129: 315-320.

- Azcan, N. and Danisman, A. 2007. Alkali catalyzed tranesterification of cottonseed oil by microwave irradiation. **Fuel**. 86: 2139-2644.
- Darnoko, D. and Cheryan, M. 2000. Kinetics of plam oil transesterification in a batch reactor. **JAOCS**. 77: 1263-1267.
- Dias, M., Maria C., Ferraz, A. and Almeida, F. 2009. Product of biodiesel from acid waste lard. **Bioresource Technology**. 100: 6355-6361.
- Dias, M., Maria C., Ferraz, A., Almeida, F. and Diaz, D. 2012. Select of heterogeneous catalysts for biodiesel production from animal fat. **Fuel**. 94: 418-425.
- Encinar, J., Gonzalez, J., Rodriguez-Reinarez, A. 2007. Ethanolsis of used frying oil. Biodiesel preparation and characterization. **Fuel Processing Technology**. 513 522
- Encinar, J., Sanchez, N., Martinez, G. and Garcia, L. 2011. Study of biodiesel production from animal fats with high free fatty acid content. **Bioresource Technology**. 102: 10907-10914.
- Meher, L., Dharmagadda, V., and Naik, S. 2006. Optimization of alkali - catalyzed transesterification of Pongamia pinnata oil for production of biodiesel. **Bioresource Technology**. 1392-1397
- Rashid, U., and Anva, F. Production of biodiesel through optimized alkaline - catalyzed transesterification of rapeseed oil. **Fuel**. 265-273
- Uzun, B., Kilic, M., Ozbay, N., Putun, A., and Putun, E. 2012. Biodiesel production from waste frying oil: Optimization of reaction parameters and determination of fuel properties. **Energy**. 44: 347-351.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์สมบัติบางประการของไบโอดีเซล และตัวอย่างการคำนวณ

1. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

1. โพแทสเซียมไฮดรเจนพทาเลต (KHP) ชั่ง 2.0437 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปิเปตใส่ขวดรูปชมพู่ 3 ขวด ขวดละ 10 มิลลิลิตร

2. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ชั่ง 2.8948 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตร 500 มิลลิลิตร นำไปไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรเจนพทาเลต (KHP)

3. ฟีนอล์ฟทาไลน์อินดิเคเตอร์ ชั่ง 0.2503 กรัม ละลายในเมทิลแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร

| ครั้งที่ | สเกลเริ่ม | สเกลยุติ | ปริมาตร KOH ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร) |
|----------|-----------|----------|--------------------------------------|
| 1 | 0.00 | 11.60 | 11.60 |
| 2 | 0.50 | 12.15 | 11.65 |
| 3 | 0.50 | 12.20 | 11.70 |
| | เฉลี่ย | | 11.65 |

ตัวอย่างการคำนวณ

- การหาความเข้มข้นของสารละลาย โพแทสเซียมไฮดรเจนพทาเลต KHP

$$\begin{aligned} \text{จาก } \frac{g}{MW} &= \frac{MV}{1000} \\ \frac{2.0437}{204.223} &= \frac{M \times 100}{1000} \\ M &= 0.1000 \text{ โมลาร์} \end{aligned}$$

- การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย KOH

$$\text{mol KOH} = \text{mol KHP}$$

$$M_{\text{KOH}} V_{\text{KOH}} = M_{\text{KHP}} V_{\text{KHP}}$$

$$M_{\text{KOH}} \times 11.65 = 0.1000 \times 10$$

$$M_{\text{KOH}} = 0.086 \text{ โมลาร์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ที่มีการนำไปใช้

2. การหาค่าความเป็นกรด

ค่าความเป็นกรดของน้ำมันตัวอย่างอ้างอิงวิธีการวิเคราะห์ตามกรมพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2553) ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการดังนี้

ชั่งน้ำมัน 5 กรัม เติมสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 25 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาเลอินดิเคเตอร์ปริมาณ 2 มิลลิลิตร นำมาไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว

