



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้ประโยชน์ของน้ำมันที่ได้จากการเจียวไขมันโคเพื่อเป็นวัตถุดิบ
ในการผลิตไบโอดีเซล
Utilization of oil from rendering of beef fats as feedstock
for biodiesel production

ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

b. 12784308
i.

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 142897
ใน.เดือน.ปี. - 6 อี.ย. 2559

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย

จากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ การใช้ประโยชน์ของน้ำมันที่ได้จากการเจียวไขมันโคเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิต
ไบโอดีเซล

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2556

ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2555 ถึง กันยายน พ.ศ. 2556

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย

ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคด้วยปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 แบบ ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสและตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขมันโค อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยใช้ปริมาณผลผลิต (% yield) และความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) เป็นตัวตัดสินผลของปัจจัยที่ทำการศึกษาต่อคุณภาพของไบโอดีเซล จากการศึกษาพบว่าการสกัดไขมันโคด้วยวิธีการเจียว จะได้น้ำมันเท่ากับ 0.81 ลิตรต่อน้ำหนักไขมัน 1 กิโลกรัม โดยน้ำมันที่ได้จะเปลี่ยนเป็นไขแข็งเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง น้ำมันที่เจียวได้จะมีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบหลัก การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในสภาวะที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการดังกล่าวคือ NaOH เข้มข้น 0.50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขมันโคเท่ากับ 6:1 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที ซึ่งจะได้ร้อยละผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 92.1 เปอร์เซ็นต์ ไบโอดีเซลที่ได้มีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์สูงถึงร้อยละ 97.1 การผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ทำให้ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มีค่าสูงขึ้นเป็นร้อยละ 97.9 แต่มีผลทางลบต่อร้อยละของผลผลิตที่ได้ เมื่อใช้สภาวะในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกคือปริมาณกรดซัลฟิวริก 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 6:1 อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส และ 40 นาที ตามลำดับ และสภาวะสำหรับการทำปฏิกิริยาขั้นตอนที่ 2 คือ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 60 นาที

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล, ไขมันวัว, ไขโค, ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน,

Research Title: Utilization of oil from rendering of beef fats as feedstock for biodiesel production

Researcher: Asst.Prof.Dr. Usarat Thawornchaisit

Faculty: Science

Department: Chemistry

ABSTRACT

In this research, factors affecting biodiesel production from beef tallow via base catalyzed and two-step catalyzed transesterification processes were investigated. Factors including type of catalyst, amounts of catalyst, methanol to oil molar ratio, temperature and reaction time were tested using conversion yield (% yield) and purity of methyl esters (% FAME) as criteria for determining the effect of tested parameter on quality of biodiesel. Results showed that rendering of 1 kg of beef fats yielded 0.81 L of oil which subsequently turns into tallow at room temperature. The tallow consisted of saturated fatty acids as majors components. In base catalyzed reaction, sodium hydroxide (NaOH) was a more effective catalyst than potassium hydroxide and calcium hydroxide. Optimum conditions for base catalyzed transesterification of beef tallow were as follows: 0.5 wt% of NaOH, molar ratio of methanol to tallow at 6:1, reaction temperature at 45 °C and reaction time of 45 minutes. At this optimum condition, the conversion yield of tallow biodiesel was 92.1 % and the purity of methyl ester was 97.1%. Slight increase in purity of tallow biodiesel to 97.9% obtained when beef tallow was transesterified using two-step catalyzed process, while a negative effect on conversion yield was observed. The conditions for two-step transesterification were using 2 wt% of H₂SO₄, methanol to oil molar ratio of 6:1 at 45°C and reaction time of 40 minutes in the first step, followed by using 1 wt% of KOH, methanol to oil molar ratio of 6:1 at 65°C and reaction time of 60 minutes in the second step.

Keywords : Biodiesel, Beef fats, Beef tallow, Tranesterification

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่จัดสรรเงินทุนในการวิจัย รวมทั้งสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย ทำให้ผู้วิจัยสามารถนำความคิดสู่การปฏิบัติ ซึ่งช่วยให้เห็นผลที่เป็นรูปธรรม รวมทั้งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาตนเองในการด้านการทำงานวิจัย การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากงบประมาณเงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ ประเภทส่งเสริมนักวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ไบโอดีเซล	4
2.1.1 ประเภทของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	4
2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	7
2.2 ไชมันโค	9
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	13
3.1 การสกัดน้ำมันจากไชมันโค	14
3.2 การศึกษาสมบัติของน้ำมันตัวอย่าง	14
3.3 การผลิตไบโอดีเซลในห้องปฏิบัติการ	14
3.3.1 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่ง ปฏิกิริยาชนิดเบส	14
3.3.2 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แบบสองขั้นตอน	16
บทที่ 4 ผลการวิจัย	19
4.1 การสกัดน้ำมันจากไชมันโค	19
4.2 องค์ประกอบของน้ำมันจากไชมันโค	19
4.3 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส.....	21
4.3.2 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	22
4.3.3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน.....	23
4.3.4 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา.....	24
4.3.5 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา.....	25
4.4 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสอง ขั้นตอน.....	26
4.4.1 ผลของปริมาณกรดซัลฟิวริก.....	26
4.4.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา.....	27
4.4.3 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา.....	28
4.4.4 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน.....	29
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	31
บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย.....	32
เอกสารอ้างอิง.....	33
ภาคผนวก ก เอกสารผลงานวิจัยที่ได้รับจากการทำโครงการวิจัย.....	36
ภาคผนวก ข สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย.....	47
ข้อมูลประวัติผู้วิจัย.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดของกรดไขมันสำคัญบางตัวในไขมันสัตว์	10
2.2 ปริมาณกรดไขมันชนิดต่างๆ ในน้ำมันโค	10
3.1 วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันตัวอย่าง	14
4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันที่สกัดได้จากไขมันโค	19
4.2 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่เจียวได้จากไขมันโค	20
4.3 ผลของชนิดของเบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ร้อยละของผลผลิต (%Yield) และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ได้	22



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ 4
2.2	ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ 5
2.3	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (esterification) ของกรดไขมันอิสระ 6
3.1	แผนภาพการดำเนินงานวิจัย..... 13
3.2	ปัจจัยที่ทำการศึกษาศึกษาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา .. 15
3.3	อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล 15
3.4	ปัจจัยที่ทำการศึกษาศึกษาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แบบสองขั้นตอน 16
4.1	(ก) ลักษณะของไขมันโคเมื่อหั่นเป็นชิ้นเล็กก่อนนำไปเจียว และ (ข) น้ำมันที่เจียวได้จากไขมันโค 19
4.2	โครงสร้างของ Triglyceride 21
4.3	ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และร้อยละผลผลิต (% Yield)..... 22
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันกับร้อยละของ เมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และร้อยละผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้ 23
4.5	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และ ร้อยละผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้ 24
4.6	ผลของระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และ ร้อยละผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้ 25
4.7	ผลของปริมาณกรดซัลฟิวริกต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และ ร้อยละผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้ 26
4.8	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 ต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และร้อยละผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้ 28
4.9	ผลของระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 ต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และร้อยละผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้ 29
4.10	ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้ทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 ต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และร้อยละผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้ 30

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยวิกฤตการณ์ทางด้านราคาของน้ำมันปิโตรเลียมที่มีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสวนทางกับปริมาณสำรองของน้ำมันดิบที่กำลังลดจำนวนลง นอกจากนี้การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิลก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งในเรื่องภาวะมลพิษทางอากาศและปัญหาโลกร้อน ประกอบกับความต้องการพึ่งพาตนเองของประเทศไทยในการที่จะสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงาน ส่งผลให้ประเทศไทยจำเป็นต้องมีการค้นคว้าและพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนอย่างจริงจังและเร่งด่วน โดยการแสวงหาและพัฒนาแหล่งพลังงานที่มีในท้องถิ่น เพื่อทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม ไบโอดีเซลจัดเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่รัฐบาลโดยกระทรวงพลังงานมีนโยบายส่งเสริมการผลิตและการใช้เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียม ตามมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 28 มกราคม 2552^[1] ผลจากการดำเนินนโยบายดังกล่าว ทำให้ปริมาณความต้องการใช้ไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจาก 463 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบในปีพ.ศ. 2552 เป็น 661 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบในปีพ.ศ. 2554 ซึ่งคิดเป็นร้อยละการเปลี่ยนแปลงในปริมาณ +39.2%^[2]

ไบโอดีเซล คือเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification) หรือที่เรียกว่าอัลกอฮอล์ไลซิส (alcoholysis) ของแอลกอฮอล์กับสารประกอบจำพวกไตรเอซิลกลีเซอรอลหรือไตรกลีเซอไรด์โดยใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จนกระทั่งได้สารประกอบจำพวกอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid alkyl esters, FFAE) ที่มีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันดีเซล วัตถุดิบที่นำมาผลิตไบโอดีเซลมีอยู่ 2 ประเภทหลักได้แก่ พืชน้ำมัน (ทั้งประเภทที่สามารถนำน้ำมันไปบริโภคได้เช่น น้ำมันปาล์ม และไม่สามารถนำไปบริโภคได้อย่างเช่น สบู่ดำ) และน้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้ว เนื่องจากวัตถุดิบเหล่านี้มีลึพิดจำพวกไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นสารตั้งต้นสำคัญสำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันในปริมาณสูงถึงร้อยละ 90 ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันขึ้นอยู่กับผลิตผลทางการเกษตรเป็นสำคัญ ซึ่งทำให้ปัญหาการแย่งชิงวัตถุดิบระหว่างอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมด้านพลังงานทดแทน หรือปัญหาการแย่งชิงพื้นที่การเพาะปลูกระหว่างพืชน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลกับพืชน้ำมันที่ใช้เป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์จัดเป็นประเด็นที่ต้องมีการบริหารจัดการอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้^[3-6] ด้วยเหตุนี้การค้นคว้าหาวัตถุดิบอื่น ๆ ที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตไบโอดีเซลจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะเพิ่มทางเลือกของวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซลให้มีความหลากหลายมากขึ้น

ไขมันโคจัดเป็นวัตถุดิบทางเลือกประเภทหนึ่งที่มีศักยภาพนำมาผลิตไบโอดีเซลได้ เนื่องจากอัตราการเลี้ยงโคมีจำนวนเพิ่มขึ้นมากในแต่ละปี ดังจะเห็นได้จากตัวเลขจำนวนโคที่ถูกเลี้ยงระหว่างปี พ.ศ. 2548-2551 มีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 7,796,272 ตัว เป็น 9,112,093 ตัว ซึ่งคิดเป็นการเพิ่มขึ้นถึง

ร้อยละ 16.87 อีกทั้งอัตราการบริโภคเนื้อโคของคนไทยอยู่ที่ประมาณ 3.4 กิโลกรัมต่อคนต่อปี (ประมาณ 214,330 ตันต่อปี) และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มของประชากร^[7] ส่งผลให้มีปริมาณไขมันโคเกิดขึ้นในปริมาณสูงขึ้น ไขมันโคเหล่านี้ได้มาจากขั้นตอนการตกแต่งซากและชิ้นเนื้อ ซึ่งไม่ค่อยได้รับความนิยมในการนำมารับประทานและประกอบอาหารมากนัก เนื่องจากไม่สามารถสลายตัวได้ดีในร่างกายมนุษย์และอาจทำให้เกิดโรคร้ายที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ จากเหตุผลดังกล่าวไขมันโคจัดได้ว่าเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย มีมูลค่าต่ำ มีปริมาณเหลือทิ้งมาก และมีราคาถูก งานวิจัยฉบับนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่เจียวได้จากไขมันโคด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดและชนิดเบส ข้อมูลที่ได้รับสามารถใช้ประกอบการตัดสินใจเรื่องวัตถุดิบทางเลือกที่มีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีระยะเวลาในการศึกษาวิจัย 1 ปี เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2556 และมีขอบเขตการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ดังนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1 การสกัดน้ำมันจากไขมันโคด้วยวิธีการเจียว

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาสมบัติของน้ำมันที่เจียวได้จากไขมันโค

ขั้นตอนที่ 3 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาและศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณของไบโอดีเซล

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ สรุปผล จัดทำรายงานและนำเสนอผลงาน

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

แนวทางในการทำวิจัยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสกัดน้ำมันจากไขมันโคด้วยวิธีการเจียว

ไขมันที่ใช้ในการศึกษาเป็นไขมันโคที่ซื้อจากตลาดสด นำมาเจียวจนได้น้ำมัน จากนั้นทำการกรองด้วยผ้าขาวบาง พร้อมกับวัดปริมาณน้ำมันที่ได้จากการเจียว เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิทในตู้เย็นก่อนนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาสมบัติของน้ำมันที่เจียวได้

ไขมันโคที่เจียวได้จะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ โดยสมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ ความชื้น (Moisture) ค่าความเป็นกรด (acid values) ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acids) และปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ (Fatty Acid Composition)

ขั้นตอนที่ 3 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันโคด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด/เบส

3.1 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

ปัจจัยที่ทำการศึกษาหรือตัวแปรต้นได้แก่

- ชนิดของเบส : KOH, NaOH, Ca(OH)₂
- ปริมาณของเบส : 0.25, 0.50 และ 0.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไขมันที่ใช้
- อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน : 3:1, 6:1 และ 9:1
- อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา : 45, 55 และ 60 องศาเซลเซียส
- เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา : 45, 60 และ 75 นาที

ตัวแปรตามที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ร้อยละของผลผลิต (% Yield) และความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ (% Purity)

3.2 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน

ปัจจัยที่ทำการศึกษาหรือตัวแปรต้นในขั้นตอนที่ 1 ได้แก่

- ปริมาณกรดซัลฟิวริก : 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไขมันที่ใช้
- อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา : 45, 55 และ 60 องศาเซลเซียส
- เวลาในการทำปฏิกิริยา : 10, 20, 40 และ 60 นาที
- อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน : 6:1, 10:1 และ 20:1

สถานะในขั้นตอนที่ 2 อ้างอิงตาม Dias et al.^[8]

ตัวแปรตามที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ร้อยละของผลผลิต (% Yield) และความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ (% Purity)

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ สรุปผล และจัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงศักยภาพของการใช้ไขมันโคเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล
2. ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตและสมบัติของไบโอดีเซลจากไขมันโค
3. ได้แหล่งวัตถุดิบทางเลือกที่มีในประเทศและมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ใน

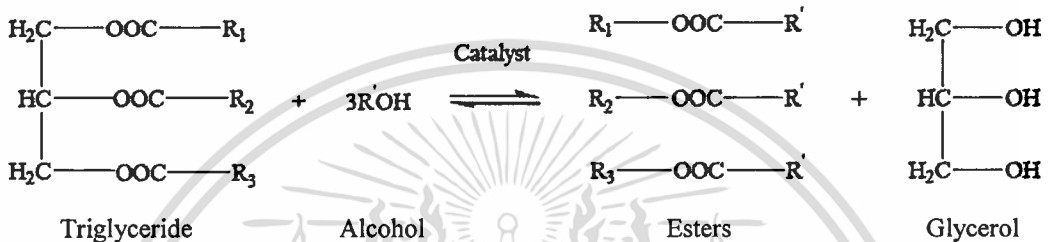
อุตสาหกรรมพลังงานทดแทน

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (biodiesel) เป็นสารเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) หรืออัลกอฮอล์ไลซิส (alcoholysis) ระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ ซึ่งสมการที่เกี่ยวข้องแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

