



จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซล  
ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

**Kinetics of Saponification Reaction for Biodiesel Production Using Base Catalysts**

กรรณิการ์ อังโชติพันธุ์

**Kannika Angchotipan**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Engineering in Chemical Engineering  
Prince of Songkla University**

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์                      จดนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซล  
ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส  
ผู้เขียน                                      นางสาวกรรณิการ์ อังโชติพันธุ์  
สาขาวิชา                                  วิศวกรรมเคมี

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกฤทธิรา รัตนวิไล)

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกฤทธิรา รัตนวิไล)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

.....กรรมการ  
(ดร.ธีระยุทธ หลีวิจิตร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซล ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส
ผู้เขียน	นางสาวกรรณิการ์ อังโชติพันธุ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2553

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันไบโอดีเซลจัดเป็นพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจ ซึ่งกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน แต่ก็พบกับปัญหาของปฏิกิริยาข้างเคียงที่ไม่ต้องการขึ้น นั่นคือ ปฏิกิริยาการเกิดสบู่หรือสะพอนิฟิเคชัน เนื่องจากสบู่ที่เกิดขึ้นส่งผลทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลลดลง และขั้นตอนการแยกและการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ซับซ้อนยิ่งขึ้น ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล โดยปัจจัยที่ศึกษา คือ อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส, ชนิดของเบส คือ KOH และ  $KOCH_3$ , ปริมาณเมทานอล โดยใช้ที่ 2%, 4%, 6% และ 10% โดยน้ำหนักน้ำมัน และเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลเป็น 83%, 90% และ 98% และหาค่าทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิ, ชนิดของเบส, ปริมาณเมทานอล และเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล และจากการคำนวณค่าทางด้านจลนพลศาสตร์พบว่าค่าคงที่ของปฏิกิริยา (k) เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เบสทั้ง KOH และ  $KOCH_3$  ค่าแฟกเตอร์ความถี่เมื่อใช้ KOH มีค่าเท่ากับ  $4.162E+07$  และ  $2.524E+07$  เมื่อกำหนดอันดับปฏิกิริยาของ KOH เป็น 1 และ 2 ตามลำดับ และมีค่าเท่ากับ  $4.170E+03$  และ  $2.484E+03$  เมื่อใช้  $KOCH_3$  เมื่อกำหนดอันดับปฏิกิริยาของ  $KOCH_3$  เป็น 1 และ 2 ตามลำดับ พบว่า ค่าแฟกเตอร์ความถี่เมื่อใช้ KOH สูงกว่า  $KOCH_3$  นั่นคือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลเมื่อใช้ KOH เร็วกว่า  $KOCH_3$  และค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล เมื่อใช้เบสเป็น KOH มีค่าเท่ากับ 50.62 และ 50.67 kJ/mol และมีค่าเท่ากับ 27.93 และ 27.93 kJ/mol เมื่อใช้เบสเป็น  $KOCH_3$  เมื่อกำหนดอันดับปฏิกิริยาของเบสทั้ง 2 เป็น 1 และ 2 ตามลำดับ

<b>Thesis Title</b>	Kinetics of Saponification Reaction for Biodiesel Production Using Base Catalysts
<b>Author</b>	Miss Kannika Angchotipan
<b>Major Program</b>	Chemical Engineering
<b>Academic Year</b>	2010

### **ABSTRACT**

Presently, biodiesel is a renewable energy for interesting that alkali-catalyzed transesterification is common used for bioiesel production. However, there is a serious problem of undesired side-reaction that is "Saponification". Due to the soap lowers biodiesel yield, complicated phase separation and purification process of biodiesel. In this research studys effected on saponification rate. Factor in this study are temperatures; 30, 40, 50, and 60°C. Type of base; KOH and KOCH<sub>3</sub>. Methanol content; 2, 4, 6, and 10% wt of oil. Purity of biodiesel; 83, 90, and 98% including determine kinetics of saponification of biodiesel. From the experiment found that temperatures, Type of base, Methanol content, and Purity of biodiesel had effected on saponification rate. The rate constants increased with increasing temperature when using both KOH and KOCH<sub>3</sub>. The frequency factors were 4.162E+07 and 2.524E+07 for saponification of biodiesel using KOH and 4.170E+03 and 2.484E+03 for saponification of biodiesel using KOCH<sub>3</sub> when reaction order of base (KOH and KOCH<sub>3</sub>) was fixed to 1 and 2. Thus, saponification rate when using KOH is faster than KOCH<sub>3</sub> due to the frequency factor of KOH is higher than KOCH<sub>3</sub>. The activation energies were 50.62 and 50.67 kJ/mol for saponification of biodiesel using KOH and 27.93 and 27.93 kJ/mol for saponification of biodiesel using KOCH<sub>3</sub> when reaction order of base (KOH and KOCH<sub>3</sub>) was fixed to 1 and 2, respectively.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกฤษฎิธา รัตนวิไล อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษา คอยชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหา และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา อีกทั้งยังช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร และ ดร.ธีระยุทธ หลีวิจิตร กรรมการผู้แทนคณะวิศวกรรมศาสตร์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย ที่จัดสรรเงินทุนในการวิจัยรวมทั้งภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณทีมงานของสถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์ม และพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคอยแนะนำการแก้ปัญหาตลอดจนความอนุเคราะห์ด้านสารเคมีที่ใช้ในการทำงานวิจัยตลอดการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคน ที่มีส่วนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้การทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กรรณิการ์ อัง ไซติพันธุ์

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(9)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	4
2.1 ข้อมูลทั่วไปของน้ำมันปาล์มโอเลอิน (Palm olein)	4
2.2 ข้อมูลทั่วไปของไบโอดีเซล	8
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสบู่	16
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.5 อัตราเร็วปฏิกิริยา	22
2.6 สมการอาร์เรเนียส	24
2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Polymath 5.1	25
2.8 การหาค่าร้อยละการเปลี่ยน (% Conversion)	25
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	26
3.1 วัสดุ	26
3.2 อุปกรณ์	27
3.3 วิธีการศึกษา	29
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	34
4.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล	34
4.2 การคำนวณค่าทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล	48
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	61
5.1 สรุปผลการทดลอง	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	64

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก	69
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	70
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณ	76
ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบ	82
ภาคผนวก ง ผลจากการใช้โปรแกรม Polymath 5.1	94
ภาคผนวก จ บทความที่เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ประวัติผู้เขียน	103 109

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบ ปาล์มโอเลอิน และปาล์มสเตียริน อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (%)	6
2 สูตรโครงสร้างของกรดไขมัน	7
3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมัน	8
4 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กรด และเอนไซม์	15
5 แสดงกระบวนการทดลอง	31
6 แสดงผลที่ได้จากการทำ Polynomial Regression เมื่อใช้ KOH ความเข้มข้น 1.48% โดยโมลของน้ำมัน ละลายในเมทานอล 6% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ที่อุณหภูมิต่างๆ	51
7 แสดงผลที่ได้จากการทำ Polynomial Regression เมื่อใช้ $\text{KOCH}_3$ ความเข้มข้น 1.48% โดยโมลของน้ำมัน ละลายในเมทานอล 6% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ที่อุณหภูมิต่างๆ	53
8 แสดงค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อใช้ KOH ความเข้มข้น 1.48% โดยโมลของน้ำมัน ละลายในเมทานอล 6% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ที่อุณหภูมิต่างๆ	55
9 แสดงค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อใช้ $\text{KOCH}_3$ ความเข้มข้น 1.48% โดยโมลของน้ำมัน ละลายในเมทานอล 6% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ที่อุณหภูมิต่างๆ	56
10 แสดงค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาและแฟกเตอร์ความถี่เมื่อใช้ KOH และ $\text{KOCH}_3$ ความเข้มข้น 1.48% โดยโมลของน้ำมัน ละลายในเมทานอล 6% โดยน้ำหนักของน้ำมัน	59
11 แสดงการเปรียบเทียบค่าคงที่ปฏิกิริยาและพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ของไบโอดีเซลกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	60



## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
1 กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม	5
2 แสดงสูตรโครงสร้างทั่วไปของสบู่	16
3 แสดงส่วนที่ไม่มีหัวและส่วนที่มีหัวของสบู่	16
4 แสดงไมเซลล์ของสบู่	17
5 แสดงขั้นตอนการเกิดไมเซลล์ของสบู่	18
6 แสดงลักษณะภายนอกของเมทิลเอสเทอร์	26
7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	28
8 แสดงขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง	30
9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ KOH ที่เหลืออยู่กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30°C, 40°C, 50°C และ 60°C	35
10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นจาก KOH กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30°C, 40°C, 50°C และ 60°C	36
11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ KOCH <sub>3</sub> ที่เหลืออยู่กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30°C, 40°C, 50°C และ 60°C	37
12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นจาก KOCH <sub>3</sub> กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30°C, 40°C, 50°C และ 60°C	38
13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเบสที่เหลืออยู่และปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้น จาก KOH และ KOCH <sub>3</sub> กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30°C	39
14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเบสที่เหลืออยู่และปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้น จาก KOH และ KOCH <sub>3</sub> กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 40°C	39
15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเบสที่เหลืออยู่และปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้น จาก KOH และ KOCH <sub>3</sub> กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50°C	40
16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเบสที่เหลืออยู่และปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้น จาก KOH และ KOCH <sub>3</sub> กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C	40
17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ KOH ที่เหลืออยู่กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่ปริมาณเมทานอลต่างๆ	42

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นจาก KOH กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่ปริมาณเมทานอลต่างๆ	42
19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ $\text{KOCH}_3$ ที่เหลืออยู่กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่ปริมาณเมทานอลต่างๆ	43
20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นจาก $\text{KOCH}_3$ กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่ปริมาณเมทานอลต่างๆ	44
21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ KOH ที่เหลืออยู่กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลต่างๆ	45
22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นจาก KOH กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลต่างๆ	46
23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ $\text{KOCH}_3$ ที่เหลืออยู่กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลต่างๆ	47
24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นจาก $\text{KOCH}_3$ กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลต่างๆ	47
25 แสดงการศึกษาการผันกลับของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน โดยใช้ KOH	49
26 แสดงการศึกษาการผันกลับของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน โดยใช้ $\text{KOCH}_3$	49
27 แสดงความเข้มข้นของ KOH ที่ได้จากการทดลองและ จากการใช้ Polynomial Regression กับเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆ	52
28 แสดงความเข้มข้นของ $\text{KOCH}_3$ ที่ได้จากการทดลองและ จากการใช้ Polynomial Regression กับเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆ	53
29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ กับ $\frac{1}{T}$ ของ KOH และ $\text{KOCH}_3$ สำหรับอันดับปฏิกิริยาของ KOH และ $\text{KOCH}_3$ เท่ากับ 1	58
30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ กับ $\frac{1}{T}$ ของ KOH และ $\text{KOCH}_3$ สำหรับอันดับปฏิกิริยาของ KOH และ $\text{KOCH}_3$ เท่ากับ 2	58