ตารางที่ ก-1 ปริมาตร KOH ที่ใช้ในการไทเทรตหาค่าความเป็นกรดของน้ำมันตัวอย่าง

| ครั้งที่ | น้ำหนักน้ำมัน (กรัม) | ปริมาตร KOH ที่ใช้ ไทเทรต (มิลลิลิตร) | ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัมKOH / กรัม) |
|----------|-------------------------|--|---|
| 1 | 5.1130 | 6.35 | 5.99 |
| 2 | 5.1060 | 6.25 | 5.91 |
| 3 | 5.0800 | 6.35 | 6.03 |

ค่าความเป็นกรด (acid value) สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.1

การคำนวณ

$$A.V. = \frac{56.1 \times N \times V}{m} \quad (ก.1)$$

โดย A.V. = ค่าความเป็นกรด (mgKOH /gน้ำมัน)

N = ความเข้มข้นของ KOH (นอร์มอล, N)

m = น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง (g)

ตัวอย่างการคำนวณ

น้ำหนักน้ำมันที่ชั่งได้เท่ากับ 5.113 กรัม

$$A.V. = \frac{56.1 \times 0.086 \times 6.35 \text{ mL}}{5.113 \text{ g}}$$

$$= 5.98 \text{ mgKOH /g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid, FFA)

$$\text{กรดไขมันอิสระในรูปของปาล์มเมติก \%FFA (as palmitic acid)} = \frac{\text{A.V.}}{2.19}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned} \% \text{ FFA (as palmitic acid)} &= \frac{5.98}{2.19} \\ &= 2.73 \% \text{ w/w} \end{aligned}$$

4. การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

การหาค่าความชื้นในน้ำมันได้โดยวิธีการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จำนวนเปอร์เซ็นต์ความชื้นได้จากสมการ (ก.2)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \quad (\text{ก.2})$$

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned} &\text{น้ำหนักน้ำมันในซามระเหยก่อนอบ} \quad 73.737 \text{ กรัม} \\ &\text{น้ำหนักน้ำมันในซามระเหยหลังอบ} \quad 73.725 \text{ กรัม} \\ &= \frac{73.737 - 73.72}{73.737} \times 100 \\ &= 0.016 \% \end{aligned}$$

5. การหาค่าไอโอดีน

ค่าไอโอดีนในน้ำมันตัวอย่างทำการวิเคราะห์อ้างอิงตาม นิธิยา, (2548) ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ ดังนี้

ชั่งน้ำมัน 0.1 กรัม เติมคลอโรฟอร์ม 10 มิลลิลิตร และสารละลาย Hanus 10 มิลลิลิตร ปล่อยให้

ตั้งไว้ในที่มืดนาน 30 นาที จากนั้นเติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ 10 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 โมลาร์ จนสารละลายมีสีเหลืองอ่อน แล้วเติมน้ำแป้ง 2-3 หยด ไทเทรตต่อจนสารละลายเปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นไม่มีสี

คำนวณค่าไอโอดีนโดยใช้สมการ (ก.3)

$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{(b - a) \times N \times 126.9 \times 100}{1000 \times \text{น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างที่ใช้ (g)}} \quad (\text{ก.3})$$

เมื่อ

1 มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ทำปฏิกิริยาพอดีกับไอโอดีน 0.01269

N = สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล

b = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน ที่ใช้ไทเทรตของแบลงค์ (mL)

a = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน ที่ใช้ไทเทรตของน้ำมัน (mL)

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ค่าไอโอดีน} = \frac{(17.75 - 13.15) \times 0.1 \times 126.9 \times 100}{1000 \times 1.1010 \text{ g}}$$

$$\text{ค่าไอโอดีน} = 57.79 \text{ g/100g}$$

6. การคำนวณหาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน

การคำนวณหาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน มีวิธีการดังนี้

กำหนด :