สารเอสเทอร์ที่ได้จะมีชื่อเรียกตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา เช่นเมื่อใช้เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยา เรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่า เมทิลเอสเทอร์ หรือ Fatty Acid Methyl Esters (FAME) และเมื่อใช้เอทานอลในการทำปฏิกิริยา จะเรียกเอสเทอร์ที่ได้ว่าเอทิลเอสเทอร์ หรือ Fatty Acid Ethyl Esters (FAEE) อย่างไรก็ตาม ไบโอดีเซลเป็นคำรวมที่ใช้เรียกสารเอสเทอร์เหล่านี้ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนทางเลือกนอกเหนือจากดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียม^[9] ซึ่งเรียกชื่อโดยใช้สัญลักษณ์เป็น B เชื้อเพลิงดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้ด้วยการผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆกัน ซึ่งตัวเลขหลังตัวอักษร B แสดงปริมาณร้อยละของไบโอดีเซลที่ใช้ผสม เช่น B5 หมายถึงไบโอดีเซลผสมอยู่ร้อยละ 5 โดยปริมาตร หรือ B100 หมายถึงการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง

2.1.1 ประเภทของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

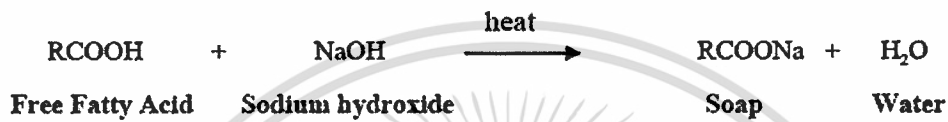
โดยปกติ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์ (น้ำมันพืช/ไขมันสัตว์) จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย เพื่อลดเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยาและเพิ่มปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้เพราะปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้^[10, 11] ด้วยเหตุนี้ประเภทของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทตามชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ดังนี้คือ

1. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจัดเป็นปฏิกิริยาที่นิยมใช้มากสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากให้ค่าผลผลิตที่สูง^[10] ใช้เวลาที่สั้นกว่าในการทำปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับการใช้กรดในปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่สมมูลกันได้ถึงประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4,000 เท่า^[11, 12] นอกจากนี้เบสมีค่ากัดกร่อนต่อเครื่องมืออุตสาหกรรมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา^[10] ดังนั้นจึงสามารถใช้ถังปฏิกรณ์ที่เป็นเหล็กคาร์บอนซึ่งมีราคาถูกกว่า^[12] โดยเบสที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (alkali homogeneous catalysts) ที่นิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เนื่องจากมีราคาถูกกว่าและเก็บรักษาได้ง่ายเมื่อเทียบกับโลหะอัลคอกไซด์อื่นๆ^[11] อย่างไรก็ตาม การใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีข้อจำกัดที่สำคัญคือ ถ้ามีปริมาณน้ำและกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบมากเกินไป จะทำให้เสี่ยงต่อการเกิดสบู่จากปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันดังแสดงในรูปที่ 2.2 ทำให้ต้องเพิ่มต้นทุนในการแยก และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลง



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ

Ma et al.^[13] ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีร้อยละผลผลิต(%Yield) สูงกว่าเมื่อเทียบกับการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์ (Sodium Methoxide, NaOMe) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณของเบสที่เหมาะสมคือ 0.3%w/w และ 0.5%w/w สำหรับ NaOH และ NaOMe ตามลำดับ

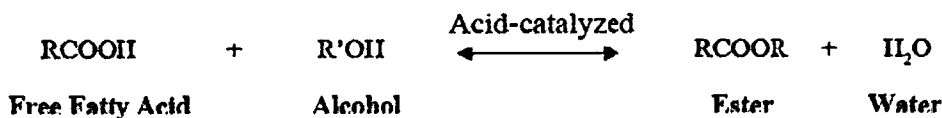
Singh et al.^[14] ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันคาโนลา (Canola oil) โดยใช้เบส 4 ชนิดได้แก่ NaOH, KOH, NaOMe และ KOMe เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกโพแทสเซียมจะได้ร้อยละผลผลิตสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกโซเดียม แต่มีข้อจำกัดคือทำให้เกิดสบู่มากกว่าเมื่อเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกโซเดียม ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาเมทอกไซด์จะได้ร้อยละผลผลิตที่สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ของโลหะอัลคาไลน์เดียวกัน ข้อจำกัดคือสารมีราคาแพงกว่า

Vincente et al.^[15] ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลของน้ำมันดอกทานตะวันโดยใช้ KOH, NaOH และเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กำหนดความเข้มข้นของเบสที่ใช้ทำปฏิกิริยาเท่ากับ 1%w/w และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 6:1 จากการศึกษาพบว่าเมทอกไซด์ให้ค่าร้อยละผลผลิตมากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ รองลงไปคือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (91.67%) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (85.9%)

2. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานิยมใช้กับน้ำมัน/ไขมันที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูง เช่น น้ำมันที่ใส่แล้ว (waste cooking oils) เนื่องจากกรดจะช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์-เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พีเคชัน (esterification) ของกรดไขมันอิสระดังแสดงในรูปที่ 2.3 นอกเหนือจากปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งจะทำให้ได้คาร์บอนิลอะลด์สูงชัน โดยกรดที่นิยมใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่กรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟิวริก



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (esterification) ของกรดไขมันอิสระ

อย่างไรก็ตามการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีข้อเสียคือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานกว่าถึงประมาณ 4,000 เท่าเมื่อเทียบกับการใช้เบสในปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่สมมูลกัน^[11] นอกจากนี้ยังต้องใช้อุณหภูมิและความดันที่สูงกว่าในการทำปฏิกิริยา^[11] อีกทั้งมีค่าการกัดกร่อนต่อเครื่องมือที่สูงกว่าและยังต้องมีกระบวนการกำจัดกรดส่วนเกิน ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงกว่าการใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Zullaikah et al.^[16] ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันรำข้าวที่มีกรดไขมันอิสระเจือปนในปริมาณแตกต่างกัน ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 10:1 ใช้ตัวเร่งเป็นกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 2เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าปริมาณไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันรำข้าวที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระเกินกว่า 20% ยังมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเริ่มต้น แม้จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน 24 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา

3. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบสองขั้นตอน จัดเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากใช้กรดและเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกัน โดยกรดจะใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนแรก เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันพืช/ไขมันสัตว์ จากนั้นเบสจะถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นที่สอง เพื่อเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์เป็นเอสเทอร์ ส่งผลให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้เมทิลเอสเทอร์ในปริมาณมากขึ้น ปฏิกิริยานี้จึงเหมาะสำหรับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณสูง เช่นน้ำมันใช้แล้วหรือน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ กระบวนการนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล

Zullaikah et al.^[16] ได้แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนสามารถใช้เวลาสั้นกว่าในการผลิตไบโอดีเซลของน้ำมันรำข้าวที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณมากกว่า 20% เมื่อเทียบกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกคือปริมาณกรดซัลฟิวริก 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 5:1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60°C เมื่อกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์ถูกเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลานาน 2 ชั่วโมง ขึ้นของตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะถูกแยกออกและใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในขั้นตอนที่สอง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนแรกประกอบด้วย FAME 62 เปอร์เซ็นต์ เอซิลกลีเซอไรด์ 34.8 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันอิสระ 3.2 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสิ้นสุดการทำปฏิกิริยาขั้นที่สองได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์รวมทั้งหมดมากกว่า 96 เปอร์เซ็นต์ รวมระยะเวลาทั้งหมดในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 8 ชั่วโมง

อย่างไรก็ตาม การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอกพันธ์แบบสองขั้นตอนก็มีข้อเสียคือ ไม่สามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้^[10]

4. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาที่ใช้กรดหรือเบสแบบเอกพันธ์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีข้อจำกัดที่สำคัญหลายประการเช่น ต้องมีกระบวนการแยกกลีเซอรอลและการกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนเกิน ใช้พลังงานสูงในการทำปฏิกิริยา ต้องมีการปรับสภาพวัตถุดิบที่มีน้ำและกรดไขมันอิสระสูง และยังต้องมีกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่เกิดในขั้นตอนการล้าง ด้วยเหตุนี้การใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงเป็นกระบวนการที่ได้รับความสนใจ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีการรายงานว่าสามารถนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้จากพืชน้ำมันหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง เมล็ดดอกทานตะวัน มะพร้าว รำข้าว และไขมันจากสัตว์^[11] แต่เนื่องจากเอนไซม์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีราคาแพง วิธีการนี้จึงไม่เป็นที่นิยมมากนัก แต่ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนแรก จากนั้นจึงใช้ไลเปสเข้าทำปฏิกิริยาต่อเพื่อให้เปอร์เซ็นต์เอสเทอร์ที่ได้ในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ซึ่งวิธีนี้ก็สามารถลดต้นทุนในส่วนของไลเปสลงได้ (Fukuda et al., 2001 อ้างถึงในธีรยุทธ^[10])

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

1. ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

น้ำและกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน รวมไปถึงความชื้นในตัวเร่งปฏิกิริยาและแอลกอฮอล์ เป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน สบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลง นอกจากนั้นยังส่งผลต่อคุณสมบัติของไบโอดีเซลคือทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจลและยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอล^[17] งานวิจัยของ Ma et al.^[13] ซึ่งศึกษาผลของปริมาณน้ำและกรดไขมันอิสระต่อการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโค พบว่าร้อยละของผลผลิตมีค่าลดลงเมื่อไขมันมีน้ำและกรดไขมันอิสระในปริมาณสูงขึ้น ทั้งนี้ไขมันโคที่นำมาผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคควมมีน้ำไม่เกิน 0.06% และมีกรดไขมันอิสระไม่เกิน 0.5%

2. ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อปริมาณของไบโอดีเซลที่ได้ เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ เพราะฉะนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินพอ เพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดไปทางขวามากขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อไตรกลีเซอไรต์ในทางทฤษฎีคือ 3:1 ดังนั้นยังอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์มากขึ้น จะทำให้ได้เอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) มากขึ้นภายในเวลาที่สั้นลง Mendoca et al.^[18] พบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันจาก 3:1 เป็น 6:1 และ 9:1 ในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้ร้อยละผลผลิต (%yield) และความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ (%purity) ในปริมาณสูงขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าหากอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์กับน้ำมันพีซีมีค่าสูงเกินไปจะมีผลต่อการแยกกลีเซอรอลออก เพราะมีการละลายของกลีเซอรอลในเมทานอลเพิ่มขึ้น เมื่อกลีเซอรอลยังคงละลายอยู่ในสารละลายจะช่วยให้สมดุลเกิดย้อนกลับไปทางซ้ายมือ ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์น้อยลง

3. ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยลดระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาให้สั้นลง ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจัดเป็นปัจจัยที่มีผลทางบวกต่อร้อยละของผลผลิตและความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา^[18] อย่างไรก็ตามปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไป อาจไม่ได้เป็นช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดมากขึ้น แต่กลับเพิ่มค่าใช้จ่ายในขั้นตอนของการล้างเอาตัวเร่งปฏิกิริยาเบสออกจากผลิตภัณฑ์^[19]

4. ผลของชนิดของแอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีหลายชนิดได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล ไอโซโพรพานอล บิวทานอล และเพนทานอล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมทานอลเนื่องจากเป็นแอลกอฮอล์ที่มีราคาถูก โมเลกุลเล็ก และมีความเป็นขั้วสูงทำให้สามารถละลายตัวเร่งปฏิกิริยาได้^[17]

5. ผลของอุณหภูมิ

ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน สามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่างๆ ขึ้นกับชนิดแอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินจุดเดือดส่งผลให้ได้ร้อยละของผลผลิตลดลง^[18] เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวเกิดการระเหยกลายเป็นไอของแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา ทำให้แอลกอฮอล์ในเฟสของเหลวมีปริมาณลดลง^[7]

6. ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา นั่นคือถ้าเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้นเช่นกัน

7. ผลของอัตราการกวนผสม

การกวนผสมถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมากสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพราะน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับแอลกอฮอล์ และตัวเร่งปฏิกิริยาดังนั้นจึงต้องมีการกวนผสมให้เนื้อสารสัมผัสกันปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจึงจะเกิดและได้เป็นไบโอดีเซล

2.2 ไขมันโค

ไขมันโค หมายถึง ส่วนของเนื้อเยื่อไขมันที่แทรกอยู่ตามอวัยวะและกล้ามเนื้อของสัตว์ในตระกูล *Bos Taurus* เช่น โคหรือโคขุน^[20] เนื้อเยื่อไขมันเหล่านี้เกิดจากสัตว์ได้พลังงานจากอาหารเกินกว่าที่ร่างกายต้องการใช้ จึงสะสมไว้ในลักษณะของไขมันตามอวัยวะและเนื้อเยื่อต่างๆ ในร่างกายในหลายลักษณะ ได้แก่ ไขมันแข็ง (back fat) ไขมันเปลว (leaf fat) ไขมันบริเวณไหล่ (shoulder fat) ไขมันบริเวณคอ (neck fat)^[21] ปริมาณไขมันในเนื้อโคมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอายุของสัตว์ ชนิดของพันธุ์อาหารและวิธีการเลี้ยง^[20] ไขมันในส่วนนี้มักพบเป็นส่วนที่เหลือจากการตัดแต่งชิ้นเนื้อของโค ซึ่งเมื่อนำมาหั่นเป็นชิ้นเล็กและบาง และนำไปผ่านการสกัดด้วยความร้อนหรือวิธีทางเคมีโดยใช้ตัวทำละลาย จะทำให้เซลล์ไขมันแตก และมีน้ำมันไหลออกมา ไขมันโคมีทั้งชนิดที่ดีและไม่ดี ไขมันโคชนิดดีที่เรียกว่า Premier jus เป็นไขมันที่ใช้บริโภคเป็นน้ำมันทอด น้ำมันอบ หรือใช้ทำเนยเทียม ส่วนไขมันที่ต่อคุณภาพจะมีสีเหลืองเรื่อและค่อนข้างมีกลิ่น มักจะใช้ในอุตสาหกรรมทำสบู่ เทียนไข ใช้ผสมกับน้ำมันหล่อลื่น หรือใช้เป็นสารตกแต่งหนังสัตว์

ไขมันโคประกอบด้วยกลีเซอไรด์ (Glycerides) ของกรดไขมันทั้งแบบอิ่มตัว (Saturated fatty acids) และไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids) โดยมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงกว่าปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยชนิดของกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากในไขมันโคคือกรดสเตียริกและกรดปาล์มมิติก ในขณะที่ชนิดของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุดคือกรดโอเลอิก ตามลำดับ (ตารางที่ 2.1 และ 2.2) ด้วยเหตุที่ไขมันโคประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูง ทำให้ไขมันโคไม่เหมาะสมที่จะนำมาบริโภค เนื่องจากเมื่อรับประทานเข้าไปแล้วจะส่งผลต่อไขมันในกระแสเลือดรวมทั้งไปเพิ่มโคเลสเตอรอลชนิดไม่ดี (LDL) ในร่างกาย ส่งผลให้เกิดโรคร้ายไข้เจ็บต่างๆ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น^[22]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วีระศักดิ์ โชติกานต์กุล^[20] ทำการศึกษาความเหมาะสมและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการนำไขมันโคขุนโพนยาคำมาผลิตไบโอดีเซล และทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กที่ใช้ใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากไขมันโคขุนโพนยาคำ รวมทั้งทดสอบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล B5 จากผลการเปรียบเทียบชนิดของไขมันจากโคขุนโพนยาคำ 2