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันพบว่าพลังงานที่ใช้กันส่วนใหญ่ในโลกเป็นเชื้อเพลิงที่ได้มาจากฟอสซิล (International Energy Agency I, 2006, Lam *et al.*, 2010) โดยเฉพาะเชื้อเพลิงดีเซล ที่มีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งในภาคการขนส่ง, เกษตรกรรม, การค้า, ชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรมในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล (Demirbas, 2009) และจากการเพิ่มขึ้นของราคาปิโตรเลียมและความกังวลเกี่ยวกับมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่มาจากการปล่อยแก๊สไอเสียของรถยนต์ เชื้อเพลิงทดแทนจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปีที่ผ่านมา (Miao *et al.*, 2009) ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าและวิจัยในด้านเชื้อเพลิงทางเลือกจึงเป็นสิ่งจำเป็นและมีความต้องการมากขึ้น (Atapour and Kariminia, 2011) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนจากแหล่งพลังงานอื่นๆ ที่มีอยู่ ซึ่งหนึ่งในพลังงานทางเลือกนั้น คือ ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นสารประกอบ โมโนอัลคิลเอสเทอร์ (Mono-alkyl ester) ของกรดไขมันที่มีสายโซ่ยาว (Banerjee and Chakraborty, 2009, Atapour and Kariminia, 2011) ได้มาจากน้ำมันพืช, ไขมันสัตว์ และน้ำมันใช้แล้ว (Leung *et al.*, 2010) ที่ผ่านกระบวนการทางเคมี ซึ่งกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้นสามารถผลิตได้หลายวิธี แต่กระบวนการที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ กระบวนการผลิตโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Demirbas, 2008, Sinha *et al.*, 2008, Georgogianni *et al.*, 2009, Mendow *et al.*, 2011), ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (Cardoso *et al.*, 2008) และการผลิตไบโอดีเซลแบบ 2 ขั้นตอน (สุภาวดี และคณะ, 2550, Omar *et al.*, 2009) เกิดเป็นสารที่เรียกว่า เมทิลเอสเทอร์ หรือเอทิลเอสเทอร์ ขึ้นกับชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่กลั่นจากปิโตรเลียม สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลในรูปแบบของไบโอดีเซลเกือบทั้งหมดหรือนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมได้โดยไม่ต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ (Gunvachai *et al.*, 2007) นอกจากนี้ยังมีผลดีต่อสภาพแวดล้อม อาทิเช่น ไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) การเผาไหม้จะสมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นการลดปริมาณเขม่าและควันดำ ที่เกิดจากการเผาไหม้ไฮโดรคาร์บอนไม่หมด การลดปริมาณ

คาร์บอนมอนอกไซด์ และการลดสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นที่มาของการเกิดฝนกรด (สุภาวดี และคณะ, 2550)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันสามารถดำเนินการโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด เช่น กรดซัลฟิวริก, กรดซัลโฟนิก, กรดฟอสฟอริก และกรดไฮโดรคลอริก หรือตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส เช่น โลหะไฮดรอกไซด์ และโลหะอัลคอกไซด์ เป็นต้น แต่ในการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์สายโซ่สั้น เช่น เมทานอล และเอทานอล โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีความรวดเร็วในการทำปฏิกิริยา และอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการต่ำเมื่อเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Georgogianni *et al.*, 2009) และในการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงที่ไม่ต้องการขึ้น นั่นคือ ปฏิกิริยาการเกิดสบู่หรือสะพอนิฟิเคชัน ทำให้มีการใช้ไปของตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลลดลง และขั้นตอนการแยกและการทำให้บริสุทธิ์ของไบโอดีเซลซับซ้อนยิ่งขึ้น (Vicente *et al.*, 2004, Demirbas and Karlioglu, 2007) ซึ่งปฏิกิริยานี้อาจเกิดได้หลายๆ รูปแบบ เช่น เกิดจากการที่ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมัน, กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน ซึ่งมีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดและกระบวนการซึ่งให้ได้มาของน้ำมันชนิดนั้นๆ (Vicente *et al.*, 2004) แม้กระทั่งเอสเทอร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตโดยปฏิกิริยาดังกล่าว สามารถทำปฏิกิริยากับเบสที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วเกิดเป็นสบู่ได้เช่นกัน และจากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลพบว่า ยังไม่มีงานวิจัยมากนักที่ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันและปัจจัยด้านจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาดังกล่าว ซึ่งทำให้ไม่ทราบว่าสบู่ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันนั้น ปัจจัยใดที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการเกิดสบู่ และมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วเพียงใด

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงสนใจศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ได้แก่ อุณหภูมิ, ชนิดของเบส, ปริมาณแอลกอฮอล์และเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล ซึ่งผลิตจากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยมาก เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์สูง และหาค่าทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงและพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเป็นลำดับต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ได้แก่ อุณหภูมิ, ชนิดของเบส, ปริมาณเมทานอล และเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของ ไบโอดีเซล
- (2) เพื่อหาค่าทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างเอสเทอร์ (เมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล) กับเบส

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) ทราบปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน
- (2) ทราบค่าด้านจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน ได้แก่ อัตราเร็วของปฏิกิริยา ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของสาร ค่าคงที่ปฏิกิริยา และอันดับของปฏิกิริยา
- (3) เป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันต่อไป

## บทที่ 2

### ตรวจเอกสาร

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันสูง ทำให้มีต้นทุนการผลิตและราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายทั้งในสินค้าอุปโภคและบริโภค ส่วนแบ่งการผลิตน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันพืชของโลกจึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ซึ่งปาล์มน้ำมันเหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนชื้น จัดอยู่บริเวณใกล้เคียงกับเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงเจริญเติบโตได้ดีในภาคใต้ของประเทศบริเวณพื้นที่ที่ปลูกมากที่สุด คือจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูลและตรัง โดยจังหวัดกระบี่ ปลูกมากที่สุดจำนวน 537,637 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 39 และรองลงมาได้แก่จังหวัดสุราษฎร์ธานี 405,213 ไร่ และจังหวัดชุมพร 216,798 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 30 และ 16 ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากผลตอบแทนการปลูกปาล์มน้ำมันดีกว่าการปลูกพืชชนิดอื่น เช่น ยางพารา และการทำนาข้าว จึงเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูกประกอบกับมีโครงการเปลี่ยนพื้นที่ปลูกปาล์มทั่วประเทศ คาดว่าปริมาณความต้องการน้ำมันปาล์มภายในเพิ่มขึ้นมากทั้งนี้เพราะราคาน้ำมันปาล์มในตลาดโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น ทำให้ความแตกต่างของราคาภายในและภายนอกประเทศไม่จูงใจให้มีการลักลอบเข้ามาบริโภคทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงเช่นกัน

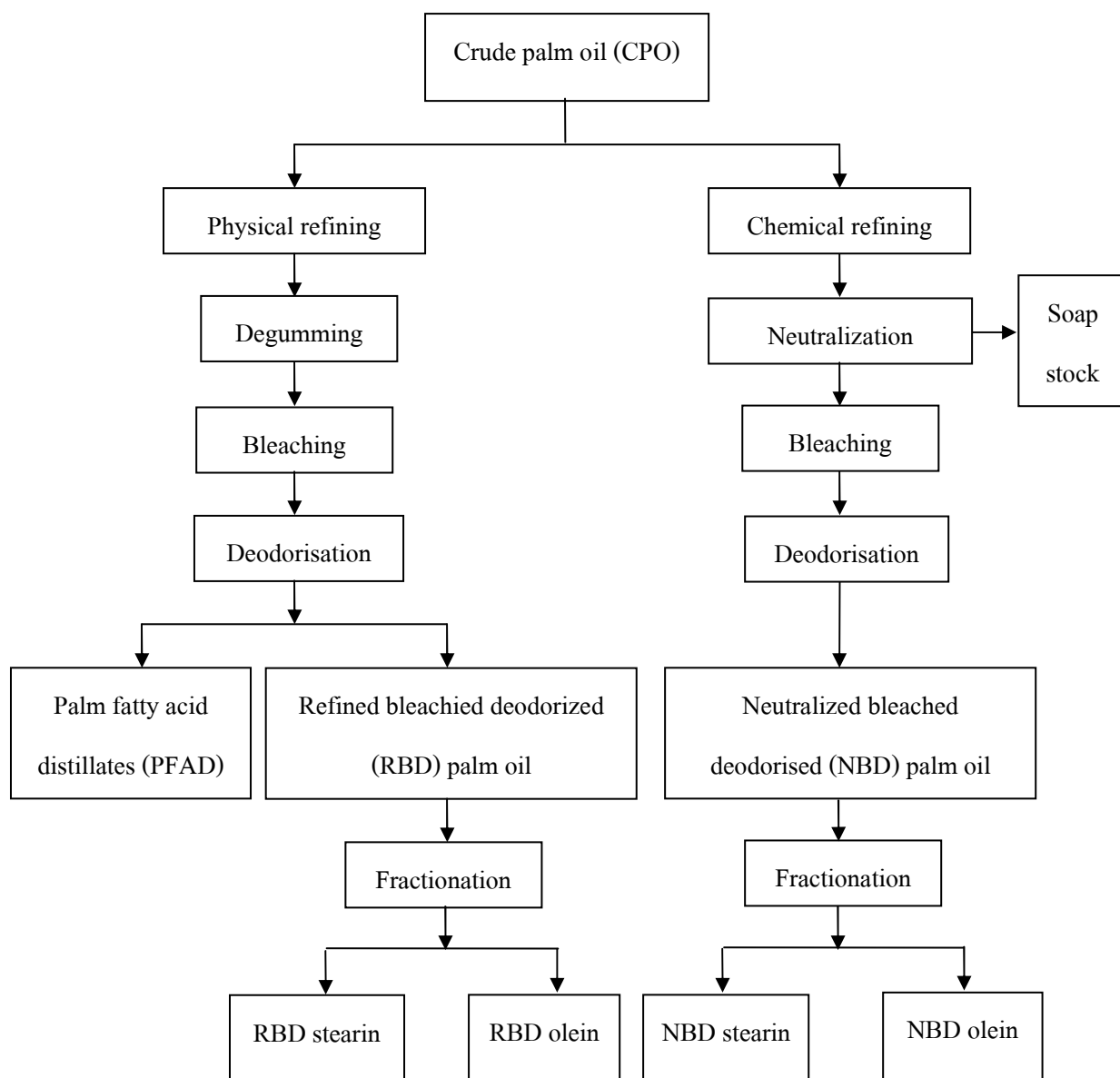
ที่มา: พืชไร่เศรษฐกิจ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรมวิชาการเกษตร

### 2.1 ข้อมูลทั่วไปของน้ำมันปาล์มโอเลอิน (Palm olein)

น้ำมันปาล์ม โอเลอิน ได้จากน้ำมันปาล์มที่นำมาแยกส่วนภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิเพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็ง (Palm stearin) ออกไปจากส่วนที่เป็นของเหลวหรือปาล์ม โอเลอิน ดังนั้นองค์ประกอบของปาล์ม โอเลอินจึงแตกต่างกันตามภูมิภาคและกระบวนการผลิตและมีผลทางอ้อมไปยังสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์ม โอเลอินที่ได้ด้วย

#### 2.1.1 กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมัน

กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์มมี 2 วิธี คือ วิธีทางกายภาพ และวิธีทางเคมี ซึ่งมีขั้นตอนดังแสดงในภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบที่ 1 กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม

ที่มา: Hai และ TEOH (2002)

โดยทั่วไปในการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม มักจะนิยมใช้วิธีการทางกายภาพ เนื่องจากข้อได้เปรียบ คือ ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำเพราะใช้สารเคมีน้อยกว่ากระบวนการทางเคมี

และยังได้ปริมาณน้ำมันที่มากกว่า ซึ่งผลผลิตที่กลั่นบริสุทธิ์ได้จะมีปริมาณกรดไขมันต่างออกไปจากน้ำมันปาล์มดิบ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบ ปาล์มโอเลอิน และปาล์มสเตียริน  
อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (%)

กรดไขมัน	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (%)		
	น้ำมันปาล์มดิบ	ปาล์มโอเลอิน	ปาล์มสเตียริน
Lauric (12:0)	0.2	0.7	0.2
Myristic (14:0)	1.0	1.2	1.3
Palmitic (16:0)	43.7	39.8	60.5
Palmitoleic (16:1)	0.3	0.2	0.1
Stearic (18:0)	4.4	4.4	5.0
Oleic (18:1)	39.9	41.3	26.3
Linoleic (18:2)	10.3	11.9	6.2
Linolenic (18:3)	0.2	0.4	0.2

ที่มา: Iftikhar (1984)

### 2.1.2 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

น้ำมันปาล์มโอเลอินมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว 51-58% ที่เหลือเป็นกรดไขมันอิ่มตัว ดังนั้นจึงนับเป็นน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณใกล้เคียงกัน โดยมีค่าไอโอดีน (Iodine value) ระหว่าง 56-61 ในบรรดากรดไขมันอิ่มตัวมีกรดปาล์มมิติก (Palmitic, C16:0) เป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 38-42% ขณะที่ในส่วนไม่อิ่มตัวมีกรดโอเลอิก (Oleic, C18:1) 41-44% และกรดลิโนเลอิก (Linoleic, C18:2) 10-13% ปาล์มโอเลอินจึงอาจกล่าวได้ว่ามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด 1 พันธะคู่ ในปริมาณค่อนข้างสูง รองลงมาจากน้ำมันคาโนลา โดยตารางที่ 2 แสดงสูตรโครงสร้าง และชื่อทางเคมีของกรดมันทั่วไป ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช ซึ่งแสดงผลเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมัน



### 2.1.3 ลักษณะและสมบัติทางกายภาพและเสถียรภาพของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

น้ำมันปาล์ม โอเลอินมีสีเข้มกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นจากการที่มีแคโรทีนอยด์ในปริมาณสูงกว่า มีอุณหภูมิที่เกิดความขุ่นที่ประมาณ 6-14 องศาเซลเซียส มีเสถียรภาพสูงที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจากการที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูง และมีโทโคฟีรอลกับโทโคไตรอีนอลส์ซึ่งเป็นสารกันหืนตามธรรมชาติในปริมาณค่อนข้างสูง

ที่มา: [http://www.tipoil.com/admin/html/chula1\\_t.doc](http://www.tipoil.com/admin/html/chula1_t.doc)

#### ตารางที่ 2 สูตรโครงสร้างของกรดไขมัน

ชนิดของกรดไขมัน	ชื่อทางเคมีของกรดไขมัน	โครงสร้าง (x:y)*	สูตรโมเลกุล
Capric**	Decanoic	10:0	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>
Lauric	Dodecanoic	12:0	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>
Myristic	Tetradecanoic	14:0	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>
Palmitic	Hexadecanoic	16:0	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>
Stearic	Octadecanoic	18:0	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>
Arachidic	Eicosanoic	20:0	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>
Behenic	Docosanoic	22:0	C <sub>22</sub> H <sub>44</sub> O <sub>2</sub>
Lignoceric	Tetracosanoic	24:0	C <sub>24</sub> H <sub>48</sub> O <sub>2</sub>
Oleic	cis-9-Octadecenoic	18:1	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>
Linoleic	cis-9,cis-12-Octadecadienoic	18:2	C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>
Linolanic	cis-9,cis-12,cis-15-Octadecatrienoic	18:3	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>
Erucle	cis-13-Docosenoic	22:1	C <sub>32</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>

\* (x:y) x แทนจำนวนอะตอมของคาร์บอนในกรดไขมัน

y แทนจำนวนพันธะคู่ในกรดไขมัน

ที่มา: Barnwal และ Sharma (2005)

\*\* [http://en.wikipedia.org/wiki/Decanoic\\_acid](http://en.wikipedia.org/wiki/Decanoic_acid)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมัน

ชนิดกรดไขมัน น้ำมันพืช	ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมัน							
	10:0	12:0	14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
น้ำมันอัลมอนต์	-	-	-	7	2	69	17	-
น้ำมันคาโนลา	-	-	-	4	2	62	22	10
น้ำมันมะพร้าว	6	47	18	9	3	6	2	-
น้ำมันข้าวโพด	-	-	-	11	2	28	58	1
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	-	-	1	22	3	19	54	1
น้ำมันเมล็ดองุ่น	-	-	-	8	4	15	73	-
น้ำมันมะกอก	-	-	-	13	3	71	10	1
น้ำมันปาล์ม	-	-	1	45	4	40	10	-
น้ำมันปาล์มโอเลอิน	-	-	1	37	4	46	11	-
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	4	48	16	8	3	15	2	-
น้ำมันถั่วลิสง	-	-	-	11	2	48	32	-
น้ำมันดอกคำฝอย	-	-	-	7	2	13	78	-
น้ำมันงา	-	-	-	9	4	41	45	-
น้ำมันถั่วเหลือง	-	-	-	11	4	24	54	7
น้ำมันดอกทานตะวัน	-	-	-	7	5	19	68	1

หมายเหตุ 10:0 หมายถึงกรดคาปริก

12:0 หมายถึงกรดลอริก

ที่มา: <http://www.scientificpsychic.com/fitness/fattyacids1.html>

## 2.2 ข้อมูลทั่วไปของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล หมายถึง สารประกอบโมโนอัลคิลเอสเทอร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification) ของน้ำมันพืช หรือสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบ

อินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (Alcohol) และมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดหรือเบส จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ (Ester) และผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้กลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งเราจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์นี้ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์นี้มีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด เพราะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์

### 2.2.1 วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลของไทย

วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และน้ำมันใช้แล้ว ซึ่งในการพิจารณาเลือกพืชชนิดใดมาใช้ต้องคำนึงถึง ราคา ปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันในพืชชนิดนั้น และความเหมาะสมของปริมาณการปลูกพืชน้ำมันในพื้นที่นั้นด้วย

สำหรับประเทศไทยมีการเพาะปลูกพืชน้ำมันหลัก 6 ชนิด คือ ถั่วเหลือง ปาล์ม น้ำมัน มะพร้าว ถั่วลิสง งา และละหุ่ง ในจำนวนพืชน้ำมันทั้ง 6 ชนิดนี้ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีปริมาณผลผลิตสูงสุด รองลงมาคือ มะพร้าว นอกจากน้ำมันทั้ง 6 ชนิดนี้แล้ว ยังมีแหล่งน้ำมันอื่นๆ เช่น สบู่ดำ น้ำมันสัตว์ และน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งน้ำมันที่มีความเหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันมี 3 ชนิด คือ

- (1) ปาล์มน้ำมัน
- (2) สบู่ดำ
- (3) น้ำมันใช้แล้ว

### 2.2.2 การผลิตไบโอดีเซล

Fangrui และคณะ (1999) ได้อธิบายวิธีการผลิตไบโอดีเซลว่าสามารถได้หลายวิธี ดังนี้

- (1) ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)
- (2) กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)
- (3) การทำปฏิกิริยากับเมทานอลในสถานะเหนือวิกฤต (Supercritical methanol)
- (4) ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification)

กระบวนการที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (1) ตัวเร่งปฏิกิริยาทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น



1 วันกว่าปฏิกิริยาจะเกิดอย่างสมบูรณ์ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสามารถใช้ได้ดีกับกลีเซอไรด์ที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวและน้ำในปริมาณสูงได้เช่น ในน้ำมันที่ใช้แล้วเป็นต้น

### 3. เอนไซม์ไลเปส (Lipase)

เอนไซม์ไลเปสถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่างๆ เช่น ไฮโดรไลซิสของกลีเซอรอล แอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) และแอซิโดไลซิส (Acidolysis) ข้อดีของเอนไซม์ไลเปส คือ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก โดยไม่มีของเสียออกมาจากกระบวนการ ข้อเสียของเอนไซม์คือมีราคาก่อนข้างแพง

### 4. ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst)

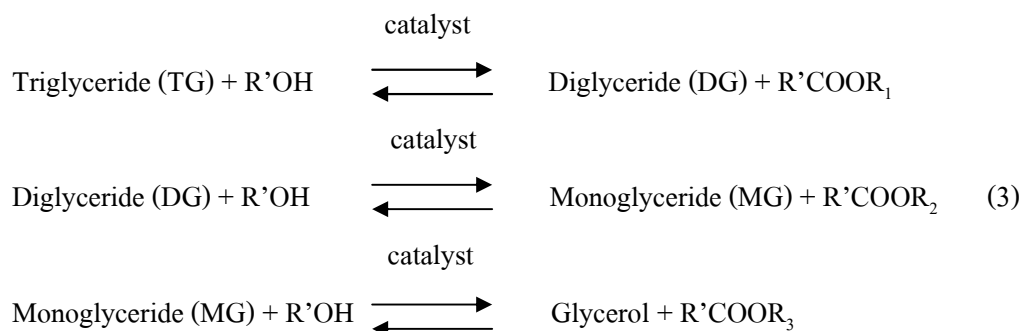
เป็นการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวในระบบ เช่น  $ZrO_2$ ,  $ZnO$ ,  $KNO_3/ZrO_2$ ,  $KNO_3/KL$ , Zeolite เป็นต้น ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะช่วยแก้ปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบที่มีน้ำในปฏิกิริยา