- มวลโมเลกุลน้ำมันตัวอย่าง = 859.4 g/mol
- มวลโมเลกุลของเมทานอล = 32 g/mol
- ค่าความหนาแน่นของเมทานอล = 0.7918 g/ml

สูตรการคำนวณ

$$D = M/V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนด :

ใช้อัตราส่วน โดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 3:1 โดยใช้น้ำมันตัวอย่าง เริ่มต้นปริมาณ 100 กรัม

การคำนวณ :

$$1 \text{ โมลน้ำมันตัวอย่าง} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันตัวอย่างเริ่มต้น (g)}}{\text{มวลโมเลกุลของน้ำมันตัวอย่าง (g/mol)}}$$

$$= \frac{100 \text{ g}}{855 \text{ g/mol}}$$

$$\text{ดังนั้น} = 0.1170 \text{ mol}$$

จากการทดลอง น้ำมันตัวอย่าง 1 mol ใช้เมทานอล 3 mol
 เพราะฉะนั้น น้ำมันตัวอย่าง 0.1170 mol ต้องใช้เมทานอลเท่ากับ 0.3510 mol

ดังนั้น ปริมาณเมทานอลที่ใช้ในการทดลองผลิตไบโอดีเซลที่กำหนดอัตราส่วน โดยโมล
 ระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 3:1 เท่ากับ $\frac{0.3510 \text{ mol} \times 32 \text{ g/mol}}{0.7918 \text{ g/mol}} = 14.1854 \text{ ml}$

7. การคำนวณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

การคำนวณ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน
 มีวิธีการดังนี้

กำหนด :

ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2% โดยน้ำหนักของน้ำมัน โดยใช้น้ำมันตัวอย่าง
 เริ่มต้น 100 กรัม

การคำนวณ :

$$2\% = \frac{2 \times 100 \text{ g}}{100} = 2 \text{ g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารเชิงวิชาการซึ่งได้รับการเผยแพร่โดยมูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในพระบรมราชูปถัมภ์
 ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ (Yield)

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ของไบโอดีเซลตามวิธีของ ทัศนีย์ สวัสดิ์พาณิชย์ (2550) โดยสามารถคำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$\text{Yield} = \frac{\text{weight of product (g)}}{\text{weight of raw oil (g)}} \times 100$$

ตัวอย่างการคำนวณ

- จากการทดลองชั่งน้ำหนักของน้ำมันทอดแคบหมูเริ่มต้น เท่ากับ 100.33 กรัม
- น้ำหนักของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน เท่ากับ 80.04 กรัม

$$\text{ดังนั้น เปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้เท่ากับ } \frac{80.04}{100.33} \times 100 = 79.78 \%$$

9. การคำนวณหาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

การหาปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ อ้างอิงตามวิธีการของ A.O.C.S. (1989 อ้างถึงใน Wanvisa, 2009) โดยใช้สูตรในการคำนวณหาดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

โครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ไบโอดีเซลที่ผลิตโดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที ด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$ แสดงดังรูปที่ ก.1

Fig skin 6



รูปที่ ก-1 ตัวอย่างสเปกตรัมของไบโอดีเซลที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค $^1\text{H-NMR}$

จากโครมาโตแกรม: พื้นที่ใต้พีคของ $-\text{OCH}_3$ = 2.014
พื้นที่ใต้พีคของ $\alpha\text{-CH}_2$ = 1.450

$$\begin{aligned} \% \text{ FAME} &= \frac{100 \times (2 \times 2.014)}{3 \times 1.450} \\ &= 92.60 \% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์