ตารางที่ 2.1 ชนิดของกรดไขมันสำคัญบางตัวในไขมันสัตว์

กรดไขมัน	จำนวน คาร์บอน: พันธะคู่	สัตว์เคี้ยวเอื้อง		สัตว์และผลิตภัณฑ์จากสัตว์อื่นๆ		
		นม	เนื้อ	เนื้อหมู	สัตว์ปีก	ไข่
ชนิดอิ่มตัว						
- Lower	<12	11	-	-	-	-
- Myristic	14:0	12	3	1	1	1
- Palmitic	16:0	31	36	25	25	23
- Stearic	18:0	21	24	14	4	4
ชนิดไม่อิ่มตัว						
- Palmioleic	16:1	4	3	3	7	5
- Oleic	18:1	24	27	47	43	47
- Linoleic	18:2	3	3	8	18	16
- Linolenic	18:3	1	1	-	-	2
อื่นๆ	-	3	3	2	2	2

ที่มา : Bitman อ้างถึงในเกษตรวิ, ญพร และสุทธิมา^[23]

ตารางที่ 2.2 ปริมาณกรดไขมันชนิดต่างๆ ในน้ำมันโค

กรดไขมัน	ปริมาณ (wt%)
กรดลอริก (Lauric acid)	0-0.1
กรดไมริสติก (Myristic acid)	1.4-7.8
กรดปาล์มิติก (Palmitic acid)	17-37
กรดสเตียริก (Stearic acid)	6-40
กรดโอเลอิก (Oleic acid)	26-50
กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid)	0.5-5
กรดปาล์มิโตเลอิก (Palmitoleic acid)	< 2.5

ที่มา : Gunstone, Harwood และ Padley อ้างถึงในภทรพงศ์^[7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดในการผลิตน้ำมันโค พบว่าไขมันอุ่นมาบดแล้วให้ความร้อนด้วยวิธีการทอดจะให้น้ำมันในปริมาณมากกว่าไขมันแบบแช่แข็ง การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันโคด้วยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบสองขั้นตอน จะได้ไบโอดีเซลที่มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันไบโอดีเซล B5 ในด้านความหนาแน่น ความหนืด จุดวาบไฟ จุดติดไฟ และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ผลการทดสอบการใช้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก พบว่าสามารถนำไปใช้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ ไม่ทำให้เครื่องยนต์เดินสะดุด และไม่ทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลง ผลการทดสอบการเผาไหม้พบว่าไบโอดีเซลจากไขมันโคขุนโพยอย่างค่ามีค่าคว้นค่าต่ำกว่าไบโอดีเซล B5 นอกจากนี้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

Nelson and Schrock^[24] ทำการประเมินความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์และทางด้านพลังงานของการใช้ไขมันโคที่ได้จากโรงฆ่าสัตว์เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล จากการประเมินในแง่ปริมาณวัตถุดิบพบว่าไขมันโคจัดเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณมากและมีราคาถูกในประเทศสหรัฐอเมริกา ผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์และทางด้านพลังงานพบว่าน้ำมันที่เจียวได้จากไขมันโคมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล โดยราคาของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ขึ้นกับราคาของวัตถุดิบเป็นหลัก

Zheng and Hannah^[25] ทำการศึกษาปริมาณกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบของไขมันโคและไบโอดีเซลที่ผลิตจากไขมันโคด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าไขมันโคและเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากไขมันโคมีกรดโอเลอิก (C18:1) เป็นองค์ประกอบหลัก รองลงไปคือกรดปาล์มิติก (C16:0) และกรดสเตียริก (C18:0) ตามลำดับ ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบสองขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรก ไขมันโคจะทำปฏิกิริยากับเมทานอลในอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขมันเท่ากับ 6:1 ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภายหลังจากการแยกกลีเซอรินกับเมทานอลออกไป เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะถูกนำไปทำปฏิกิริยาอีกครั้ง โดยใช้เมทานอล ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าไบโอดีเซลที่ได้มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันไบโอดีเซลมาตรฐาน No. 2

Bhatti et al.^[26] ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันสัตว์ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้กรดซัลฟิวริกหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ไขมันสัตว์ที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ไขมันไก่และไขมันจากเนื้อแกะ โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ผลการศึกษาพบว่าการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในปริมาณสูงกว่าการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นดังนี้คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขมันเท่ากับ 30: 1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 50°C และ 60°C และน้ำหนักกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 1.25 กรัม และ 2.5 กรัม เมื่อใช้ไขมัน

ไก่อและไขมันจากเนื้อแกะหนัก 5 กรัมตามลำดับ ณ สภาวะดังกล่าวจะได้ไขมันไก่อจะให้ร้อยละของ ไบโอดีเซล/เมทิลเอสเทอร์ในปริมาณสูงกว่าไขมันจากเนื้อแกะ

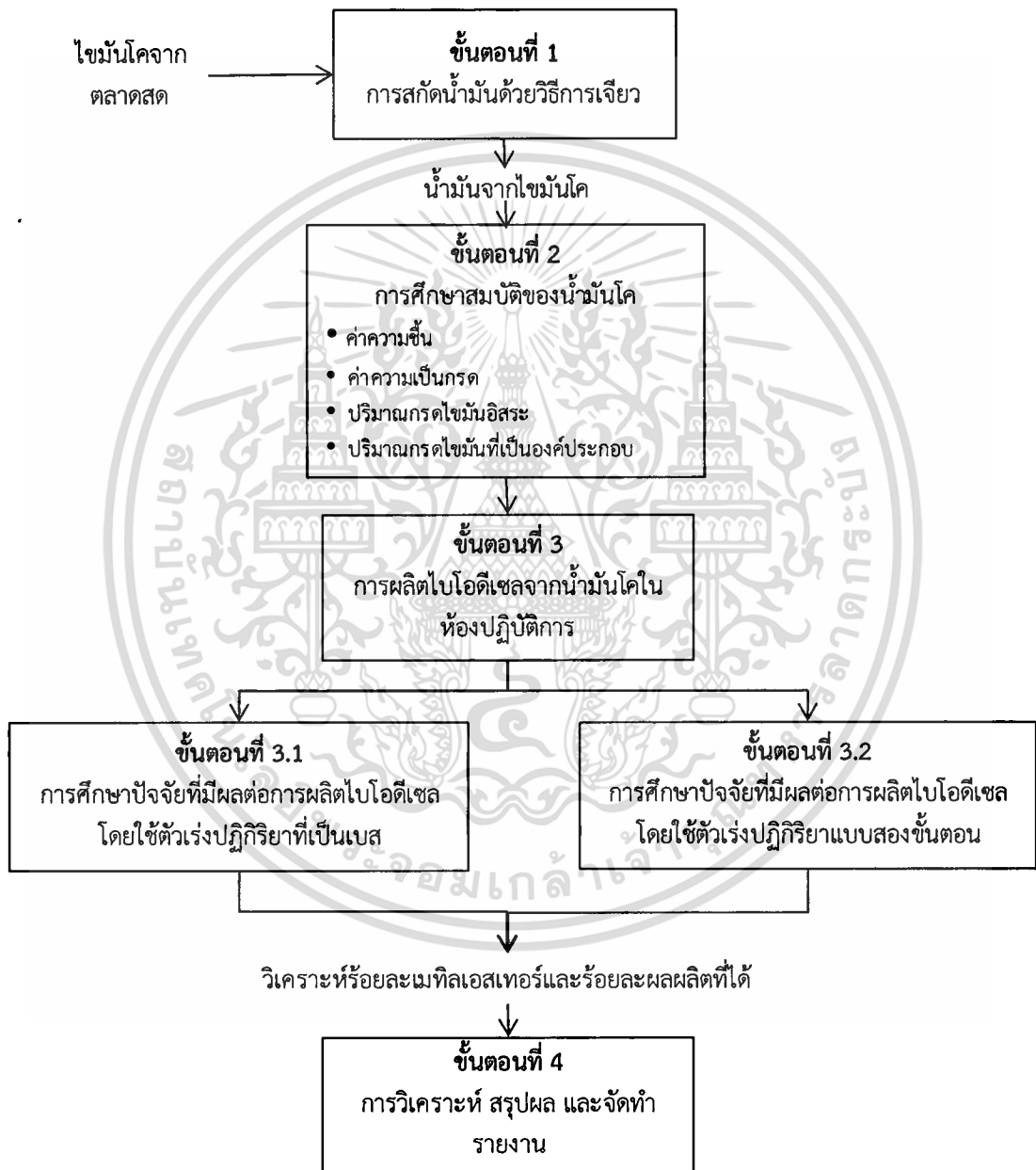
Teixeira et al.^[27] ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันวัว โดยใช้กระบวนการแบบดั้งเดิมที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการเทียบกับกระบวนการผลิตที่ใช้คลื่น อัลตราโซนิกความถี่สูง (400 W, 24kHz) เมทิลเอสเทอร์ถูกเตรียมขึ้นโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์- ฟิเคชัน โดยใช้เมทานอลที่อัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 6:1 และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของไขมันเป็นแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาตามลำดับ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคือ 60°C และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าร้อยละเมทิล เอสเทอร์ที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบใช้คลื่นอัลตราโซนิกมีค่าไม่แตกต่างจากกระบวนการผลิต ไบโอดีเซลแบบดั้งเดิมที่ใช้อยู่ในห้องปฏิบัติการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา มีวิธีการดำเนินงานวิจัยแสดงดังแผนภาพในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การสกัดน้ำมันจากไขมันโค

ไขมันที่ใช้ในการศึกษาเป็นไขมันโคที่ซื้อจากตลาดสด นำมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ และเจียว (Rendering) ในกะทะไฟฟ้าที่ให้ความร้อนอ่อนๆ นาน 30 นาที แยกกากออกจากน้ำมันและปล่อยให้ไวให้อุณหภูมิลดลง กรองน้ำมันด้วยผ้าขาวบาง วัดปริมาณน้ำมันที่ได้จากการเจียว เก็บใส่ในภาชนะที่ปิดสนิทในตู้เย็นก่อนนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.2 การศึกษาสมบัติของน้ำมันตัวอย่าง

น้ำมันที่เตรียมได้ในข้อ 3.1 จะถูกนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีตามรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันตัวอย่าง

สมบัติของน้ำมัน	หน่วยที่วัด	วิธีการวิเคราะห์
ความชื้น (moisture)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	อบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C และชั่งน้ำหนัก
ค่าความเป็นกรด (acid value)	มิลลิกรัม KOH ต่อกรัมไขมัน	ASTM D664
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acids, FFA)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ASTM D664
ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ (fatty acid composition)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	AOAC(2005) 996.06 [†]

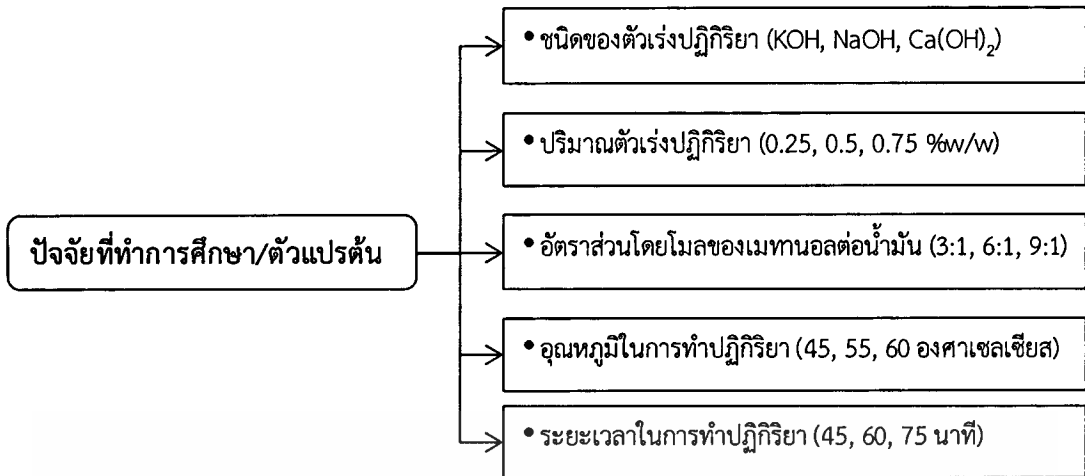
[†] ผลการทดสอบโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3.3 การผลิตไบโอดีเซลในห้องปฏิบัติการ

น้ำมันที่เจียวได้จากไขมันวัวจะถูกนำมาผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส และปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน (ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดตามด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส) ซึ่งมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.3.1 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

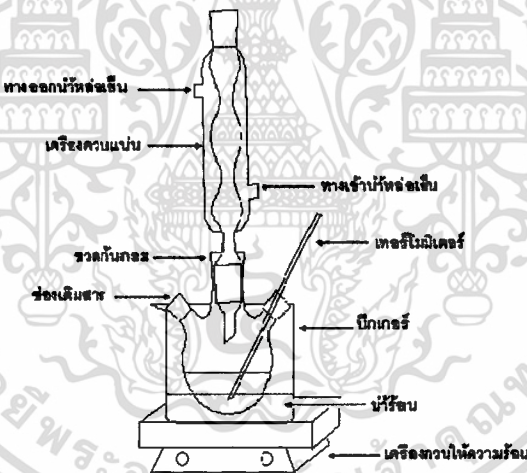
ในขั้นตอนนี้ ทำการศึกษาภาวะต่างๆที่มีผลต่อปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ปัจจัยที่ทำการศึกษาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

โดยวิธีการผลิตไบโอดีเซลมีรายละเอียดเป็นดังนี้

1. ชั่งไขมันโคที่เจียวได้มา 100 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลมสามคอ
2. ติดตั้งอุปกรณ์ชุดรีฟลักซ์ โดยต่อขวดก้นกลมสามคอในข้อ 1 เข้ากับคอนเดนเซอร์ (รูปที่ 3.3) นำไปอุ่นที่อุณหภูมิที่ต้องการทดสอบ ประมาณ 10 นาที



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

3. เตรียมเมทานอลในอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันตามที่กำหนด
4. ชั่งเบสที่ทำการศึกษาในปริมาณที่ต้องการ และนำไปละลายในเมทานอลที่เตรียมไว้ในข้อ 3 จนเป็นเนื้อเดียวกัน
5. เทสารละลายที่เตรียมได้ในข้อ 4 ลงไปในขวดก้นกลมที่อุ่นน้ำมันไว้ ทำการกวนผสมด้วยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที จนอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาได้ตามที่กำหนดไว้ จะเริ่มจับเวลาการทำปฏิกิริยาตามที่ต้องการทดสอบ
6. เมื่อทำปฏิกิริยาจนครบกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ ให้เทผลิตภัณฑ์ลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ 1

คืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ไชแยกกลีเซอรอลที่อยู่ชั้นล่างออก ให้เหลือแต่ด้านบนซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล

8. ล้างด้วยน้ำต้ม จนกระทั่งน้ำที่ล้างมีค่า pH เท่ากับน้ำต่อนก่อนล้าง

10. เติมแอนไฮดริสโซเดียมซัลเฟต 1 กรัม ลงในไบโอดีเซล นำไปปั่นจนเพื่อกำจัดน้ำส่วนที่เหลืออยู่ จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2 เพื่อแยกโซเดียมซัลเฟตออก

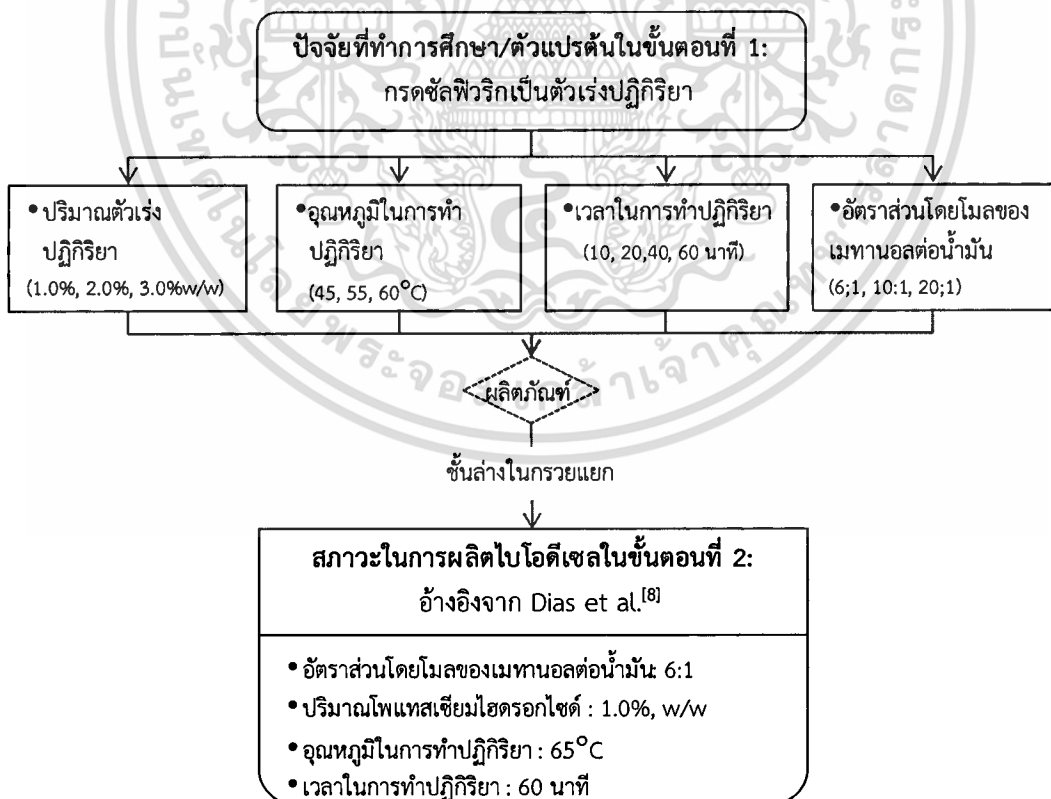
11. นำไบโอดีเซลที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C เพื่อระเหยเอาเมทานอลที่เหลืออยู่ ออกให้หมด ชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิต (%yield) ตามสมการ (3.1) และวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค ^1H Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy ($^1\text{H-NMR}$) และคำนวณความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) ตามสมการที่ (3.2)

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{wt. of biodiesel produced}}{\text{wt. of rendered oil}} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\text{Methyl ester content (\%)} = \frac{100 \times (2 \times \text{Peak area of } -\text{OCH}_3)}{3 \times \text{Peak area of } \alpha\text{-CH}_2} \quad (3.2)$$

3.3.2 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน

ในขั้นตอนนี้ ทำการศึกษาภาวะต่างๆที่มีผลต่อปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ปัจจัยที่ทำการศึกษาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้

ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยวิธีการผลิตไบโอดีเซลมีรายละเอียดเป็นดังนี้

3.3.2.1 ขั้นตอนที่ 1 การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด

1. ชั่งไขมันโคที่เจียวได้มา 100 กรัม นำไปอุ่นที่อุณหภูมิที่ทำการศึกษ ประมาณ 10 นาทีแล้วใส่ลงในขวดก้นกลมสามคอ
2. ติดตั้งอุปกรณ์ชุดรีฟลักซ์ ดังรูปที่ 3.3
3. เตรียมเมทานอลตามอัตราส่วนโดยโมลที่กำหนดไว้ ตวงกรดซัลฟิวริกตามที่ต้องการและนำไปละลายในเมทานอลที่เตรียมไว้จนเป็นเนื้อเดียวกัน
4. เทสารละลายที่เตรียมได้ในข้อ 3 ลงไปในขวดก้นกลม ทำการกวนผสมด้วยแท่งแม่เหล็ก ที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที ทำการรีฟลักซ์โดยเริ่มจับเวลาการทำปฏิกิริยาเมื่ออุณหภูมิของสารผสมได้ตามที่กำหนด
5. เมื่อทำปฏิกิริยาจนครบตามเวลาที่ต้องการ เทผลิตภัณฑ์ลงในกรวยแยก ซึ่งแช่อยู่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำต้มอุณหภูมิเดียวกับที่ทำปฏิกิริยา เพื่อหลอมไม่ให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแข็งตัว ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

6. ไขผลิตภัณฑ์ที่อยู่ด้านล่างออก เพื่อนำไปทำปฏิกิริยาต่อในขั้นตอนที่สอง

3.3.2.2 ขั้นตอนที่ 2 การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส

1. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาชั่งน้ำหนัก แล้วใส่ลงในขวดก้นกลมสามคอ
2. ติดตั้งอุปกรณ์ชุดรีฟลักซ์ตามรูปที่ 3.3 พร้อมกับอุ่นน้ำมันในข้อ 1 ที่อุณหภูมิ 65 °C ประมาณ 10 นาที
3. เตรียมเมทานอลตามอัตราส่วนโดยโมลต่อน้ำมันเป็น 6:1
4. ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และนำไปละลายในเมทานอลที่เตรียมไว้ในข้อ 3 จนเป็นเนื้อเดียวกัน
5. เทสารละลายที่เตรียมได้ในข้อ 4 ลงไปในขวดก้นกลมในข้อ 2 ทำการกวนผสมด้วยแท่งแม่เหล็กที่ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที ทำการรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 60 นาที
6. เมื่อทำปฏิกิริยาจนครบกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ ให้เทผลิตภัณฑ์ลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน
7. ไขแยกกลีเซอรอลที่อยู่ชั้นล่างออก ให้เหลือแต่ด้านบนซึ่งเป็นเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล ล้างด้วยน้ำต้มจนกระทั่งน้ำที่ผ่านกระบวนการล้างมีค่าพีเอชเท่ากับตอนก่อนล้าง จากนั้นเติมโซเดียมซัลเฟต 1 กรัมลงในไบโอดีเซล นำไปปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที เพื่อกำจัดน้ำส่วนที่เหลืออยู่ แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2 เพื่อแยกโซเดียมซัลเฟตออก
8. นำไบโอดีเซลที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 60 นาที เพื่อระเหยเอาเมทานอลและน้ำที่เหลืออยู่ออกให้หมด จากนั้นชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิต (%yield) ตามสมการ (3.1) และวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค ^1H Nuclear

Magnetic Resonance spectroscopy ($^1\text{H-NMR}$) และคำนวณความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ (% purity) ตามสมการที่ (3.2)

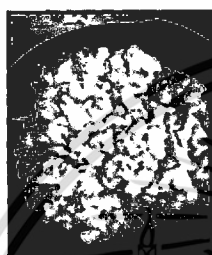


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

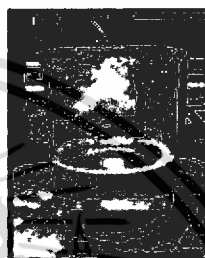
บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 การสกัดน้ำมันจากไขมันโค

จากการนำไขมันโค 1 กิโลกรัมมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆดังรูปที่ 4.1ก แล้วนำมาเจียวด้วยความร้อนนาน 30 นาที จะได้ส่วนที่เป็นน้ำมันประมาณ 0.81 ลิตร ลักษณะของน้ำมันที่เจียวได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1ข และได้ส่วนที่เป็นกาก 121.21 กรัม เมื่อคิดเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเจียว จะได้น้ำมันและกากเท่ากับร้อยละ 87.88 และร้อยละ 12.12 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 (ก) ลักษณะของไขมันโคเมื่อหั่นเป็นชิ้นเล็กก่อนนำไปเจียว และ (ข) น้ำมันที่เจียวได้จากไขมันโค

4.2 องค์ประกอบของน้ำมันจากไขมันโค

น้ำมันที่สกัดได้มีปริมาณความชื้นระหว่าง 0.0080 ถึง 0.0160 ซึ่งถือว่ามีความน้อยมาก และมีปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid, FFA) 0.32% คิดเป็นค่าความเป็นกรดเท่ากับ 0.79 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม (ตารางที่ 4.1) แสดงให้เห็นว่าน้ำมันที่สกัดได้จากไขมันโคสามารถนำผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้^[13, 19]

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันที่สกัดได้จากไขมันโค

สมบัติ	ผลการวิเคราะห์
ความชื้น (moisture)	0.012± 0.004 %(w/w)
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA)	0.32±0.06 %(w/w)
ค่าความเป็นกรด (Acid Values)	0.79±0.01 mg KOH/g

ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ (Fatty Acid Composition) ในน้ำมันที่สกัดได้จากไขมันโค โดยห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography) ได้ผลการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

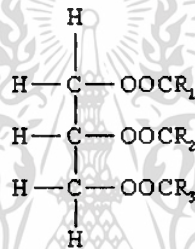
ตารางที่ 4.2 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่เจียวได้จากไขมันโค

Designation	Acid name	Molecular weight for acid	%composition
C8:0	Caprylic acid	146	0.06
C12:0	Lauric acid	200	0.39
C13:0	Tridecanoic acid	214	0.02
C14:0	Myristic acid	228	8.78
C14:1	Myristoleic acid	226	0.68
C15:0	Pentadecanoic acid	242	0.63
C15:1	Cis-10-Pentadecenoic acid	240	0.17
C16:0	Palmitic acid	256	32.74
C16:1 n-7	Palmitoleic acid	254	1.62
C17:0	Heptadecanoic acid	270	1.16
C17:1	Cis-10-Heptadecenoic acid	268	0.33
C18:0	Stearic acid	284	25.93
C18:1 n-9	Oleic acid	282	24.93
C18:1 n-7	Cis-Vaccenic acid	282	0.97
C18:2 n-6	Linoleic acid	280	0.79
C18:2t9t12	Linoelaidic acid	280	0.13
C18:3 n-3	α -Linolenic acid	278	0.09
C18:3 n-6	Cis-6,9,12-Octadecatrienoic acid	278	0.11
C18:4 n-3	Moroctic acid	276	0.12
C20:0	Arachidic acid	312	0.16
C20:1 n-9	Cis-11-Eicosenoic acid	310	0.07
C20:2 n-6	Cis-11,14-Eicosadienoic acid	308	0.02
C20:3 n-6	Cis-8,11,14-Eicosatrienoic acid	306	0.02
C22:0	Behenic acid	340	0.03

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าไขมันโคประกอบด้วยกรดไขมันหลัก 3 ชนิดเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้คือ กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid; C16:0) กรดสเตียริก (stearic acid, C18:0) และกรดโอเลอิก (Oleic acid; C18:1) ในสัดส่วนร้อยละ 32.74, 25.93 และ 24.93 ตามลำดับ เมื่อคำนวณผลรวมของปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวที่เป็นส่วนประกอบพบว่ามีค่าสูงถึงร้อยละ 69.9 แสดงให้เห็นว่า

ไขมันโคมีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงสอดคล้องกับการศึกษาของวันทนี^[28] ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานว่ามีไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้องเช่นวัวและโคมีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบสูงถึง 60-90% ทำให้น้ำมันโคไม่เหมาะสมที่จะนำมาบริโภค เนื่องจากเมื่อรับประทานเข้าไปแล้วจะส่งผลต่อไขมันในกระแสเลือด รวมทั้งไปเพิ่มโคเลสเตอรอลชนิดเลว (LDL) ในร่างกาย ส่งผลให้เกิดโรคร้ายไข้เจ็บต่างๆ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น^[22] และเมื่อนำข้อมูลปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่เจียวได้จากไขมันโคจากตารางที่ 4.2 ไปคำนวณหาโมเลกุลโดยเฉลี่ยของหมู่เอสเตอร์ของกรดไขมันซึ่งแสดงสัญลักษณ์โดยตัวอักษร R ในรูปที่ 4.2 พบว่ามวลโมเลกุลโดยเฉลี่ยของ R มีค่าเท่ากับ 223 g/mol และเนื่องจากไตรกลีเซอไรด์มีหมู่เอสเตอร์เป็นส่วนประกอบ 3 ตัว ดังนั้นจึงมีมวลโมเลกุลของ R₁, R₂ และ R₃ รวมกันเท่ากับ 669 g/mol และเมื่อนำไปรวมกับมวลโมเลกุลในส่วนหัวของ Triglyceride ซึ่ง 1 โมเลกุลประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน (C) เท่ากับ 6 อะตอม ไฮโดรเจน (H) เท่ากับ 5 อะตอม และออกซิเจน (O) เท่ากับ 6 อะตอม (รูปที่ 4.2) จะได้น้ำมันที่เจียวได้จากไขมันวัวมีมวลโมเลกุลโดยเฉลี่ยเท่ากับ 842 g/mol



รูปที่ 4.2 โครงสร้างของ Triglyceride

4.3 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด

เบส

4.3.1 ผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) และร้อยละผลผลิต (% yield) ของไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้เบส 3 ชนิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (ตารางที่ 4.3) พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้อัตราผลผลิตและร้อยละของผลผลิตในปริมาณสูงที่สุด รองลงไปคือการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่ไม่สามารถวิเคราะห์ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์และร้อยละของผลผลิตได้ เมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากความสามารถในการดูดความชื้นที่ดีของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งความชื้นดังกล่าวจะไปเร่งให้เกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันระหว่างกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันกับเบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดสบู่ขึ้น^[17] เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้โดยใช้ NaOH และ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่ามีค่าความเป็นกรดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามที่ประกาศกรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดไว้คือ ไม่เกิน 0.5

มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน^[29] จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นจึงเลือกใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการศึกษาต่อไป

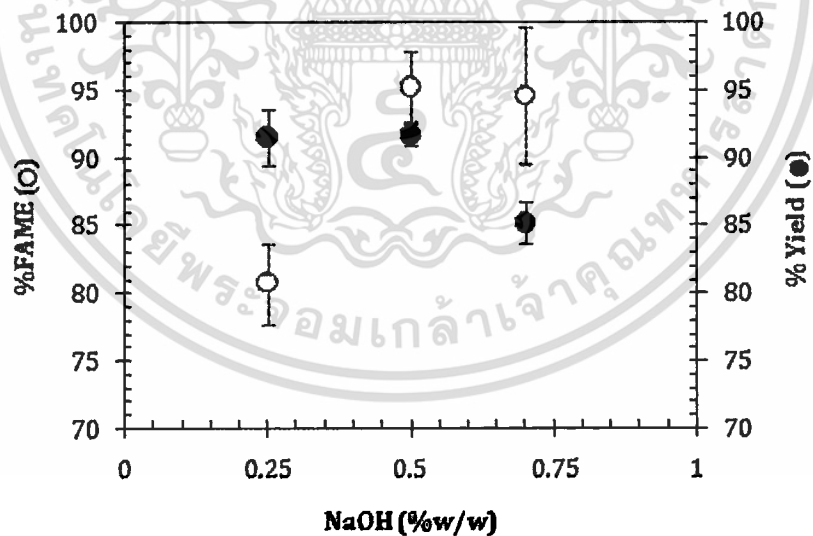
ตารางที่ 4.3 ผลของชนิดของเบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (%FAME) ร้อยละของผลผลิต (%Yield) และค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ได้