#### (4.2) แอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

แอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน คือ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และ บิวทานอล โดยเฉพาะเมทานอลถูกใช้มากที่สุดเพราะมีราคาถูกอีกทั้งยังมีข้อดีในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพและด้านเคมี คือ เป็นโมเลกุลขนาดเล็กมีขั้ว ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวของเมทานอลสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอไรด์ได้อย่างรวดเร็วและสามารถละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดี ตามสัดส่วนของปฏิกิริยาเคมีพบว่าเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 3:1 แต่ในทางปฏิบัติต้องใช้อัตราส่วนที่มากกว่านั้น หลังปฏิกิริยาสิ้นสุด ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของผสมระหว่างเอสเตอร์, กลีเซอรอล, แอลกอฮอล์, ตัวเร่งปฏิกิริยา, ไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และ โมโนกลีเซอไรด์ เพราะฉะนั้นการทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก เพราะถ้าไบโอดีเซลมีส่วนผสมของโมโนกลีเซอไรด์ จะทำให้ไบโอดีเซลเกิดการแข็งตัวง่าย ทั้งนี้ถ้ามีสิ่งเจือปนอยู่ในไบโอดีเซลก็จะทำให้จุดหมอกควัน (Cloud point) และจุดไหลเท (Pour point) มีค่าสูงขึ้นด้วย

#### (4.3) กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อยแบบผันกลับได้ 3 ขั้นตอนย่อยนั้นคือ เริ่มจากไตรกลีเซอไรด์ เปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ ตามลำดับสุดท้ายได้เป็น เอสเตอร์กับกลีเซอรอล ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (3) จากกลไกข้างล่างพบว่าแต่ละขั้นตอนย่อยจะได้ 1 โมลของเอสเตอร์

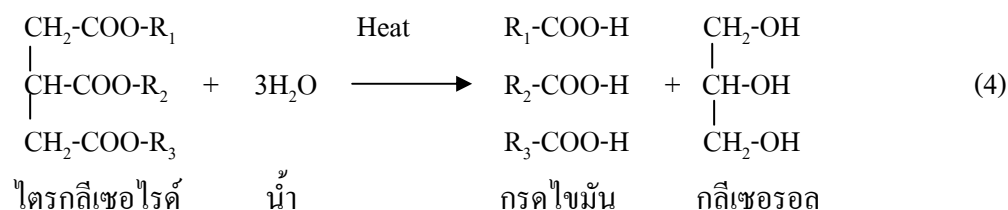


#### (4.4) ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

##### 1. ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

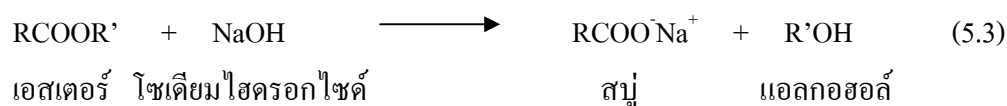
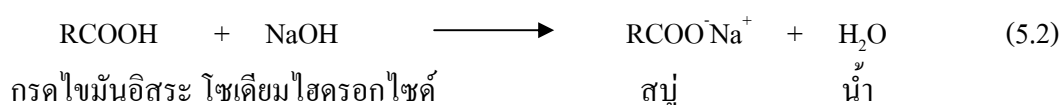
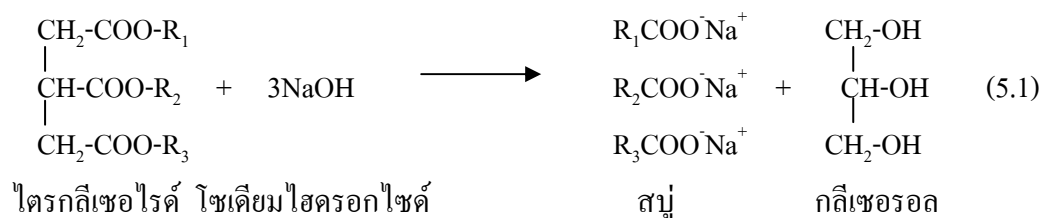
สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (NaOH, KOH เป็นต้น) กลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องไม่มีน้ำเป็นส่วนผสม เพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยา นอกจากน้ำแล้วไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ที่มีอยู่ในน้ำมันวัตถุดิบก็ยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดสบู่เช่นกัน และหากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยาแรกทำปฏิกิริยาไม่หมดตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะทำปฏิกิริยากับเมทิลเอสเทอร์ซึ่งจะส่งผลให้เกิดสบู่ด้วยเช่นกัน ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (4) และ (5) ตามลำดับ จะเห็นว่าปฏิกิริยาการเกิดสบู่เกิดได้จากหลายปฏิกิริยา สบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลง นอกจากนั้นยังส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลคือทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจล และยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลด้วย

ปฏิกิริยาที่ (4) แสดงปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)



ที่มา: สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2005)

ปฏิกิริยาที่ (5) แสดงปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification)



ที่มา: Berchmans *et al.* (2010),

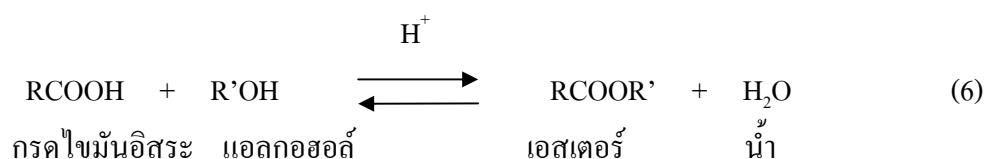
Lam *et al.* (2010),

Leung *et al.* (2010),

Kwiecien *et al.* (2009)

ดังนั้นในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาน้ำมันวัตถุดิบควรมีค่าความเป็นกรด (Acid value) ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม เพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันวัตถุดิบที่มากเกินไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) น้อยลง

แต่สำหรับน้ำมันวัตถุดิบที่มีค่าความเป็นกรดสูง (มากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อกรัม) จะต้องนำน้ำมันมาทำการลดค่าความเป็นกรดลง โดยให้ทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันซึ่งใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid esterification) ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (6) แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ



## 2. ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ เพราะฉะนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามากขึ้นซึ่งก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน โดยในปฏิกิริยาที่ (1) สัดส่วนที่ใช้ในปฏิกิริยา คือ 3 โมล ของแอลกอฮอล์ต่อ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นยังใช้อัตราส่วนมากเท่าไรก็จะทำให้ได้เอสเตอ์ (ไบโอดีเซล) มากขึ้นเท่านั้นและภายในเวลาที่สั้นลงด้วย อัตราส่วน 6:1 เป็นค่าที่ถูกใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมพบว่าได้เมทิลเอสเตอ์มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์

## 3. ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งสามารถแบ่งได้เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด หรือ เอนไซม์ กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วกว่าเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่อย่างไรก็ตาม กลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณมากและมีน้ำผสมอยู่ด้วยการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเหมาะสมกว่า โดยในตารางที่ 4 คือตารางที่เปรียบเทียบข้อแตกต่างของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กรด และเอนไซม์

เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสที่ความเข้มข้น 0.5–1% โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลได้ผลิตภัณฑ์ (Yield) 94–99% การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบสไม่ได้เป็นการช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดมากขึ้น แต่กลับเพิ่มค่าใช้จ่ายในขั้นตอนของการล้างเอาตัวเร่งปฏิกิริยาเบสออกจากผลิตภัณฑ์



ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กรด และเอนไซม์

ตัวแปร	ตัวเร่งชนิดเบส	ตัวเร่งชนิดกรด	เอนไซม์ไลเปส
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60-70	55-80	30-40
กรดไขมันอิสระในน้ำมัน น้ำในน้ำมัน	เกิดสบู่ มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา	เกิดเอสเทอร์ มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา	เกิดเอสเทอร์ ไม่มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา
ปริมาณเมทิลเอสเทอร์	ปกติ	ปกติ	สูง
การ Recovery กลีเซอรอล	ยาก	ยาก	ง่าย
การทำให้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์	ทำการล้างซ้ำ	ทำการล้างซ้ำ	ไม่ต้องล้าง
ราคา	ถูก	ถูก	ค่อนข้างแพง

#### 4. ผลของเวลาและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา นั่นคือถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้นเช่นกัน

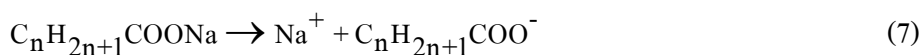
อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชันอย่างมาก อย่างไรก็ตามถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้เพียงพอ ปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใต้อุณหภูมิห้อง แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ เช่น ถ้าเป็นเมทานอลอุณหภูมิที่ใช้คือ 60-70 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ (โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา)

#### 5. ผลของอัตราการกวนผสม

การกวนผสมนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพราะน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีการกวนผสมให้เนื้อสารสัมผัสกัน ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจึงจะเกิดและได้เป็นไบโอดีเซล

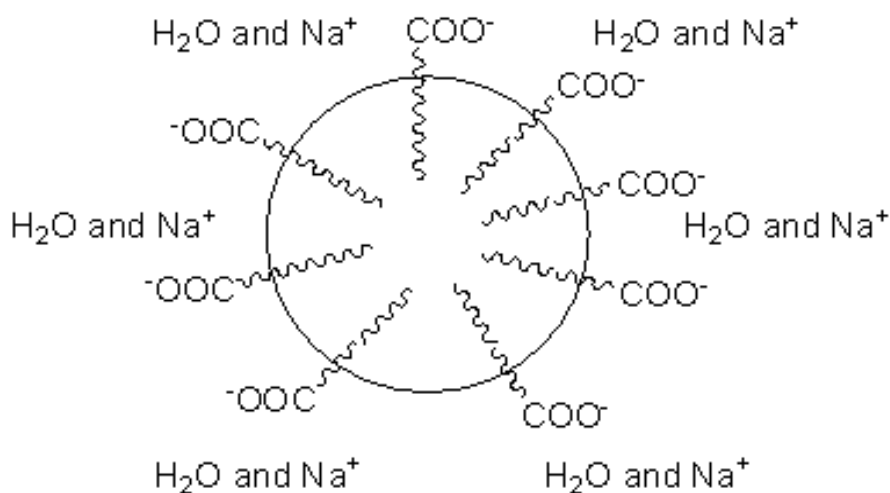
ที่มา: สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2005)