รูปที่ ข-1 ตัวอย่างสเปกตรัมของไบโอดีเซลที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค ¹H-NMR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค¹H-NMR : ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

| ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (นาที) | ลำดับที่ | -OCH ₃ | α-CH ₂ | %FAME |
|---------------------------------|----------|-------------------|-------------------|-------|
| 60 | 1 | 1.568 | 1.370 | 76.30 |
| | 2 | 2.014 | 1.450 | 92.60 |
| | 3 | 1.922 | 1.401 | 91.46 |
| 120 | 1 | 1.624 | 1.320 | 82.02 |
| | 2 | 1.751 | 1.338 | 87.24 |
| | 3 | 1.571 | 1.196 | 87.57 |
| 240 | 1 | 1.574 | 1.054 | 99.56 |
| | 2 | 1.864 | 1.302 | 95.44 |
| | 3 | 1.746 | 1.226 | 94.94 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค¹H-NMR : ผลของความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

| ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) | ลำดับที่ | -OCH ₃ | α-CH ₂ | %FAME |
|--|----------|-------------------|-------------------|--------|
| 1 | 1 | 2.110 | 1.663 | 84.59 |
| | 2 | 1.673 | 1.275 | 85.59 |
| | 3 | 1.510 | 1.001 | 100.57 |
| 1.5 | 1 | 1.912 | 1.449 | 87.97 |
| | 2 | 2.082 | 1.310 | 105.95 |
| | 3 | 2.054 | 1.280 | 106.98 |
| 2 | 1 | 2.081 | 1.278 | 108.56 |
| | 2 | 1.766 | 1.258 | 93.59 |
| | 3 | 1.823 | 1.292 | 94.07 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 พื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ในไบโอดีเซลด้วยเทคนิค¹H-NMR : ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน

| อัตราส่วนโดยโมล (เมทานอล:น้ำมัน) | ลำดับที่ | -OCH ₃ | α-CH ₂ | %FAME |
|-------------------------------------|----------|-------------------|-------------------|--------|
| 1 | 1 | 1.278 | 1.165 | 73.13 |
| | 2 | 1.201 | 1.048 | 76.40 |
| | 3 | 1.093 | 0.892 | 81.69 |
| 2 | 1 | 1.684 | 1.177 | 95.38 |
| | 2 | 1.458 | 1.045 | 93.01 |
| | 3 | 1.617 | 1.021 | 105.58 |
| 3 | 1 | 1.516 | 1.043 | 96.90 |
| | 2 | 1.618 | 0.976 | 110.52 |
| | 3 | 1.754 | 1.222 | 95.69 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันทอดแคบหมู

ตารางที่ ก-1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันตัวอย่าง

| Designation | ชื่อของกรดไขมัน | หน่วย | ค่าที่วัดได้ |
|--------------------|----------------------------------|--------|--------------|
| กรดไขมันอิ่มตัว | | | |
| C8:0 | Caprylic acid | g/100g | 0.03 |
| C10:0 | Capric acid | g/100g | 0.05 |
| C12:0 | Lauric acid | g/100g | 0.23 |
| C14:0 | Myristic acid | g/100g | 1.28 |
| C15:0 | Pentadecanoic acid | g/100g | 0.05 |
| C16:0 | Palmitic acid | g/100g | 23.51 |
| C17:0 | Heptadecanoic acid | g/100g | 0.21 |
| C18:0 | Stearic acid | g/100g | 7.79 |
| C20:0 | Arachidic acid | g/100g | 0.19 |
| C22:0 | Behenic acid | g/100g | 0.02 |
| C24:0 | Lignoceric acid | g/100g | 0.09 |
| กรดไขมันไม่อิ่มตัว | | | |
| C16:1 t9 trans | Palmitelaidic methyl ester | g/100g | 0.32 |
| C16:1 n-7 | Palmitoleic acid | g/100g | 2.07 |
| C18:1 n-9 | Cis-9-Octadecenoic acid | g/100g | 42.77 |
| C18:1 n-7 | Cis-Vaccenic acid | g/100g | 2.14 |
| C18:2n-6trans | Linolelaidic acid | g/100g | 0.09 |
| C18:2n-6 | Cis-9,12-Octadecatrienoic acid | g/100g | 15.47 |
| C18:3n-3 | Cis-9,12,15-Octadecatrienoic | g/100g | 0.74 |
| C18:3 n-6 | Cis-6,9,12-Octadecatrienoic acid | g/100g | 0.03 |
| C18:4 n-3 | Moroctic acid | g/100g | 0.04 |
| C20:1 n-9 | Cis-11-Eicosenoic acid | g/100g | 0.75 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากพบข้อผิดพลาดหรือข้อสงสัย กรุณาแจ้งเจ้าของเอกสารที่ครั้งในการนำไปได้