ชนิดของเบส	เมทิลเอสเทอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ผลผลิต (yield) (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)
NaOH	95.47 ± 7.48	90.25 ± 1.47	0.25 ± 0.07
KOH	88.41 ± 8.81	88.44 ± 3.98	0.30 ± 0.13
Ca(OH) ₂	N/A [†]	N/A [†]	N/A [†]

[†]ไม่มีข้อมูล เนื่องจากไม่พบการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอล

4.3.2 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์

ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจัดเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพของไบโอดีเซล โดยในรูปที่ 4.3 แสดงผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์และร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยา เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขมันโค 6:1 อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และ 60 นาที ตามลำดับ



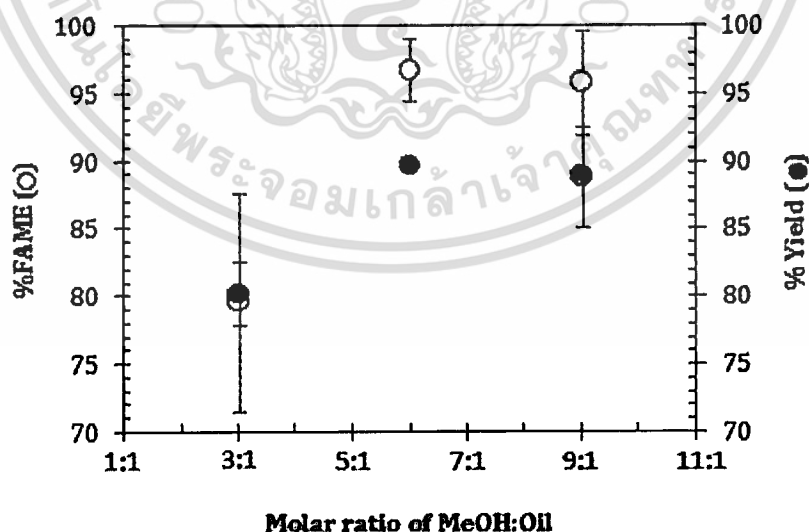
รูปที่ 4.3 ผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และร้อยละผลผลิต (% Yield)

จากรูปที่ 4.3 พบว่าการเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็น 0.50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะได้ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 80.7 ± 3.0 เป็นร้อยละ 95.2 ± 2.6 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 0.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันกับเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ได้ช่วยให้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มากขึ้น นอกจากนี้พบว่าที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ระหว่าง 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ได้ร้อยละของผลผลิต หรือ % Yield ใกล้เคียงกัน (91.5 ± 2.1 และ 91.7 ± 0.8 ตามลำดับ) ในขณะที่การเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 0.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้ร้อยละของผลผลิตที่ได้มีค่าลดลงเหลือ $85.1 \pm 1.6\%$ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากความสามารถในการดูดความชื้นของ NaOH ซึ่งเมื่อใช้ในปริมาณมากขึ้น จะทำให้เกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันและเกิดสบู่ได้มากขึ้น ส่งผลให้เกิดไบโอดีเซลได้ในปริมาณน้อยลง สอดคล้องกับงานวิจัยของภัทรพงศ์^[7] ที่พบว่า การเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 0.5 เป็น 0.65 และ 0.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้ได้ร้อยละของผลผลิตหรือ % yield ลดลงจากร้อยละ 91.4 เหลือร้อยละ 84 และร้อยละ 78 ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้นจึงเลือกใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 0.50 โดยน้ำหนักไปใช้ในการศึกษาต่อไป

4.3.3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันถือเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมากต่อปริมาณและความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่จะเกิดขึ้น โดยในรูปที่ 4.4 แสดงผลของปริมาณอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่มีต่อปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์และร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยา เมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และ 60 นาที ตามลำดับ

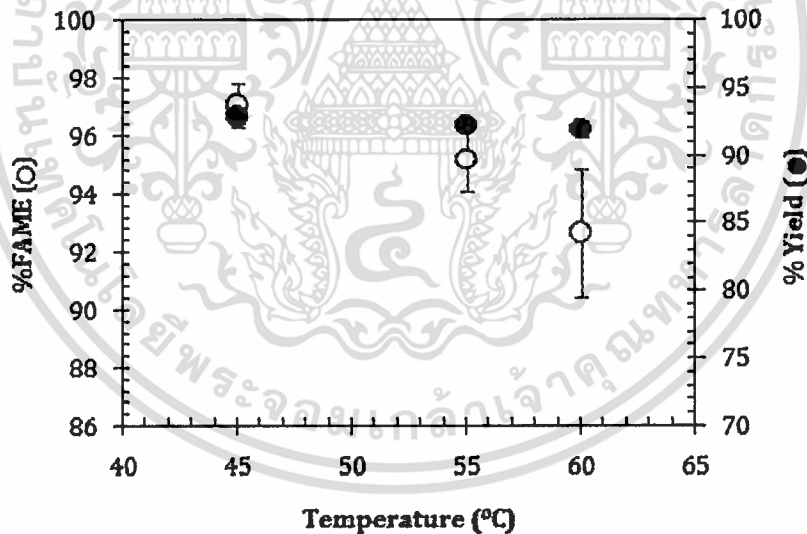


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันกับร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และร้อยละของผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้

จากรูปที่ 4.4 พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันจาก 3:1 เป็น 6:1 ทำให้ได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 79.6 ± 8.1 เป็นร้อยละ 96.7 ± 2.3 นอกจากนี้ยังได้ร้อยละของผลผลิตหรือ % Yield เพิ่มขึ้นจาก 80.2 ± 2.4 เปอร์เซ็นต์เป็น 89.6 ± 0.6 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามพบว่า % FAME และ % Yield มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย (95.8 ± 3.8 และ 88.8 ± 3.7 ตามลำดับ) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 9:1 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณเมทานอลที่มากขึ้นในระบบ เพิ่มการละลายของกลีเซอรอลในเมทานอล ทำให้สมดุลของปฏิกิริยาเกิดย้อนกลับไปทางซ้ายมือ ส่งผลให้ได้ไบโอดีเซลน้อยลง^[17] จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น จึงเลือกใช้อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ในการศึกษาต่อไป

4.3.4 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันอย่างมาก โดยในรูปที่ 4.5 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์และร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยา เมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 และเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 นาที ตามลำดับ



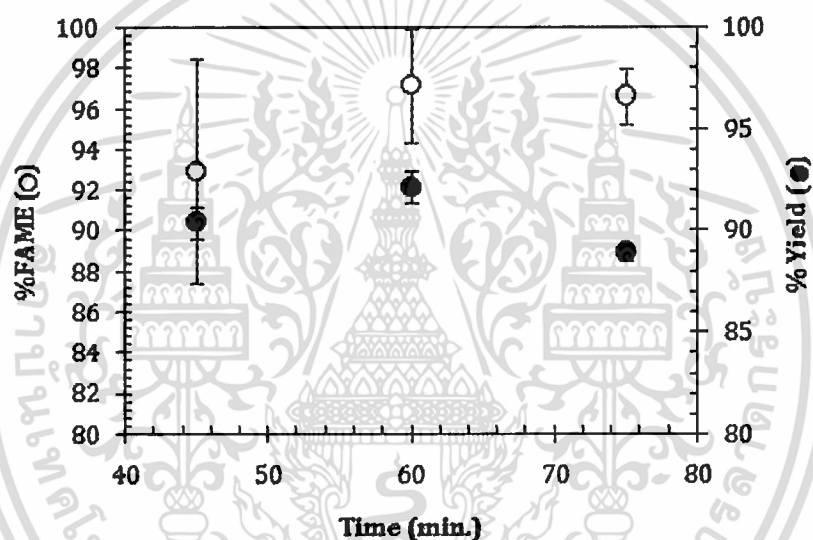
รูปที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และร้อยละผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้

จากรูปที่ 4.5 พบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีปริมาณความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ลดลงจาก 97.1 ± 0.7 เปอร์เซ็นต์เหลือ 95.2 ± 1.6 และ 92.6 ± 2.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีค่าสูงขึ้นจาก 45°C เป็น 55°C และ 60°C ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซลมีแนวโน้มลดลงในลักษณะคล้ายคลึงกัน ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของภัทรพงศ์^[7] ซึ่งพบว่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์

ที่ได้มีปริมาณลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกริยามีค่าใกล้เคียงกับจุดเดือดของเมทานอล ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากเมทานอลบางส่วนเกิดการระเหยกลายเป็นไอ ส่งผลให้มีเมทานอลในเฟสของเหลวไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกริยา จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น จึงเลือกอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียสไปใช้ในการศึกษาต่อไป

4.3.5 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกริยา

เวลามีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยในรูปที่ 4.6 แสดงผลของระยะเวลาที่มีต่อปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์และร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกริยา เมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 และอุณหภูมิในการทำปฏิกริยาเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ผลของระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกริยาต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และร้อยละผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้

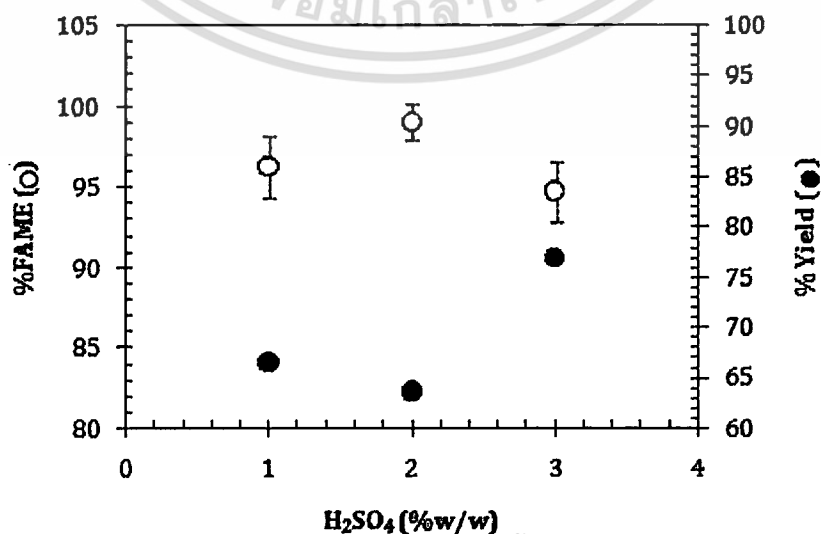
จากรูปที่ 4.6 พบว่าระยะเวลาในการทำปฏิกริยานานขึ้นจาก 45 นาที เป็น 60 นาที ทำให้ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 92.9 ± 5.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 97.1 ± 2.8 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกริยานานขึ้นเป็น 75 นาที พบว่าได้เมทิลเอสเทอร์ในปริมาณร้อยละ 96.6 ± 1.4 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้เมื่อใช้เวลา 60 นาทีในการทำปฏิกริยา เมื่อพิจารณาร้อยละของผลผลิตที่ได้พบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกริยานานขึ้นเป็น 60 นาที ทำให้ร้อยละผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับที่พบในกรณีของร้อยละเมทิลเอสเทอร์ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลานานขึ้นเป็น 75 นาที ทำให้ร้อยละของผลผลิตมีแนวโน้มลดลงเหลือเพียง 88.9 ± 0.4 เปอร์เซ็นต์

4.4 การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน จัดเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดตามด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสในการทำปฏิกิริยา โดยในขั้นแรกจะทำปฏิกิริยาโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อลดปริมาณของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันพืช/ไขมันสัตว์ จากนั้นเบสจะถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นที่สอง เพื่อเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์เป็นเอสเทอร์ ส่งผลให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดได้อย่างสมบูรณ์ และเนื่องจากน้ำมันที่เจียวได้จากไขมันโคยังมีกรดไขมันอิสระเป็นส่วนประกอบ ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียว งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนในการผลิตไบโอดีเซล เพื่อเป็นการเพิ่มคุณภาพและปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากไขมันโค พร้อมทั้งศึกษาปัจจัยต่างๆ ในขั้นตอนที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดที่มีผลต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์ ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลของปริมาณกรดซัลฟิวริก

ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์และร้อยละของผลผลิตที่ได้ ทำการศึกษาโดยเปลี่ยนปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ทำปฏิกิริยาจากร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 2 และร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของไขมันโคตามลำดับ สภาวะสำหรับการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 เป็นดังนี้คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 20:1 ใช้อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และ 60 นาที ตามลำดับ กำหนดสภาวะสำหรับการทำปฏิกิริยาขั้นตอนที่ 2 คือ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 60 นาที ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.7

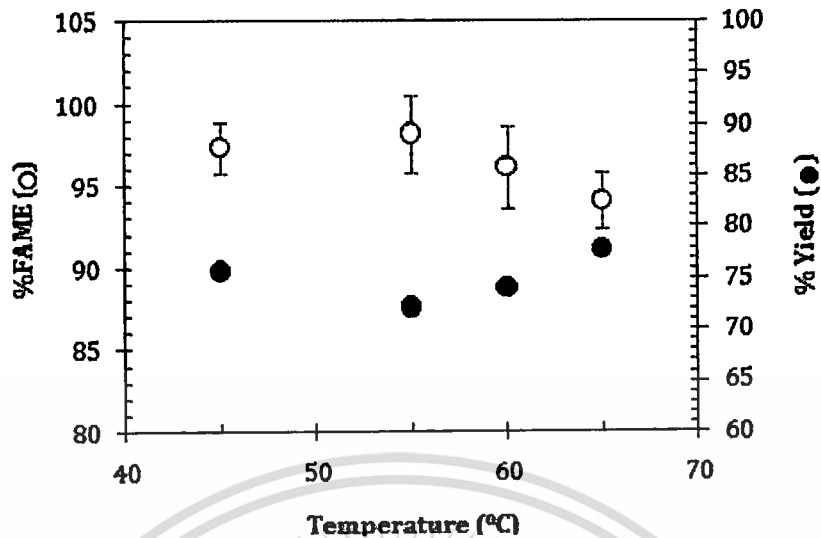


รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณกรดซัลฟิวริกต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และร้อยละผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้

จากรูปที่ 4.7 พบว่าการเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกจาก 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์เมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นจาก 96.2 ± 1.9 เปอร์เซ็นต์ เป็น 98.9 ± 1.1 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์มีค่าลดลงเหลือ 95.0 ± 1.9 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของธีรยุทธ^[10] ที่พบว่าการลดลงของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากสบู่ดำ เมื่อใช้ไอออน (III) ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดในปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับค่าที่ได้เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเดียวกันในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เป็นเพราะกรดช่วยเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ ซึ่งจะได้น้ำเป็นผลพลอยได้ (By-Product) ทำให้เมื่อน้ำมันจากขั้นตอนที่ 1 ไปทำปฏิกิริยาต่อในขั้นตอนที่ 2 น้ำเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และจะไปก่อให้เกิดสบู่ ซึ่งสบู่จะเป็นตัวลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ส่งผลให้ค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ในผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง^[10] เมื่อพิจารณาร้อยละของผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้พบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มตรงข้ามกับร้อยละเมทิลเอสเทอร์ กล่าวคือร้อยละผลผลิตมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น จึงเลือกปริมาณของกรดซัลฟิวริกที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักเพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป เนื่องจากให้ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด อีกทั้งปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ที่ได้ถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ปีพ.ศ.2552 ซึ่งกำหนดไว้ที่ร้อยละ 96.5