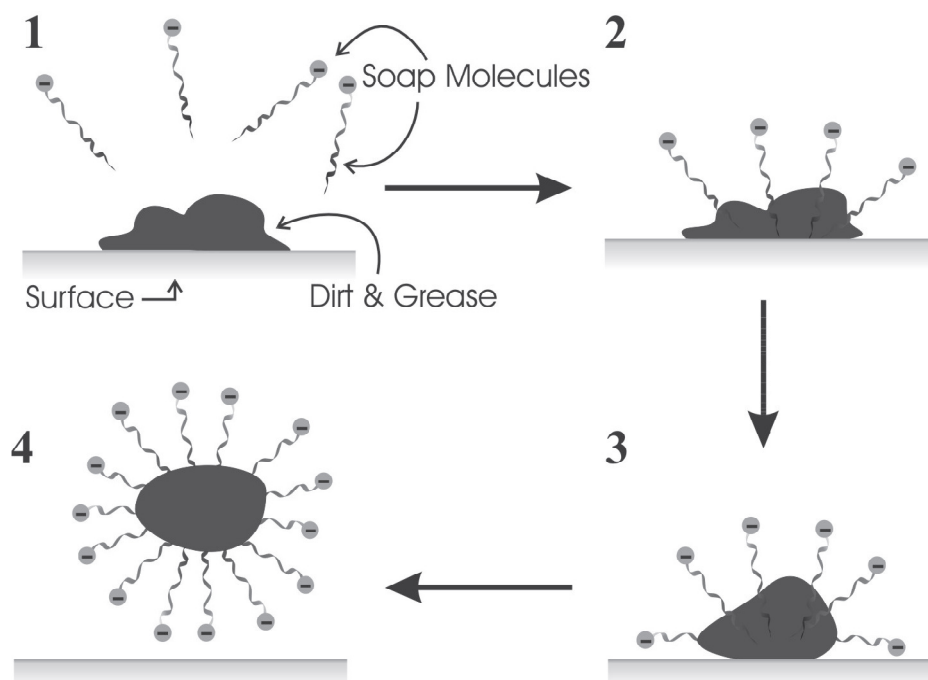


### 2.3.3 การทำงานของสบู่

เนื่องจากโมเลกุลของสบู่ประกอบด้วยโซ่ของไฮโดรคาร์บอนและปลายไอออนิก ส่วนของไฮโดรคาร์บอนจะไม่ละลายในน้ำ (Hydrophobic) แต่ละลายได้ในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว สำหรับปลายไอออนิกจะละลายน้ำได้ (Hydrophilic) เนื่องจากมีส่วนของโซ่ไฮโดรคาร์บอนอยู่ ทำให้โมเลกุลของสบู่ไม่ละลายอย่างแท้จริง อย่างไรก็ตามสบู่จะเป็นคอลลอยด์ในน้ำ เพราะว่าสบู่สามารถเกิดไมเซลล์ (Micells) แสดงดังภาพประกอบที่ 4 และขั้นตอนการเกิดไมเซลล์ของสบู่แสดงดังภาพประกอบที่ 5 โดยด้านโซ่ไฮโดรคาร์บอนจะจับกลุ่มกัน แล้วหันปลายไอออนิกเข้าหาน้ำ ดังนั้น จึงมีสมบัติในการซักล้างได้อย่างดี นั่นคือการกำจัดคราบสกปรกต่างๆ สบู่จะหันด้านโซ่ไฮโดรคาร์บอนเข้าหาคราบสกปรก และปลายด้านไอออนิกจะจับกับน้ำ จึงทำให้สบู่ซักคราบสกปรกได้



ภาพประกอบที่ 4 แสดงไมเซลล์ของสบู่



ภาพประกอบที่ 5 แสดงขั้นตอนการเกิดไมเซลล์ของสบู่

ที่มา: [www.chem.wisc.edu/courses/342/Fall2006/Experiment\\_11.pdf](http://www.chem.wisc.edu/courses/342/Fall2006/Experiment_11.pdf)

(accessed October 21, 2010).

#### 2.3.4 ชนิดของสบู่

สบู่มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่ใช้ โดยทั่วไปจะมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 9.0-10.0 ได้แก่

1. สบู่ก้อน (Hard soap) ลักษณะเป็นก้อนสีขาวหรือเทาขาวเมื่อเวลาแห้งและเย็น มีโซดาเป็นส่วนประกอบหลัก และมีเกลือโพแทสเซียมของกรดไขมัน ใช้สำหรับภายนอกเท่านั้น
  2. สบู่ชนิดอ่อน (Soft soap) ลักษณะคล้ายน้ำผึ้งหรือเยลลี่ (Jelly) สีเหลืองใสทำด้วยน้ำมันมะกอกและโซดา
  3. สบู่เหลว (Liquid soap) มีส่วนผสมของเกลือโพแทสเซียมของกรดไขมัน และอาจมีส่วนผสมของน้ำมันมะกอก เมล็ดถั่ว และเมล็ดฝ้าย
  4. ซินเดท (Syndet) เป็นสบู่ที่มีส่วนผสมของสารที่ให้ความชุ่มชื้นกับผิวหนัง
- นอกจากนี้ อาจมีสบู่ชนิดต่างๆ ซึ่งจะมีส่วนประกอบแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์การใช้ เช่น สบู่ยาที่มีส่วนผสมของไตรโคลซาน (Triclosan) และไตรโคคาร์บอน

(Trichocarbon) ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งฤทธิ์ของแบคทีเรีย สบู่ที่มีส่วนผสมของ lanolin เพื่อทำให้มีความชุ่มชื้นมากขึ้นซึ่งการเลือกใช้สบู่ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวหนังและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

### 2.3.5 ข้อเสียของการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

เนื่องจากโครงสร้างและคุณสมบัติของสบู่ดังกล่าว ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล หากมีสบู่เกิดขึ้นจะก่อให้เกิดผลเสียดังนี้

1. ทำให้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันลดลง เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน
2. ส่งผลต่อผลได้ของไบโอดีเซล คือทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลลดลง
3. ส่งผลต่อขั้นตอนการแยกเฟส คือทำให้การแยกเฟสระหว่างไบโอดีเซลกับกลีเซอรอลยากและซับซ้อนยิ่งขึ้น เนื่องจากการเกิดอิมัลชัน ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์อีกด้วย
4. การเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ไม่สมบูรณ์ หากในเชื้อเพลิง (ไบโอดีเซล) มีสารปนเปื้อนอยู่ เช่น โลหะที่เหลือจากสบู่ ซึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นขี้เถ้าและตกค้างอยู่ภายในเครื่องยนต์ได้

**ที่มา:** Mendow *et al.* (2011), Lam *et al.* (2010), Leung *et al.* (2010), Kwiecien *et al.* (2009), Georgogianni *et al.* (2009), Gerpen *et al.* (1996)

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Alkabbashi *et al.* (2009) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบโดยกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งพัฒนาโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะและใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อดำเนินกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันกับเมทานอล ในที่สุด ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยามี 2 ชั้น ชั้นล่างเป็นกลีเซอรอล และชั้นบนเป็นเมทิลเอสเทอร์ สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการถูกดำเนินการเพื่อหาผลได้ของไบโอดีเซลที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ ซึ่งเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลงได้ผลได้ 93.6% นั่นคือ ดำเนินการในสภาวะที่เหมาะสมที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 250 รอบต่อนาที อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 10:1 และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.4% โดยน้ำหนัก การวิเคราะห์อื่นๆ รวมทั้งความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ที่อุณหภูมิห้องคือ 0.8498 กิโลกรัมต่อลิตร, แรงตึงผิวที่ STP เท่ากับ 26.96 มิลลินิวตันต่อเมตร, Huh-Mason

correction เท่ากับ 0.1 และเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระตอนสุดท้าย คือ 0.12% (สมมูลที่ค่าความเป็นกรดเท่ากับ 0.26 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม)

Dias *et al.* (2008) 1. ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดใช้แล้ว น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลืองรีไฟน์ โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 2. คุณภาพของผลผลิตที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานการผลิตไบโอดีเซลของยุโรป EN 14214 หรือไม่ จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันบริสุทธิ์จะให้ผลได้สูง (สูงถึง 97%) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันทอดใช้แล้ว (สูงถึง 92%) โดยรวมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพต่ำกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมเมทอกไซด์ เนื่องจากความบริสุทธิ์ที่ได้เมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะต่ำกว่าความต้องการที่น้อยที่สุดตามมาตรฐาน EN 14214 ทุกตัวอย่าง การพิจารณาวัตถุประสงค์ที่ศึกษา สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งมั่นใจได้ว่าผลผลิตที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานการผลิต ไบโอดีเซลของยุโรป คือ 1) 0.6% โดยน้ำหนักของโซเดียมเมทอกไซด์ สำหรับน้ำมันบริสุทธิ์ 2) 0.6% โดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์ สำหรับน้ำมันดอกทานตะวัน และ 0.8% โดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์ สำหรับน้ำมันถั่วเหลือง 3) 0.8% โดยน้ำหนัก โดยใช้ทั้งโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมเมทอกไซด์ สำหรับน้ำมันทอดใช้แล้ว ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมนี้จะได้ความบริสุทธิ์ 99.4% โดยน้ำหนัก

Labua *et al.* (2008) ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มดิบกับเมทานอลเพื่อการผลิตไบโอดีเซล ตัวแปรในการทำปฏิกิริยา เช่น อัตราส่วนเชิงโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ กระบวนการล้างและการกำจัดยางเหนียวที่เหมาะสมของน้ำมันปาล์มดิบ ปริมาณ FAME ในของผสมที่ทำปฏิกิริยาถูกหาโดยเครื่อง Cannon Automatic Viscometer (CAV-2000), Automatic Flash Point และ Inductive Coupled Plasma Spectrometer (ICPS-9000) อัตราส่วนเชิงโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่เหมาะสม คือ 9:1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง จุลวาทไฟของผลิตภัณฑ์มีค่ามากกว่า 120 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 1% โดยปริมาตรของโซเดียมเมทอกไซด์ และการกำจัดยางเหนียวของน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ 5% โดยปริมาตรของกรดฟอสฟอริก ที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้ความหนืดของเมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มดิบลดลงเป็น 4.72 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งต่ำกว่าความหนืดมาตรฐานที่ตั้งไว้โดยกรมธุรกิจพลังงาน