| | | | |
|-----------|--|--------|------|
| C20:2 n-6 | Cis-11,14-Eicosadienoic acid | g/100g | 0.58 |
| C20:3 n-6 | Cis-8,11,14-Eicosatrienoic acid | g/100g | 0.08 |
| C20:3 n-3 | Cis-11,14,17-Eicosatrienoic acid | g/100g | 0.12 |
| C20:4 n-6 | Cis-5,8,11,14-Eicasatetraenoic acid | g/100g | 0.18 |
| C20:4 n-3 | Eicosatetraenoic acid | g/100g | 0.02 |
| C20:5 n-3 | Cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid | g/100g | 0.02 |
| C22:1 n-9 | Cis-13-Docosenoic acid | g/100g | 0.04 |
| C22:6 n-3 | Cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid | g/100g | 0.06 |
| C24:1 | Cis-15-Tetracosenoic acid | g/100g | 0.05 |

ตารางที่ ก-2 การคำนวณหามวลโมเลกุลของน้ำมันตัวอย่าง

| ชนิดกรดไขมัน | โครงสร้าง | มวลโมเลกุล | อัตราส่วน | ผลคูณ (มวลโมเลกุล และอัตราส่วน) |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------|---------------------------------------|
| | R_1, R_2, R_3 | R_1, R_2, R_3 | (%) | |
| Caprylic acid | C_7H_{17} | 101 | 0.03 | 0.0303 |
| Capric acid | C_9H_{19} | 127 | 0.05 | 0.0635 |
| Lauric acid | $C_{11}H_{23}$ | 155 | 0.23 | 0.3565 |
| Myristic acid | $C_{13}H_{27}$ | 183 | 1.28 | 2.3424 |
| Pentadecanoic acid | $C_{14}H_{29}$ | 197 | 0.05 | 0.0985 |
| Palmitic acid | $C_{15}H_{31}$ | 211 | 23.51 | 49.6061 |
| Palmitelaidic methyl ester | $C_{16}H_{31}$ | 223 | 0.32 | 0.7136 |
| Palmitoleic acid | $C_{15}H_{29}$ | 209 | 2.07 | 4.3263 |
| Heptadecanoic acid | $C_{16}H_{33}$ | 225 | 0.21 | 0.4725 |
| Stearic acid | $C_{17}H_{35}$ | 239 | 7.79 | 18.6181 |
| Cis-9-Octadecenoic acid | $C_{17}H_{33}$ | 237 | 42.77 | 101.3649 |
| Cis-Vaccenic acid | $C_{17}H_{33}$ | 237 | 2.14 | 5.0718 |
| Linolelaidic acid | $C_{17}H_{31}$ | 235 | 0.09 | 0.2115 |
| Cis-9,12-Octadecatrienoic acid | $C_{17}H_{31}$ | 235 | 15.47 | 36.3545 |
| Cis-9,12,15-Octadecatrienoic | $C_{17}H_{29}$ | 233 | 0.74 | 1.7242 |