4.4.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 ต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์และร้อยละของผลผลิตที่ได้ ทำการศึกษาโดยเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาจาก 45 เป็น 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สภาวะสำหรับการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 เป็นดังนี้คือ ปริมาณกรดซัลฟิวริก 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 20:1 ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน 60 นาที ตามลำดับ ส่วนสภาวะสำหรับการทำปฏิกิริยาขั้นตอนที่ 2 คือ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 60 นาที ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.8



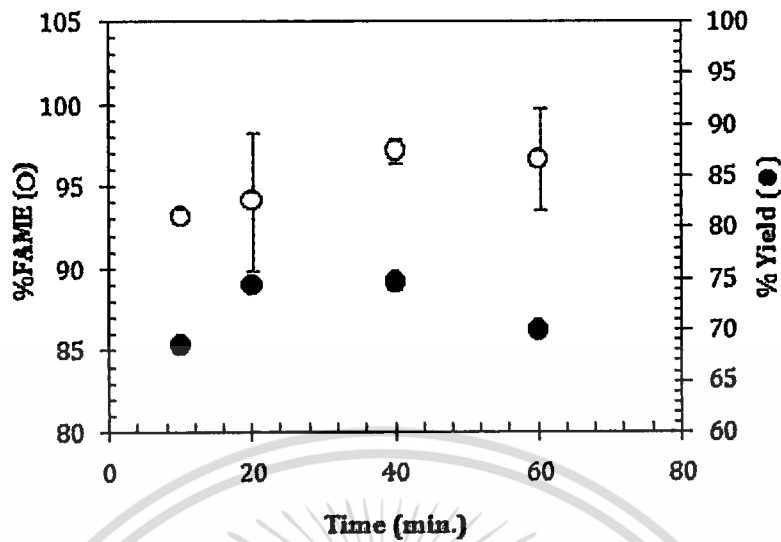
รูปที่ 4.8 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 ต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และร้อยละผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้

จากรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจาก 45 เป็น 55 องศาเซลเซียส จะได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ในปริมาณใกล้เคียงกัน โดยร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีค่า 97.3 ± 1.53 % และ 98.2 ± 2.3 % ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพบว่าร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีแนวโน้มลดลงเหลือ 96.1 ± 2.5 % และ 94.0 ± 1.7 % เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 จาก 55 องศาเซลเซียสเป็น 60 และ 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาใกล้จุดเดือดของเมทานอล ซึ่งอาจทำให้เมทานอลบางส่วนระเหยกลายเป็นไอ ทำให้เมทานอลในเฟสของเหลวมีไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยา ส่งผลให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ลดลงได้^[7] เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อร้อยละของผลผลิตที่ได้ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิไม่ได้ทำให้ร้อยละของผลผลิตสูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยร้อยละของผลผลิตที่ได้มีค่าระหว่าง 72-78 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองดังกล่าวข้างต้นและเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานความร้อนในการทำปฏิกิริยา จึงเลือกอุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส สำหรับใช้ในการศึกษาต่อไป

4.4.3 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 ต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์และร้อยละของผลผลิตที่ได้ ทำการศึกษาโดยเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 10 เป็น 20 , 40 และ 60 นาทีตามลำดับ สภาวะสำหรับการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 เป็นดังนี้คือ ปริมาณกรดซัลฟิวริก 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 20:1 อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนสภาวะสำหรับการทำปฏิกิริยาขั้นตอนที่ 2 คือ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 60 นาที ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



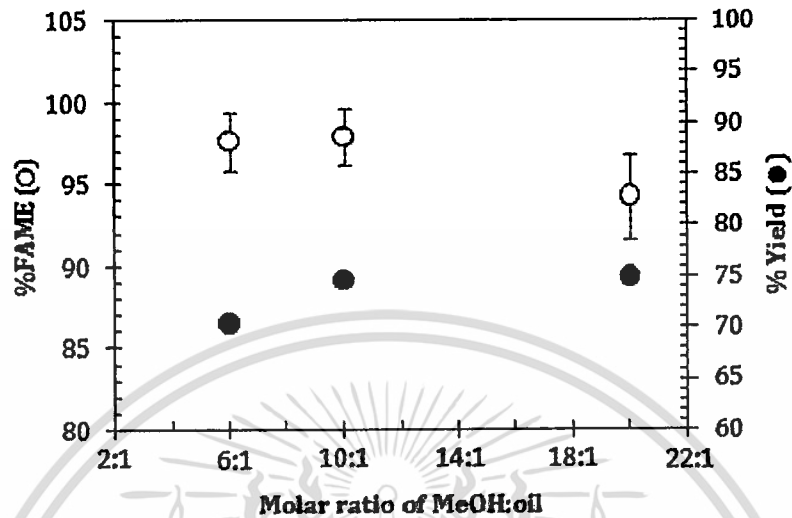
รูปที่ 4.9 ผลของระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 ต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และร้อยละผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้

จากรูปที่ 4.9 พบว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 93.2 ± 0.1 เป็นร้อยละ 94.1 ± 4.2 และร้อยละ 97.2 ± 0.7 เมื่อเพิ่มเวลาการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 ให้นานขึ้นจาก 10 นาทีเป็น 20 และ 40 นาที แต่เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นเป็น 60 นาที ได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เท่ากับร้อยละ 96.6 ± 3.1 ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกับปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน 40 นาที แสดงให้เห็นว่าเวลานานขึ้นทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น และพบว่าหลังจากทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 40 นาทีปฏิกิริยาจะเริ่มเข้าสู่สมดุล เมื่อพิจารณาร้อยละของผลผลิตที่ได้พบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นเป็น 40 นาทีทำให้ร้อยละผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับที่พบในกรณีของร้อยละเมทิลเอสเทอร์ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลานานขึ้นเป็น 60 นาที ทำให้ร้อยละของผลผลิตมีแนวโน้มลดลง จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น จึงเลือกเวลาการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 นาน 40 นาที เพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากที่ระยะเวลาดังกล่าว จะได้ไบโอดีเซลที่มีค่าความบริสุทธิ์สูงสุด และเป็นค่าที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ปี พ.ศ. 2552

4.4.4 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน

ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 ต่อร้อยละเมทิลเอสเทอร์และร้อยละของผลผลิตที่ได้ ทำการศึกษาโดยเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันจาก 6:1 เป็น 10:1 และ 20:1 ตามลำดับ สภาวะสำหรับการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 เป็นดังนี้คือ ปริมาณกรดซัลฟิวริก 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ใช้เวลานาน 40 นาที ตามลำดับ ส่วนสภาวะสำหรับการทำปฏิกิริยาขั้นตอนที่ 2 คือ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ไซต์ 1 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 60 นาที ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้ทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 ต่อร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ (% FAME) และร้อยละผลผลิต (% Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้

จากรูปที่ 4.10 พบว่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าใกล้เคียงกัน คือร้อยละ 97.6 ± 1.8 และร้อยละ 97.9 ± 1.8 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันสำหรับการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนที่ 1 จาก 6:1 เป็น 10:1 แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 20:1 นาที่ ได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เท่ากับร้อยละ 94.2 ± 2.6 ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณเมทานอลที่มากขึ้นในระบบ เพิ่มการละลายของกลีเซอรอลในเมทานอล ทำให้สมดุลของปฏิกิริยาเกิดย้อนกลับไปทางซ้ายมือ ส่งผลให้ได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์น้อยลง[17] เมื่อพิจารณาร้อยละผลผลิตพบว่าการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล ทำให้ได้ร้อยละของผลผลิตในช่วงระหว่างร้อยละ 70-75 จากการทดลองดังกล่าว พบว่าอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 6:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบสองขั้นตอน เนื่องจากได้ปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์เป็นไปตามเกณฑ์ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2552

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 แบบได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสและตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน สามารถสรุปผลได้ดังนี้คือ

1. น้ำมันที่เจียวได้จากไขมันโคมีลักษณะเป็นของเหลว เหลือง ใส และแข็งตัวเป็นไขขาวเมื่อทิ้งให้เย็นถึงอุณหภูมิห้อง โดยไขมันโค 1 กิโลกรัม จะเจียวได้น้ำมันเท่ากับ 0.81 ลิตร ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงถึง 69.9 เปอร์เซ็นต์ โดยกรดปาล์มติกและกรดสเตียริกเป็นชนิดของกรดไขมันอิ่มตัวที่พบมาก

2. การผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ร้อยละผลผลิตและความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์สูงสุดเมื่อเทียบกับ KOH และ Ca(OH)_2

3. การผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคโดยใช้ NaOH เข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขมันเท่ากับ 6:1 อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 45°C และ 60 นาที จะได้ร้อยละผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 92.1 เปอร์เซ็นต์ ไบโอดีเซลที่ได้มีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์สูงถึงร้อยละ 97.1

4. การผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ทำให้ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่มีผลทางลบต่อร้อยละของผลผลิตที่ได้ เมื่อใช้สภาวะในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกคือปริมาณกรดซัลฟิวริก 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขมันเท่ากับ 6:1 อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส และ 40 นาที ตามลำดับ และสภาวะสำหรับการทำปฏิกิริยาขั้นตอนที่ 2 คือ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อไขมันเป็น 6:1 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 60 นาที ที่สภาวะดังกล่าวจะได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้นเป็นร้อยละ 97.9 และได้ร้อยละของผลผลิตระหว่าง 70-75 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 6

สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

1. ต้นฉบับบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิชาการต่างประเทศ เรื่อง Based Catalyzed Transesterification of Beef Fats to Biodiesel (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. **โครงการศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบต่อการในปี 20 แขน้ำมันม่วงในเรือประมง.** [Online]. Available : <http://www.dede.go.th/dede/images/stories/Biodiesel/executivesummaryb20.pdf>.
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. **สถิติพลังงานของประเทศไทยปี ๒๕๕๔.** กรุงเทพฯ : กระทรวงพลังงาน. 2554.
3. Fargione J., Hill J., Tilman D., Polasky S. and Hawthorne P. "Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt." **Science.**, vol. 319, no. 5867, 2008. pp. 1235-1238.
4. Demirbas, A. "Progress and Recent Trends in Biodiesel Fuels." **Energy Conversion and Management.** vol. 50, no. 1, 2009. pp. 14-34.
5. Enweremadu C.C., Mbarawa, M.M. "Technical Aspects of Production and Analysis of Biodiesel from Used Cooking Oil--A Review." **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** vol. 13, no. 9, 2009. pp. 2205-2224.
6. Escobar J.C., Lora E.S., Venturini O.J., Yanez E.E., Castillo E.F. and Almazan O. "Biofuels: Environment, Technology and Food Security." **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** vol. 13, no. 6-7, 2009. pp. 1275-1287.
7. ภัทรพงศ์ เอี่ยมสะอาด "ผลของการสูบไหลวนและการกวนในถังปฏิกรณ์ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณและคุณภาพในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโค." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2552.
8. Dias J.M., Alvim-Ferraz M.C. and Almeida, M.F. "Production of Biodiesel from Acid Waste Lard." **Bioresour. Technology.** vol. 100, no. 24, 2009. pp. 6355-6361.
9. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. **เราไม่จ้อน้ำมัน.** กรุงเทพฯ : นามมีบุ๊คส. 2551.
10. ธีรยุทธ์ ธรรมวิจิตร. "การหาสภาวะที่เหมาะสมทางสถิติสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2551.
11. Sivasamy A., Cheah K.Y., Fornasiero P., Kemausuor F., Zinoviev S. and Miertus S. "Catalytic Applications in the Production of Biodiesel from Vegetable Oils." **ChemSusChem.** vol. 2, 2009. pp. 278-300.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. Tongurai, C. "PSU ไบโอดีเซล 28: การเร่งปฏิกิริยาด้วยด่าง (alkaline catalysis)." [Online]. Available : <http://share.psu.ac.th/blog/eng-biodiesel/21487>. 2554.
13. Ma F., Clements L.D. and Hanna M.A. "The effects of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow." *transaction of ASAE*. vol. 41, no. 5, 1998. pp. 1261-1264.
14. Singh A.P., He B.B., Thompson J.C., Van Gerpen J.H. "Process Optimization of Biodiesel Production using Alkaline Catalysis." *Applied Engineering and Agriculture*, vol. 22, no. 4, 2006. pp. 597-600.
15. Vincente G., Martinez M. and Aracil J. "Integrated Biodiesel Production: a comparison of different homogeneous Catalyst Systems." *Bioresource Technology*. vol. 92, 2004. pp. 297-305.
16. Zullaikah S., Lai C.C., Vali S.R., Ju Y.H. "A Two-step acid-catalyzed process for the production of biodiesel from rice bran oil." *Bioresource Technology*. vol. 96, no. 17, 2005. pp. 1889-18996.
17. ทศนีย์ สวัสดิพาณิชย์. "การหาสภาวะที่เหมาะสมทางสถิติของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสุญุดำด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา." วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2550.
18. Mendonca D.R., Andrade H.M.C., Guimaraes P.R.B., Vianna R.F., Meneghetti S.M.P. Pontes L.A.M. and Teixeira L.S.G. "Application of full factorial design and Doehlert matrix for the optimisation of beef tallow methanolysis via homogeneous catalysis." *Fuel Processing Technology*. vol. 92, 2011. pp. 342-348.
19. Agarwal A.K. "Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines." *Progress in Energy and Combustion Science*. vol. 33, no. 3, 2007. pp. 233-271.
20. วีระศักดิ์ โชติกานต์กุล. "การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันโคขุนโพนยางดำ (เนื้อไทย-ฝรั่งเศส) สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก." วิทยานิพนธ์ครุศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. 2553.