สุภาวดี และคณะ (2007) ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ ทำปฏิกิริยากับเมทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาฟอสโฟทังสเตนแอซิดบนอะลูมินา ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด โดยศึกษาปัจจัยดังนี้คือ เปอร์เซ็นต์ของตัวเร่งปฏิกิริยา HPW/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> โดยใช้ที่ 5, 10, 15, 20 และ 30% โดยน้ำหนัก อัตราส่วนเชิงโมลของน้ำมัน

ปาล์มดิบต่อเมทานอลเป็น 1:5, 1:10, 1:15, 1:20 และ 1:40 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทดลอง 180 นาที จากการทดลองพบว่า ปริมาณและสภาวะที่เหมาะสม คือ 30% HPW/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> อัตราส่วนเชิงโมลของน้ำมันปาล์มดิบต่อเมทานอลเป็น 1:40 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 40 นาที และได้ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับ 48.78 กิโลจูลต่อโมล และค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาย้อนกลับเท่ากับ 49.28 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งค่าคงที่ปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

May (2004) ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มในการผลิตเมทิลเอสเตอ์ และผลของตัวแปรในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ อุณหภูมิ อัตราการกวนผสม และปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่า มีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์ม สภาวะในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่ได้ คือ อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 10:1 และเวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 7 นาที ที่ ca. 65 °C อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะใช้อัตราการกวนผสมที่ 150 รอบต่อนาที ปริมาณเมทานอลที่ต้องการน้อยที่สุดเพื่อให้ได้ Conversion รวมเป็น 233% (เมทานอลเกินพอ) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ไม่ควรเกิน 0.5 โมลต่อกิโลกรัม น้ำมัน หรืออื่น ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาการแข็งตัวของการผสมในปฏิกิริยาเนื่องจากการเกิดสบู่ สำหรับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระน้อยกว่า 5% ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเพื่อผลิตเมทิลเอสเตอ์สามารถส่งผลอย่างทันทีทันใด โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อปรับสภาพกรดไขมันให้เป็นกลาง

Darnoko *et al.* (2000) ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันซึ่งเป็นการผลิตเมทิลเอสเตอ์โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล และมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 นาที และใช้อัตราการกวนผสมคงที่ตลอดการทดลอง โดยศึกษาผลของปัจจัยดังนี้คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 50, 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 0.5, 0.6, 1.0 และ 1.2% โดยน้ำหนัก จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือ 60 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม คือ 1% โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ค่าคงที่ปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตร-, ได- และ โมโนกลีเซอไรด์เท่ากับ 0.018-0.191 min<sup>-1</sup> ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโมโนกลีเซอไรด์จะมีค่าสูงกว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ พลังงานก่อกัมมันต์สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตร-, ได- และ โมโนกลีเซอไรด์มีค่าเท่ากับ 14.7, 14.2 และ 6.4 กิโลแคลอรีต่อโมล (หรือ 61.55, 59.45 และ 26.80 กิโลจูลต่อโมล) ตามลำดับ

จากการศึกษาข้อมูล พบว่า โดยทั่วไปการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์-เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้บ่อยคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์, โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์, โซเดียมเมทอกไซด์ และโพแทสเซียมเมทอกไซด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส อัตราส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 0.5-1.4% โดยน้ำหนัก ซึ่งการเกิดสบู่ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาถูกใช้ไป ทำให้ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันลดลง, ผลได้ของไบโอดีเซลลดลง, การแยกเฟสระหว่างไบโอดีเซลกับกลีเซอรอลยากและซับซ้อนยิ่งขึ้น และการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ไม่สมบูรณ์ และพบว่าการศึกษาในด้านจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันยังมีไม่มากนัก

ในวิทยานิพนธ์นี้จึงศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือ 60 องศาเซลเซียส, ชนิดของเบส โดยเปรียบเทียบระหว่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับโพแทสเซียมเมทอกไซด์, ปริมาณเมทานอลที่เหลืออยู่หลังจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน เนื่องจากหลังการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจะมีปริมาณเมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาอย่างน้อย 3 โมล ซึ่งสมมุติว่าอาจอยู่ในเฟสของเอสเทอร์ 1.5 โมล และอยู่ในเฟสของกลีเซอรอลอีก 1.5 โมล (กรณีใช้อัตราส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:6 ในการทำปฏิกิริยา) หรืออาจจะน้อยกว่าหรือมากกว่าที่ตั้งสมมุติฐานไว้ ซึ่งในการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้จะเริ่มจากสมมุติฐานว่า มีปริมาณเมทานอลเหลืออยู่ 6% โดยน้ำหนักของน้ำมัน และความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล และคำนวณค่าทางจลนพลศาสตร์

## 2.5 อัตราเร็วปฏิกิริยา

อัตราเร็วปฏิกิริยา หมายถึง การเปลี่ยนแปลงเชิงมวลหรือจำนวนโมล เนื่องจากปฏิกิริยาของสารทำปฏิกิริยาหรือผลิตภัณฑ์ต่อเวลาต่อปริมาตรของสารผสมในปฏิกิริยา

ถ้าให้  $i$  เป็นชนิดของสาร (Species) ใดๆ ในปฏิกิริยา อัตราเร็วปฏิกิริยาตามสาร  $i$  เขียนเป็นสมการที่ (8) ได้ดังนี้

$$r_i = \frac{1}{V} \frac{dn_i}{dt} = \frac{dC_i}{dt} \quad (8)$$





$k_1, k_3$  เป็นค่าคงที่ของปฏิกิริยาไปข้างหน้าของปฏิกิริยา  
 $k_2, k_4$  เป็นค่าคงที่ของปฏิกิริยาผันกลับของปฏิกิริยา ซึ่งไม่  
 ขึ้นกับความเข้มข้นของสารทำปฏิกิริยาแต่ขึ้นกับอุณหภูมิ

หมายเหตุ ทั้งนี้จะดำเนินการตรวจสอบปฏิกิริยาที่ (9) และ (10) ว่าเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้หรือไม่  
 ก่อนจะทำการสร้างแบบจำลองตามขั้นตอนการดำเนินการวิจัยต่อไป

## 2.6 สมการอาร์เรเนียส

ในปี ค.ศ. 1889 สวานเต อาร์เรเนียส แสดงให้เห็นว่าค่าคงที่ปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับ  
 อุณหภูมิ ดังสมการ

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (11)$$

เมื่อ  $E_a$  คือ พลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา (J/mol)

$R$  คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (เท่ากับ 8.314 J/K.mol)

$T$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

$e$  คือ ฐานของลอการิทึมธรรมชาติ

$A$  คือ ความถี่ของการชน เรียกว่า แฟกเตอร์ความถี่ (Frequency factor) มี  
 ค่าคงที่ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างพอควรสำหรับแต่ละปฏิกิริยา

สมการที่ (11) เรียกว่า สมการอาร์เรเนียส (Arrhenius equation) ซึ่งบอกให้เรา  
 ทราบว่าค่าคงที่อัตราแปรผันกับ  $A$  หรือความถี่ของการชน โดยตรง นอกจากนี้การที่มีเครื่องหมาย  
 ลบอยู่หน้า  $\frac{E_a}{RT}$  แสดงว่าค่าคงที่อัตราลดลงเมื่อพลังงานก่อกัมมันต์มีค่าสูงขึ้นและเมื่ออุณหภูมิ  
 สูงขึ้นอาจเขียนสมการนี้ใหม่ในรูปของลอการิทึมธรรมชาติ ดังนี้

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

ดังนั้น เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $\ln k$  กับ  $\frac{1}{T}$  จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ  $\left(-\frac{E_a}{R}\right)$  และมีจุดตัดแกนตั้งเท่ากับ  $\ln A$

## 2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Polymath 5.1

เนื่องจากโปรแกรม Polymath 5.1 เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่าย สามารถวิเคราะห์ข้อมูลแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น

การกำหนดอันดับปฏิกิริยาหรือค่าคงที่ปฏิกิริยาทำได้ง่ายด้วย Polymath 5.1 เพียงแต่ใส่ผลการทดลองในโปรแกรม แล้วกำหนดแบบจำลองของสมการอัตราเร็วปฏิกิริยา จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองสมการอัตราเร็วปฏิกิริยาที่ต้องการ โปรแกรมนี้มีการคำนวณช่วงความน่าเชื่อถือ 95% และความแปรปรวน (Variance) ไว้ด้วย ดังนั้นจึงช่วยในการตัดสินใจว่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้นั้นเป็นค่าที่เหมาะสมหรือไม่

## 2.8 การหำร้อยละการเปลี่ยน (%Conversion)

ในทางปฏิบัติหรือในทางอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมี จะพบว่าปฏิกิริยาไม่ได้ถูกดำเนินไปจนกระทั่งสารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยาได้ถูกใช้ไปอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีเกณฑ์กำหนดว่าปฏิกิริยานั้นๆ มีการเปลี่ยนแปลงเท่าใด โดยจะใช้ร้อยละการเปลี่ยน หรือ % Conversion เป็นตัวกำหนด ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\% \text{ Conversion} = \frac{\text{จำนวน โมลของสารนั้นที่ทำปฏิกิริยา}}{\text{จำนวน โมลของสารนั้นที่ป้อนเข้า}} \times 100$$

หรือ

$$\% \text{ Conversion} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \times 100$$

เมื่อ  $n_1$  คือ จำนวน โมลของสารนั้นที่เข้าระบบ

$n_2$  คือ จำนวน โมลของสารนั้นที่ออกจากระบบ

## บทที่ 3

### วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

#### 3.1 วัสดุ

##### 3.1.1 วัสดุดิบ

(1) เมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) ผลิตจากสถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยใช้ น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นวัตถุดิบตั้งต้น ลักษณะภายนอกของเมทิลเอสเทอร์มีสีเหลืองส้ม เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง แสดงดังภาพประกอบที่ 6 มีความบริสุทธิ์ 98% และมีความหนาแน่น 0.87 กิโลกรัมต่อลิตร



ภาพประกอบที่ 6 แสดงลักษณะภายนอกของเมทิลเอสเทอร์

(2) น้ำมันปาล์มโอเลอิน ผลิตโดยบริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด มหาชน