| | | | | |
|--|----------------|-----|------|---------|
| Cis-6,9,12-Octadecatrienoic acid | $C_{17}H_{29}$ | 233 | 0.03 | 0.0699 |
| Moroctic acid | $C_{17}H_{27}$ | 231 | 0.04 | 0.0924 |
| Arachidic acid | $C_{19}H_{39}$ | 267 | 0.19 | 0.5073 |
| Cis-11-Eicosenoic acid | $C_{19}H_{37}$ | 265 | 0.75 | 1.9875 |
| Cis-11,14-Eicosadienoic acid | $C_{19}H_{35}$ | 263 | 0.58 | 1.5254 |
| Cis-8,11,14-Eicosatrienoic acid | $C_{19}H_{33}$ | 261 | 0.08 | 0.2088 |
| Cis-11,14,17-Eicosatrienoic acid | $C_{19}H_{33}$ | 261 | 0.12 | 0.3132 |
| Cis-5,8,11,14-Eicasatetraenoic acid | $C_{19}H_{31}$ | 259 | 0.18 | 0.4662 |
| Eicasatetraenoic acid | $C_{19}H_{31}$ | 259 | 0.02 | 0.0518 |
| Cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid | $C_{19}H_{29}$ | 257 | 0.02 | 0.0514 |
| Behenic acid | $C_{21}H_{43}$ | 295 | 0.02 | 0.0590 |
| Cis-13-Docosenoic acid | $C_{21}H_{41}$ | 293 | 0.04 | 0.1172 |
| Cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid | $C_{21}H_{31}$ | 283 | 0.06 | 0.1698 |
| Lignoceric acid | $C_{23}H_{45}$ | 321 | 0.09 | 0.2889 |
| Cis-15-Tetracosenoic acid | $C_{23}H_{45}$ | 321 | 0.05 | 0.1605 |
| รวม | | | | 227.424 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การทดสอบค่าทางสถิติด้วย One – way ANOVA

1. ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ ง-1 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (One way – ANOVA) : ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

| ANOVA | | | | | | |
|-------------------|----------------|----------------|----|-------------|-------|-------|
| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| เมทิลเอสเทอร์ (%) | Between Groups | 139.773 | 2 | 69.887 | 2.174 | 0.195 |
| | Within Groups | 192.851 | 6 | 32.142 | | |
| | Total | 332.624 | 8 | | | |

จากตารางพบว่า ค่า Sig = 0.195 (>0.05) หมายความว่า ยอมรับ H_0 ซึ่งแสดงว่า มีค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์อย่างน้อย 1 คู่ ที่มีค่าเท่ากัน ดังนั้นสรุปได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต่างกัน จะมีร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ ง-2 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (One way – ANOVA) : ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

| ANOVA | | | | | | |
|-------------------|----------------|----------------|----|-------------|---------|-------|
| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| เมทิลเอสเทอร์ (%) | Between Groups | 461.948 | 2 | 230.974 | 604.828 | 0.000 |
| | Within Groups | 1.146 | 3 | 0.382 | | |
| | Total | 463.093 | 5 | | | |

จากตารางพบว่า ค่า Sig = 0.000 (<0.05) หมายความว่า ปฏิเสธ H_0 ซึ่งแสดงว่า มีค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์อย่างน้อย 1 คู่ ที่มีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นสรุปได้ว่าความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันจะได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ซึ่งจะต้องมีการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของร้อยละเมทิลเอสเทอร์รายคู่ต่อไป ดังตารางที่ ง-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน

ตารางที่ ง-4 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (One way-ANOVA) : อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน

| ANOVA | | | | | | |
|-------------------|----------------|----------------|----|-------------|--------|-------|
| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| เมทิลเอสเทอร์ (%) | Between Groups | 1021.030 | 2 | 510.515 | 11.684 | 0.009 |
| | Within Groups | 262.170 | 6 | 43.695 | | |
| | Total | 1283.200 | 8 | | | |

จากตารางพบว่า ค่า Sig = 0.009 (<0.05) หมายความว่า ปฏิเสธ H_0 ซึ่งแสดงว่า มีค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์อย่างน้อย 1 คู่ ที่มีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นสรุปได้ว่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่แตกต่างกันจะได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ซึ่งจะต้องมีการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของร้อยละเมทิลเอสเทอร์รายคู่ต่อไป ดังตารางที่ ง-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้