21. พัชรา โกสิยานันท์. "การแยกส่วนไขมันวัวและคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์มีทโลฟที่ใช้ไขมันวัวแยกส่วน." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2552.
22. ไขมันในอาหาร. [Online]. Available : http://www.siamhealth.net/public_html/Health/good_health_living/diet/fat.htm.
23. เกศระวี ปานทับ, ณุพร โกไศยกานนท์ และ สุทธิมา ลิมหลัก. "การใช้ประโยชน์ของไขมันโคเจียวเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล," โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554.
24. Nelson R. and Schrock M. "Energetic and economic feasibility associated with the production, processing, and conversion of beef tallow to a substitute diesel fuel". *Biomass and Energy*. 2005. vol. 30, 2005. pp. 584-591.
25. Zheng D. and Hanna M.A. "Preparation and Properties of methyl esters from beef tallow." *Bioresource Technology*. vol. 57, no. 2, 1999. pp. 137-142.
26. Bhatti H.N., Hanif M.A., Qasim M. and Ata ur, R. "Biodiesel production from waste tallow." *Fuel*. vol. 87, no. 13-14, 2008. pp. 2961-2966.
27. Teixeira L.S.G., Assis J.C.R., Mendonça D.R., Santos I.T.V., Guimarães P.R.B, Pontes L.A.M. and Teixeira J.S.R. "Comparison between conventional and ultrasonic preparation of beef tallow biodiesel." *Fuel Processing Technology*. vol. 90, no. 9, 2009. pp. 1164-1166.
28. วันทนี พลวิเศษ, "ขบวนการเปลี่ยนแปลงของไขมันในสัตว์เคี้ยวเอื้อง." *วารสารเกษตรพระวรุณ*. ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, 2549. หน้า 45-50.
29. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552, ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนพิเศษ 98ง, หน้า 43-45.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Based Catalyzed Transesterification of Beef Fats to Biodiesel

Chalalai Chanyod, Patamaporn Intaprom, Watanaruedee Euengmongkhonchai
and Usarat Thawornchaisit*

*Department of Chemistry, Faculty of Science,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand*

Abstract

The present study has been focused on base catalyzed transesterification of beef fats to produce biodiesel by varying process parameters such as types and amounts of catalyst, methanol addition, reaction temperature and reaction time. Sodium hydroxide (NaOH) was a more effective catalyst than potassium hydroxide (KOH) and calcium hydroxide (Ca(OH)₂). Optimum conditions for base catalyzed transesterification of beef tallow were as follows: 0.5 wt% of NaOH, molar ratio of methanol to tallow at 6:1, reaction temperature at 45°C and reaction time of 60 minutes. At this optimum condition, the conversion yield of tallow biodiesel was 92.1 % and the purity of methyl ester was 97.1%.

Keywords Animal fats, Beef tallow, Alkali Catalyst, Methanolysis, FAME

1. Introduction

The predicted shortage of fossil fuels and related environmental concerns along with the rapid rise in energy demand encouraged the search for petroleum fuels' substitutes. This search resulted in an alternative diesel fuel called "*biodiesel*" which is technically defined as a fuel comprised of mono-alkyl esters of long chain fatty acids obtained by transesterification of vegetable oils or animal fats with a low molecular weight alcohol such as methanol or ethanol (National Biodiesel Board, 2014a). Not only it can replace petroleum diesel without the need for modification or adjustment of engines, biodiesel offers significant cleaner engine emissions with respect to petroleum diesel such as complete combustion and a lower content of CO, hydrocarbons, and particulate in emissions as a result of the higher oxygen content in the biodiesel (United States Environmental, 2002; Miller, 2008). In addition reducing greenhouse gas emissions, exhaust emissions of SO_x from biodiesel are essentially eliminated compared to diesel (United States Environmental, 2002; Sivasamy *et al.*, 2009). Furthermore, biodiesel emissions show decreased levels of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons (nPAH), which have been identified as potential cancer causing compounds (National Biodiesel Board, 2014b). Therefore, this alternative diesel reduces the health risks associated with petroleum diesel.

The transesterification of oils and fats to the corresponding fatty acid alkyl esters (FAAEs) proceeds with catalyst or without any catalyst. Nevertheless, the reaction in the presence of catalysts has seen wider application owing to its reaction

*Corresponding author.

E-mail address: kpusarat@kmitl.ac.th

rate and yield (Demirbas, 2005; Sivasamy *et al.*, 2009). In addition, homogeneous alkaline catalysts, such as sodium hydroxide and potassium hydroxide, are most commonly used in industrial transesterification processes for biodiesel production, mainly because of the low cost of the catalyst and the good conversions that can be achieved in short reaction times and at moderate temperatures (Sivasamy *et al.*, 2009). In the transesterification of oils and fats, the three ester groups of a triglyceride molecule in which three fatty acid moieties are attached to a single alcohol moiety (i.e. that of glycerol) react with three molecules of methanol to yield one molecule of glycerol and three molecules of esters each containing single fatty acid and methanol moieties. It has been well demonstrated in numerous literature that the purity in term of ester content and yield of biodiesel in the transesterification reaction are affected by several physical and chemical variables. The ones known as greatly influencing the reaction are: the methanol/oil molar ratio, types of catalyst (homogeneous or heterogeneous, acid or basic) and amount of catalyst, reaction time, mixing intensity, and temperature (Kilic *et al.*, 2012; Sivasamy *et al.*, 2009).

The main issue in replacing biodiesel with petroleum-based diesel is the cost, which is not competitive. About 75-90% of the production cost is associated with the feedstocks itself (Charoenchaitrakool and Thienmethangkoon, 2011; Martinez *et al.*, 2014). In order to have an economically favorable biodiesel, considerable research has been focused on finding the potential alternative raw materials which are much less expensive than virgin vegetable oil. Animal fats like beef tallow is reported to be a promising alternative raw material of transesterification to make biodiesel (Ma *et al.*, 1998; da Cunha *et al.*, 2009; Leung *et al.*, 2010), because the price of edible beef tallow was driven down by the market (Ma *et al.*, 1998). In addition, its use is declined due to changing feeding habits of people and the soap industry cannot take up all the excess animal fat produced (Bhatti *et al.*, 2008). Furthermore, the replacement of tallow by vegetable oil in the production of food supplements for cattle as a result from a preventive measure to avoid the transmission of BSE (bovine spongiform encephalopathy), also known as “mad cow disease,” to the cattle population and its human version CJD (Creutzfeldt–Jakob disease), had led to an increasing number of discarded tallow (Mendonca *et al.*, 2011). Thus, biodiesel production has become a prime option for beef tallow usage. Therefore, the present study was focused on the use of beef tallow as a lower cost feedstock for biodiesel production. The main objective was to assess the effects of different experimental parameters such as catalyst (types and amount), methanol : tallow molar ratio, reaction time, and temperature on conversion efficiency of the base catalyzed transesterification of beef tallow for biodiesel production. Purity in term of fatty acid methyl esters (FAME) content and biodiesel weight yield of the final product were evaluated as the response variables under study.

2. Materials and methods

2.1 Materials

Beef fats used in the present study were obtained from a butcher shop of Bangkok, Thailand. Methanol was purchased from Aldrich (99%). Potassium hydroxide (AR, Labscan Asia), sodium hydroxide (AR pellets, Merk, Germany) and calcium hydroxide (AR, Labscan Asia) were employed as the alkali catalyst in the reaction.

2.2 Tallow Preparation

At the laboratory, the collected beef fats were sliced into pieces, dry-rendered and filtered in order to remove gums, protein residues, and suspended particles. The rendered product was clear yellow liquid while it is still hot and became white solid at room temperature. The obtained tallow were stored in airtight glass jars and kept in refrigerator to prevent oxidation.

2.3 Transesterification of Beef Tallow with Methanol

Base catalyzed transesterification of beef tallow with methanol were carried out in a three neck round-bottom flask of 500 mL volume equipped with a water bath, a magnetic hot plate stirrer operating with temperature sensor (Schott Instrument, model SLR) and a reflux condenser. To perform an experiment, 100 g of tallow was fed into the flask and heated up to the tested reaction temperature. The calculated amount of alkali catalyst in weight percentage was dissolved in a volume of methanol required for the desired molar ratio yielding a methoxide solution. This solution was then heated to the tested temperature, subsequently added to the reaction flask and stirring was started immediately. After the reaction has reached the preset reaction time, the heating and stirring were stopped and the mixture was transferred to a separatory funnel and allowed to settle overnight for separation of biodiesel and glycerine phases. The latter which is at the bottom of the funnel was drawn off. The upper ester phase was heated at 80°C for 15 min in order to remove excess methanol. Then it was washed several times using boiled water until the spent water became clear and its pH around 7. Sodium sulfate was then added to the product in order to adsorb the excess water, the mixture was stirred for 15 minutes and then filtered to remove the adsorbent from the final purified biodiesel. The biodiesel was then weighed and subsequently analyzed for FAME (Fatty Acid Methyl Esters) content using ¹H Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy (¹H-NMR).

2.4 Analysis

The following properties of tallow were determined: *acid value*, determined by volumetric titration according to ASTM D664 standard; *moisture content* determined by oven drying method; and *free fatty acid composition* analyzed by gas chromatography according to standard operating protocol of Industrial Metrology and Testing Service Centre, Thailand Institute of Scientific and Technological Research. Biodiesel yield (*% Yield*) relative to the weight of tallow was estimated using Eq. (1).

$$Yield (\%) = \frac{wt. of biodiesel produced}{wt. of tallow} \times 100 \quad (1)$$

¹H NMR analyses were performed on a Bruker DPX 300 MHz spectrometer (Bruker, Germany) with XWIN NMR 3.5 software using deuterated chloroform (CDCl₃) as the solvent. The purity of the final product in term of ester content (*% FAME*) was calculated through Eq. (2) according to Gelbard *et al.* (1995):

$$FAME (\%) = \frac{100 \times (2 \times \text{Peak area of } -OCH_3)}{3 \times \text{Peak area of } \alpha-CH_2} \quad (2)$$

3. Results and Discussion

3.1 Beef tallow Characterization

The rendered beef tallow used in this study contains very small amounts of water (0.01%) with the percentage of free fatty acids (FFA as palmitic) of 0.32 ± 0.06 % suggesting a suitability in term of this feedstock quality for alkali-catalyzed transesterification process (Leung *et al.*, 2010; Iqbal *et al.*, 2011). Analysis of fatty acid composition by gas chromatography revealed that up to 70% of fatty acids in the tallow were saturated fatty acids comprising mainly palmitic acid (32.8 wt.%), stearic acid (26.0 wt.%) and myristic acid (8.8 wt.%) as shown in Table 1. This finding is in agreement with previous reports by Bitman (1976) and Miller-Klein Associates (2006). In addition, the tallow has very low levels of polyunsaturated fatty acids (PUFAs), those that have beneficial effects on human health. This makes beef tallow become less acceptable for dietary intake since saturated fatty acids in the tallow could increase blood cholesterol concentrations as well as increased incidence of heart disease (Williams, 2000; Doyle, 2004). Based on the prescribed information of fatty acids as shown in Table 1, the molecular weight of the beef tallow used in the research was calculated to be 840.84 g/mol

3.2 Catalytic activities of hydroxides

Table 2 shows the result of transesterification of beef tallow with NaOH, KOH and $\text{Ca}(\text{OH})_2$ at 0.5 wt% loading amount of catalyst to tallow, 6:1 molar ratio of methanol to feed stock, 60°C and 1 h reaction time. Comparing three catalysts, NaOH exhibited the higher catalytic activity in the transesterification of beef tallow since it gave the maximum yield of biodiesel and the highest FAME content. Potassium hydroxide was slightly less active with the yield and the FAME content around 88%. Part of differences may be attributable to differences in hygroscopic properties between sodium hydroxide and potassium hydroxide. The stronger hygroscopic properties of potassium hydroxide causes the chemical to absorb or adsorb moisture in the air easily (Knolle *et al.*, 2003), hence decreasing its catalytic effectiveness. While calcium hydroxide showed no catalytic activity in the transesterification of beef tallow. This observation is in agreement with the work of Gryglewicz (1999) who find out that $\text{Ca}(\text{OH})_2$ does not catalyze the methanolysis reaction of rapeseed oil due to its weak base properties. Therefore, NaOH was chosen to catalyze the transesterification in the rest of the experiments.

Catalyst concentration also plays an important role on yield and ester content of biodiesel produced from beef tallow. As demonstrated in Figure 1, the highest yield and FAME content was exhibited at 0.5 wt% of NaOH catalyst loading to the feedstock. While the FAME content was not significantly different as the loading amount of NaOH increased to 0.7 wt%. However, further increase in NaOH quantity to 0.7 wt% resulted in decrease in the biodiesel weight yield due to soap formation which increased exponentially with catalyst concentration as demonstrated by Singh *et al.* (2006).

Table 1. Fatty acid composition of beef tallow used in this research in comparison with other works

Fatty acids		Composition (wt%)		
Name	structure	this study	Bitman (1976)	Miller-Klein associates (2006)
<i>Saturated fatty acids</i>				
Lauric	12:0	0.4	-	-
Myristic	14:0	8.8	3	2-6
Pentadecanoic	15:0	0.6	-	-
Palmitic	16:0	32.8	26	24-37
Heptadecanoic	17:0	1.2	-	-
Stearic	18:0	26.0	14	14-29
Arachidic	20:0	0.2	-	-
<i>Monounsaturated fatty acids</i>				
Myristoleic	14:1	0.7	-	-
Cis-10-Pentadecenoic	15:1	0.2	-	-
Palmitoleic	16:1 n-7	1.6	3	2-4
Cis-10-Heptadecenoic	17:1	0.3	-	-
Oleic	18:1 n-9	25.0	47	26-50
Cis-Vaccenic	18:1 n-7	1.0	-	-
Cis-11-Eicosenoic	20:1 n-9	0.1	-	-
<i>Polyunsaturated fatty acids</i>				
Linoleic	18:2 n-6	0.8	3	1-5
Linoelaidic	18:2 t9t12	0.1	-	-
α -Linolenic	18:3 n-3	0.1	1	0-2
Cis -6,9,12-Octadecatrienoic	18:3 n-6	0.1	-	-
Moroctic	18:4 n-3	0.1	-	-

Table 2. The effect of catalysts on transesterification of beef tallow

Alkali catalyts	Yield (%)	FAME (%)	Acid value (mg KOH/g)
NaOH	90.25 \pm 1.47	95.47 \pm 7.48	0.25 \pm 0.07
KOH	88.44 \pm 3.98	88.41 \pm 8.81	0.30 \pm 0.13
Ca(OH) ₂	N/A [†]	N/A [†]	N/A [†]

[†] Not available because transesterification did not occur.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

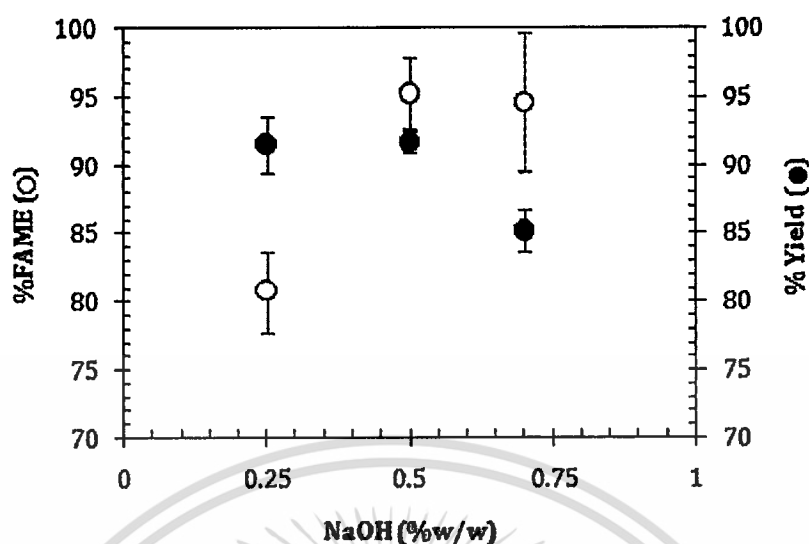


Figure 1. Effect of NaOH loading amount on the yield and purity of biodiesel produced from beef tallow at 60°C, 1 h of reaction time and 6:1 molar ratio of methanol to tallow.