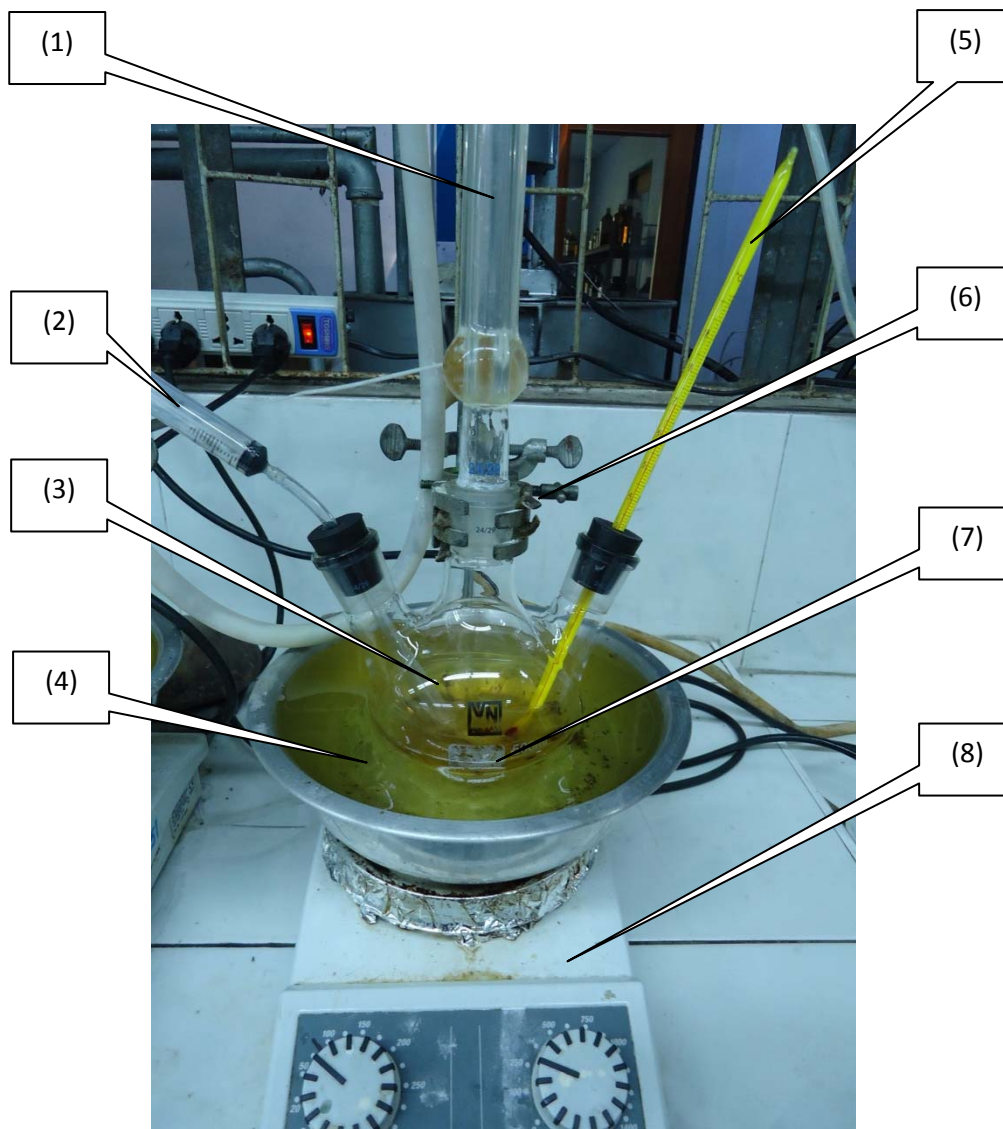
### 3.1.2 สารเคมี

- (1) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH, Commercial grade) ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก ผลิตโดยบริษัท เอส ที เคมีธุรกิจ จำกัด
- (2) โพแทสเซียมเมทอกไซด์ (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Commercial grade) ละลายในเมทานอล ความเข้มข้น 32% โดยน้ำหนัก ผลิตโดยบริษัท เจ็บเซ่น แอนด์ เจ็สเซ่น เคมีคอล (ที) จำกัด
- (3) ฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์ ผลิตโดยห้างหุ้นส่วนจำกัด บอส ออฟดีคอล
- (4) โบรโมฟีนอลบลู อินดิเคเตอร์, Fisher Scientific UK Ltd.
- (5) กรดไฮโดรคลอริก (HCl, Analytical grade) ความเข้มข้น 37% โดยน้ำหนัก, Lab-Scan Ltd (Ireland)
- (6) เมทานอล (CH<sub>3</sub>OH, Commercial grade) ความเข้มข้น 99.8% โดยน้ำหนัก ผลิตโดยบริษัท พี. เจนเนอรัลกรุ๊ปจำกัด
- (7) ไอโซโพรพานอล (Isopropanol, Commercial grade) ความเข้มข้น 99.8% โดยน้ำหนัก ผลิตโดยบริษัท ท็อบ โซลเว้นท์ จำกัด

## 3.2 อุปกรณ์

### 3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

- (1) รีฟลักซ์คอนเดนเซอร์ ใช้สำหรับให้เมทานอลที่ระเหยควบแน่นกลับไปยังขวด 3 คอ
- (2) กระจกน็อคยา ขนาด 5 มิลลิเมตร ใช้สำหรับตั้งสารตัวอย่าง
- (3) ขวด 3 คอ ขนาด 500 มิลลิเมตร ใช้สำหรับรองรับสารที่จะทำปฏิกิริยา
- (4) อ่างน้ำมัน ใช้สำหรับให้สารได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง
- (5) เทอร์โมมิเตอร์ ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิในขวด 3 คอ
- (6) ขาดัง, แคลมป์ ใช้สำหรับยึดจับรีฟลักซ์คอนเดนเซอร์
- (7) แท่งแม่เหล็กกวน ใช้สำหรับกวนให้สารผสมกันได้ดี
- (8) ฮีตเตอร์ ใช้สำหรับให้ความร้อนแก่สารที่เข้าทำปฏิกิริยา
- (9) นาฬิกาจับเวลา ใช้สำหรับควบคุมเวลาในการตั้งสารตัวอย่าง



ภาพประกอบที่ 7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

### 3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

- (1) ขวดรูปชมพู่ ใช้สำหรับใส่สารตัวอย่างและตัวทำละลาย
- (2) บิวเรต ใช้สำหรับใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต
- (3) ขาดั่ง, บิวเรตแคลมป์ ใช้สำหรับยึดจับบิวเรต
- (4) ปีกเกอร์ ใช้สำหรับใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก
- (5) หลอดหยด ใช้สำหรับหยดอินดิเคเตอร์

(6) เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ใช้สำหรับชั่งสารตัวอย่าง

(7) อ่างน้ำเย็น ใช้สำหรับแช่สารตัวอย่างเพื่อหยุดปฏิกิริยา

### 3.3 วิธีการศึกษา

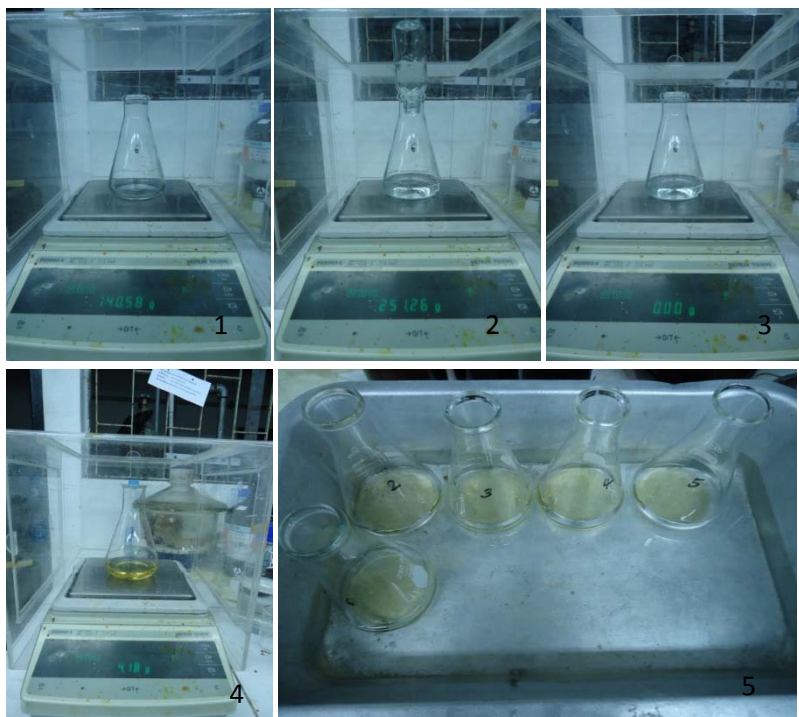
**3.3.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน** ได้แก่ อุณหภูมิ, ชนิดของเบส, ปริมาณเมทานอล และเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล

#### 3.3.2 สภาพที่ใช้ในการทดลอง

1. อุณหภูมิที่แตกต่างกัน คือ 30 (อุณหภูมิห้อง), 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส
2. ชนิดเบส คือ KOH และ  $\text{KOCH}_3$  ด้วยความเข้มข้น 1.48% โดยโมลของน้ำมัน
3. ปริมาณเมทานอลที่แตกต่างกัน คือ 2%, 4%, 6% และ 10% โดยน้ำหนักน้ำมัน
4. เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล คือ 83%, □0% และ □8%

#### 3.3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. วิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล โดยวิธีตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลแบบกะประมาณ (Proximate analysis) โดยใช้ไมโครเวฟ
2. ทดลองโดยทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันระหว่างไบโอดีเซล (ที่มีความบริสุทธิ์ 83%, □0% และ □8% ตามลำดับ) กับเบส (KOH,  $\text{KOCH}_3$ ) ความเข้มข้น 1.48% โดยโมลของน้ำมัน (ละลายในเมทานอลปริมาณ 2%, 4%, 6% และ 10% โดยน้ำหนักน้ำมัน ตามลำดับ) ที่อุณหภูมิ 30 (อุณหภูมิห้อง), 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส
3. เก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 1, 3, 5, ..., 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, □0 และ 120 นาที ตามลำดับ ซึ่งขั้นตอนการเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพประกอบที่ 8



ภาพประกอบที่ ๑ แสดงขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

4. วิเคราะห์หาปริมาณเบสและสนุ่ โดยวิธีการไทเทรต
5. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาค่าตัวแปรโดยการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Polymath 5.1 และสมการอาร์เรเนียส
6. วิธีวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล, ปริมาณเบส, ปริมาณสนุ่, การเตรียมสาร และตัวอย่างการคำนวณแสดงดังภาคผนวก



ตารางที่ 5 แสดงกระบวนการทดลอง

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิและชนิดของเบส

ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)	ปริมาณแอลกอฮอล์ (%wt of Oil)	ชนิดเบส	อุณหภูมิ (°C)
8	6	KOH	30
8	6	KOH	40
8	6	KOH	50
8	6	KOH	60

ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)	ปริมาณแอลกอฮอล์ (%wt of Oil)	ชนิดเบส	อุณหภูมิ (°C)
8	6	KOCH <sub>3</sub>	30
8	6	KOCH <sub>3</sub>	40
8	6	KOCH <sub>3</sub>	50
8	6	KOCH <sub>3</sub>	60