3.3 Effect of Methanol Addition

Increasing the methanol to tallow molar ratio had an effect on both FAME content and reaction yields as demonstrated in Figure 2. When methanol was added according to the stoichiometry of the reaction as 3:1 molar ratio of methanol to triglyceride, the FAME content was $79.6 \pm 8.1\%$. The FAME content was increased significantly to $96.7 \pm 2.3\%$ in 6:1 molar ratio of methanol to feedstock. Similar trend was also observed in the percent weight yield of biodiesel when the molar ratio of methanol increased from 3:1 to 6:1. Increasing molar ratio of methanol to tallow involves the increased reactant concentration which helps to drive the reaction equilibrium to the direction of biodiesel formation. However, a slight decrease in the FAME content ($95.8 \pm 3.8\%$) as well as the percent yield of biodiesel ($88.8 \pm 3.7\%$) was observed with the increase in methanol addition to 9:1 molar ratio. Part of difference is thought to be attributable to catalyst concentration in the system. At the same level of catalyst application, the catalyst concentration was relatively low with higher methanol-to-tallow ratio, which resulted in a lower diffusion rate of catalyst in the oil phase, thus a lower reaction rate with free fatty acids or triglycerides. In addition, the glycerol solubility in methanol increased that helps to drive the reaction equilibrium backward.

3.4 Effect of reaction temperature

A rise in reaction temperature has shown to have a negative effect on the purity of biodiesel produced from beef tallow, and in a lesser extent to the biodiesel weight yield as shown in Figure 3. As reaction temperature was increased from 45°C to 55°C and 60°C, the amount of FAME present in the final product was significantly decreased from $97.1 \pm 0.7\%$ to $95.2 \pm 1.6\%$ and $92.6 \pm 2.2\%$, respectively. While

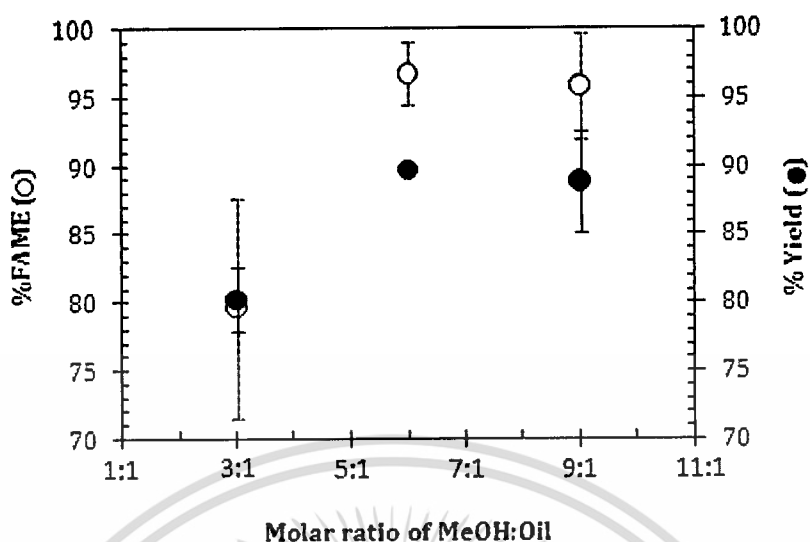


Figure 2. Effect of methanol to tallow molar ratio on the yield and purity of biodiesel produced from beef tallow at 0.5 wt% of NaOH, 60°C and 1 h of reaction time.

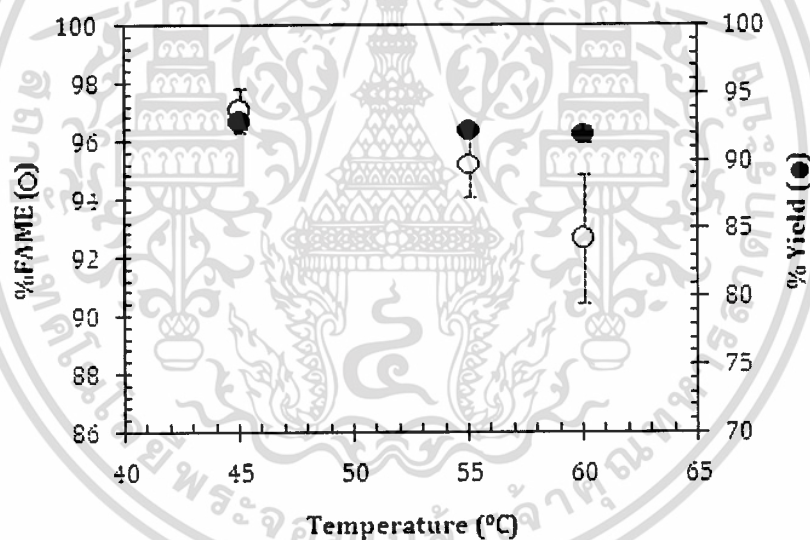


Figure 3. Effect of reaction temperature on the yield and purity of biodiesel produced from beef tallow at 0.5 wt% of NaOH, 6:1 molar ratio of methanol to tallow and 1 h of reaction time.

an increase in reaction temperature from 45°C to 60 °C also leads to a decrease on the biodiesel weight yield. These observation is consistent with Mendonca *et al.* (2011) findings when a combination of the full factorial design and the Doehlert matrix was applied in an effort to optimize the beef tallow biodiesel production. It may be speculated that when reaction temperature increases, the gas phase velocity increases to the point of promoting methanol mass transfer from the liquid phase film resulting in a reduction of methanol in liquid phase. In addition, higher reaction temperature accelerates the saponification of triglycerides which leads to decrease of biodiesel yield when reaction temperature increases beyond the optimal level (Leung and Guo, 2006; Eevera *et al.*, 2009).

3.5 Effect of reaction time

The increase in biodiesel weight yield and FAME content was observed when there is an increase in reaction time from 45 min to 60 min (Figure 4). The maximum yield of and FAME content of was achieved within 60 min. Further increase in reaction time to 75 min does not increase the FAME content in consistent with the findings by Eevera *et al* (2009) as well as Leung and Guo (2006). Besides, longer reaction time leads to the reduction of biodiesel weight yield as demonstrated in Figure 4. This is likely in relation to the hydrolysis of ester (reversible reaction of transesterification) resulting in loss of esters as well as soap formation (Ma *et al.*, 1998; Eevera *et al.*, 2009).

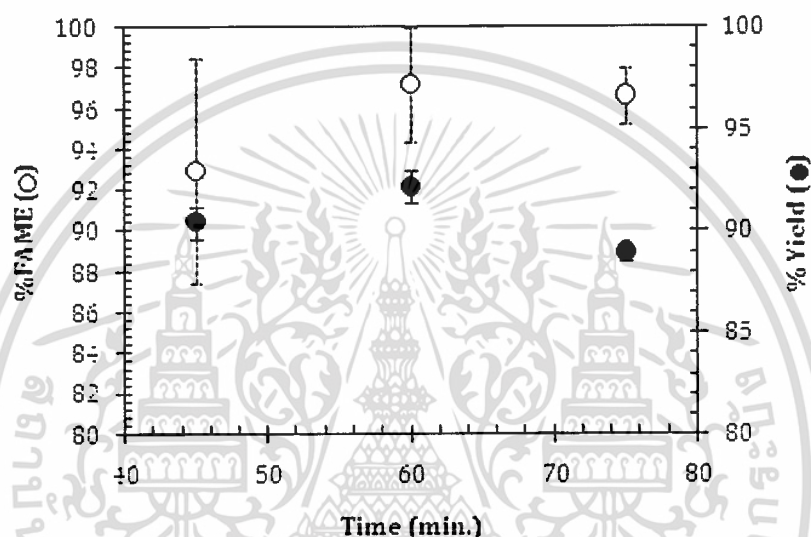


Figure 4. Changes of the yield and the ester content of biodiesel produced from beef tallow at 45°C, 0.5 wt% of NaOH and 6:1 molar ratio of methanol to tallow.

Acknowledgements

This research was supported by a grant from Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

References

- Bhatti, H. N., Hanif, M. A., Qasim, M. and Rehman, A.-u. 2008. Biodiesel production from waste tallow. *Fuel*. 87(13-14), 2961-2966.
- Bitman, J. 1976. Status report on the alteration of fatty acid and sterol composition in lipids in meat, milk, and eggs. *Fat Content and Composition of Animal Products: Proceeding of a Symposium*, Washington, D.C., USA. December 12-13, 1974, 200-237.
- Charoenchaitrakool, M. and Thienmethangkoon J. 2011. Statistical optimization for biodiesel production from waste frying oil through two-step catalyzed process. *Fuel Processing Technology*. 92(1), 112-118.

- da Cunha, M. E., Krause, L. C., Moraes, M.S.A., Faccini, C.S., Jacques, R.A., Almeida, S.R., Rodrigues, M.R.A. and Caramão, E.B. 2009. Beef tallow biodiesel produced in a pilot scale. *Fuel Processing Technology*. 90(4), 570-575.
- Demirbas, A. 2005. Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic super critical methanol transesterification methods. *Progress in Energy and Combustion Science*. 31(5-6), 466-487.
- Doyle, E. M. 2004. Saturated Fat and Beef Fat as Related to Human Health: A Review of the Scientific Literature. University of Wisconsin-Madison: Food Research Institute, 39 pp.
- Eevera, T., Rajendran, K. and Saradha, S. 2009. Biodiesel production process optimization and characterization to assess the suitability of the product for varied environmental conditions. *Renewable Energy*. 34(3), 762-765.
- Gelbard, G., Bres, O., Vargas, R.M., Vielfaure, F. and Schuchardt, U.F. 1995. ¹H nuclear magnetic resonance determination of the yield of the transesterification of rapeseed oil with methanol. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 72(10), 1239-1241.
- Gryglewicz, S. 1999. Rapeseed oil methyl esters preparation using heterogenous catalysts. *Bioresource Technology*. 70(3), 249-253.
- Iqbal, J., Martin, S. and Carney Jr., W.A. 2011. Feedstock quality issues for biodiesel production. Louisiana State University Agricultural Center, Louisiana Agricultural Experiment Station, Louisiana Cooperative Extension Service.
- Kilic, M., Uzun, B. B., Ersan, P., Aysee Eren, P. 2012. Optimization of biodiesel production from castor oil using factorial design. *Fuel Processing Technology*. 111 (September), 105-110.
- Knolle, E., Linert, W. and Gilly, H. 2003. The color change in CO₂ absorbents on drying: an in vitro study using moisture analysis. *Anesthesia and Analgesia*. 97(1), 151-155.
- Leung, D. Y. C. and Guo Y. 2006. Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*. 87(10), 883-890.
- Leung, D. Y. C., Wu, X. and Leung, M.K.H. 2010. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*. 87(4), 1083-1095.
- Ma, F., Clements, L. D. and Hanna, M.A. 1998. The effects of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow. *Transaction of the ASAE* 41(5): 1261-1264.
- Martinez, S. L., Romero, R., Natividad, R., Gonzalez, J. 2014. Optimization of biodiesel production from sunflower oil by transesterification using Na₂O/NaX and methanol. *Catalysis Today*. 220-222(March), 12-20.

- Mendonca, D. R., Andrade, H. M. C., Guimaraes, P.R.B., Vianna, R.F., Meneghetti, S.M.P., Pontes, L.A.M. and Teixeira, L.S.G. 2011. Application of full factorial design and Doehlert matrix for the optimisation of beef tallow methanolysis via homogeneous catalysis. *Fuel Processing Technology*. 92(3), 342-348.
- Miller-Klein Associates. 2006. Use of Tallow in Biodiesel. Available from: [http://archive.hgca.com/publications/documents/Use of Tallow in Biodiesel.pdf](http://archive.hgca.com/publications/documents/Use_of_Tallow_in_Biodiesel.pdf) [June 5, 2014].
- Miller, C. A. 2008. Characterizing Emissions from the Combustion of Biofuels. North Carolina, Research Triangle Park: Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory, Air Pollution Prevention and Control Division. EPA/600/R-08/069.
- National Biodiesel Board. 2014a. What is biodiesel? Available from : <http://www.biodiesel.org/what-is-biodiesel> [December 11, 2013]
- National Biodiesel Board. 2014b. Biodiesel Emissions. Available from : <http://www.biodiesel.org/docs/ffs-basics/emissions-fact-sheet.pdf>. [June 06, 2014].
- Singh, A. P., He, B. B., Thompson, J.C., Van Gerpen, J.H. 2006. Process optimization of biodiesel production using alkaline catalysis. *Applied Engineering and Agriculture*, 22(4): 597-600.
- Sivasamy, A., Cheah, K. Y., Fornasiero, P., Kemausuor, F., Zinoviev, S. and Miertus, S. 2009. Catalytic Applications in the Production of Biodiesel from Vegetable Oils. *ChemSusChem*. 2(4), 278-300.
- United States Environmental Protection Agency. 2002. A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions: Draft Technical Report. U.S. Environmental Protection Agency: Office of Transportation and Air Quality. EPA420-P-02-001. Retrieved from : <http://www.epa.gov/otaq/models/analysis/biodsl/p02001.pdf> [June 5, 2014]
- Williams, C. M. 2000. Dietary fatty acids and human health. *Annales de Zootechnie*. 49(3), 165-180.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล...ดร.อุสวรัตน์ ภาวรัชย์สิทธิ์

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8

หน่วยงานสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 02-329-8000-8099 ต่อ 6249 โทรสาร 02-329-8428

e-mail kpusarat@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วท.บ.	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี	2536
M.Sc.	Environmental Science	Florida Institute of Technology, USA	2539
Ph.D.	Environmental Engineering & Science	Clemson University, USA	2545

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ... การบำบัดและฟื้นฟูคุณภาพสิ่งแวดล้อม.....

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2537-2545	ทุนรัฐบาล	ทบวงมหาวิทยาลัย
2547	ทุนวิจัยประเภทส่งเสริมงานวิจัย งบประมาณเงิน รายได้ คณะวิทยาศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง
2548	ทุนวิจัยประเภทส่งเสริมงานวิจัย งบประมาณเงิน รายได้ คณะวิทยาศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง
2549-2550	ทุนพัฒนาศักยภาพในการทำวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่	สกอ ร่วมกับ สกว
2554-2555	ทุนวิจัยประเภทงานวิจัยเชิงบูรณาการและพาณิชย์ งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

1. Rattiya Ongmali, Saranya Phunpruch and Usarat Thawornchaisit. 2014. Cellular lipid production of a heterotrophic bacterium isolated from poultry processing wastewater. *Songhlanakarin J. Sci Tech.* 36(3) : 355-387.
2. Parichart Hasunthree, Vichuta Toomthong, Sukanda Yoschoch and Usarat Thawornchaisit. 2011. The potential of restaurant trap grease as biodiesel feedstock. *Songhlanakarin J. Sci Tech.* 33 : 525-530.
3. Chatchavaporn Yingsobat and Usarat Thawornchaisit. 2011. Efficiency of Triple Superphosphate fertilizer to stabilize cadmium in different soil texture characteristics. *J. Environ. Res.* 33: 41-55.
4. Usarat Thawornchaisit and Chongrak Polprasert. 2009. Evaluation of phosphate fertilizers for the stabilization of cadmium in highly contaminated soils. *J. Hazard. Mater.* 165: 1109-1113.
5. Usarat Thawornchaisit and Kesinee Pakulanont. 2007. Application of dried sewage sludge as phenol biosorbent. *Bioresource Technol.* 98 : 140-144.

การเสนอผลงานวิชาการ

1. Rattiya Ongmali, Usarat Thawornchaisit and Saranya Phunpruch. 2010. Lipid-accumulating capacity of bacteria isolated from a poultry processing wastewater. *Proceeding of the 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology*, October 4-6, 2010, Pattaya, Thailand.