2. ศึกษาปริมาณแอลกอฮอล์

ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)	อุณหภูมิ (°C)	ชนิดเบส	ปริมาณแอลกอฮอล์ (%wt of Oil)
8	60	KOH	2
8	60	KOH	4
8	60	KOH	6
8	60	KOH	10

ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)	อุณหภูมิ (°C)	ชนิดเบส	ปริมาณแอลกอฮอล์ (%wt of Oil)
8	60	KOCH <sub>3</sub>	2
8	60	KOCH <sub>3</sub>	4
8	60	KOCH <sub>3</sub>	6
8	60	KOCH <sub>3</sub>	10

หมายเหตุ เนื่องจากในการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน อุณหภูมิ 60°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้ได้ผลได้ของไบโอดีเซลสูงสุด

### 3. เปรอ์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณแอลกอฮอล์ (%wt of Oil)	ชนิดเบส	ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)
60	6	KOH	8
60	6	KOH	0
60	6	KOH	83

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณแอลกอฮอล์ (%wt of Oil)	ชนิดเบส	ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)
60	6	KOCH <sub>3</sub>	8
60	6	KOCH <sub>3</sub>	0
60	6	KOCH <sub>3</sub>	83

หมายเหตุ หลังจากการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 60°C และมีแอลกอฮอล์เหลืออยู่ปริมาณ 6% โดยน้ำหนักน้ำมัน ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ กันจะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันอย่างไร

### 3.3.3 การคำนวณค่าทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ได้แก่

1. ค่าคงที่ปฏิกิริยา (Rate constant,  $k$ ) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ
2. อันดับของปฏิกิริยา (Reaction order)
3. แฟกเตอร์ความถี่ (Frequency factor,  $A$ )
4. พลังงานก่อกัมมันต์ (Activation energy,  $E_a$ )

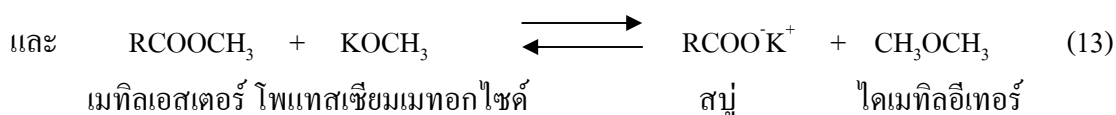
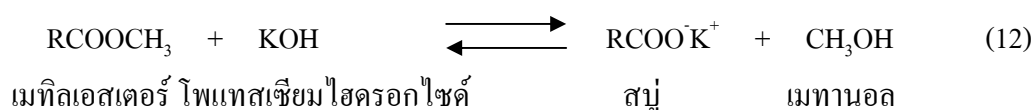
วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Polymath 5.1 และใช้สมการอาร์เรเนียส

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล

ในการทดลองศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ได้แก่ อุณหภูมิ, ชนิดของเบส, ปริมาณแอลกอฮอล์ และเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณเบสที่เหลืออยู่และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น (ด้วยวิธีการไทเทรต) ในปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ซึ่งใช้เบสเป็น KOH และ KOCH<sub>3</sub> ดังปฏิกิริยาที่ (12) และ (13) ตามลำดับ



##### 4.1.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล

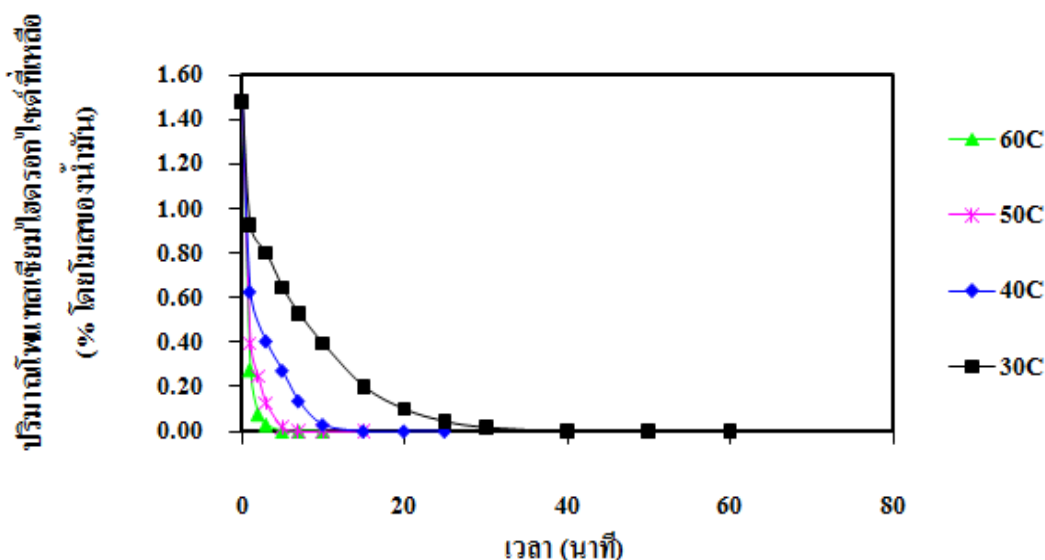
ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ทำการทดลองที่ความเข้มข้นของเบส 1.48% โดยโมลของน้ำมัน ละลายในเมทานอล 6% โดยน้ำหนักน้ำมัน ความเร็วรอบ 250 rpm โดยทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็น 30°C, 40°C, 50°C และ 60°C ตามลำดับ และทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อเบสทั้ง 2 ชนิด คือ KOH และ KOCH<sub>3</sub>

##### (1) ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล

เมื่อใช้ KOH

### (1.1) ปริมาณของ KOH ที่เหลืออยู่ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

จากปฏิกิริยาที่ (11) KOH เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไป ปริมาณของ KOH จะลดลง ซึ่งผลแสดงดังภาพประกอบที่ 9



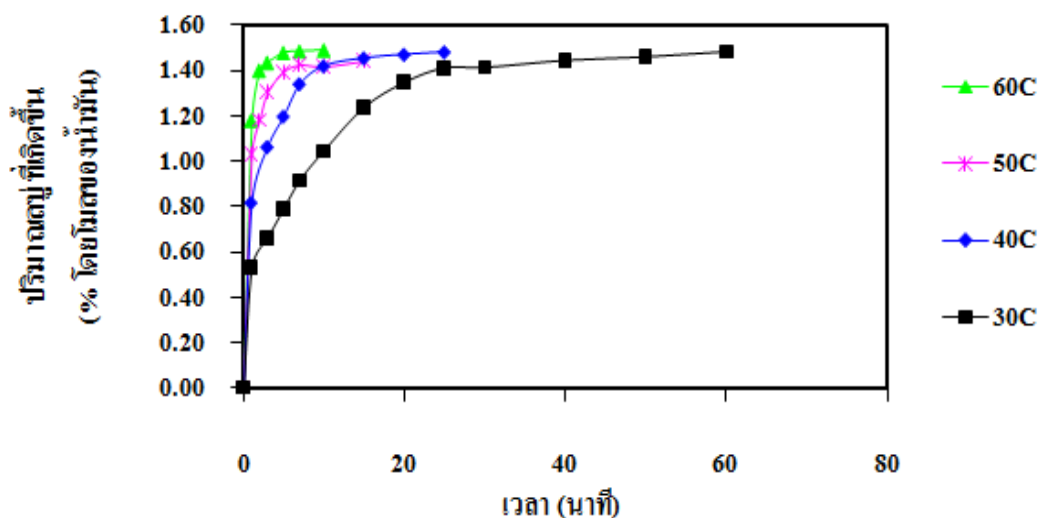
ภาพประกอบที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ KOH ที่เหลืออยู่กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30°C, 40°C, 50°C และ 60°C

หมายเหตุ ปริมาณของ KOH ที่เหลืออยู่ ณ เวลา 0 นาที หมายถึงปริมาณของ KOH ตอนเริ่มต้นที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา

จากภาพประกอบที่ 9 สังเกตได้ว่า ที่อุณหภูมิ 30°C, 40°C, 50°C และ 60°C การหายไปของปริมาณ KOH มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด นั่นหมายความว่า อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่า ที่อุณหภูมิสูงขึ้น การหายไปของปริมาณ KOH จะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งปริมาณของ KOH จะหมดไปที่เวลา 5, 7, 15 และ 40 นาที ที่อุณหภูมิ 60°C, 50°C, 40°C และ 30°C ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลเกิดขึ้นเร็วขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของอาร์เรเนียสที่ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าคงที่ของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นนั่นเอง

### (1.2) ปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้น เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

จากปฏิกิริยาที่ (11) สบู่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันระหว่างเมทิลเอสเตอริกกับ KOH ซึ่งปริมาณของสบู่ที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังภาพประกอบที่ 10



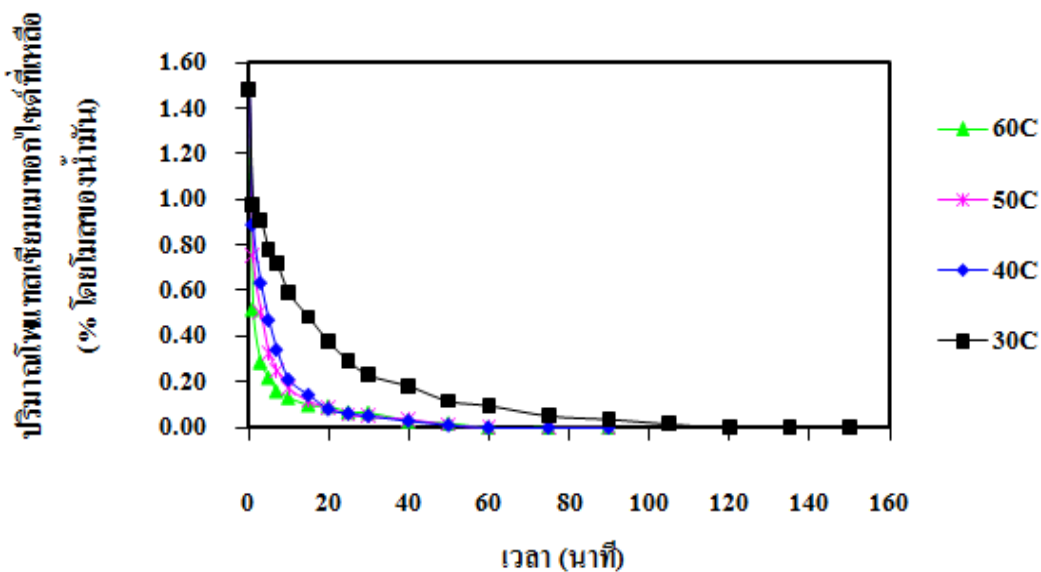
ภาพประกอบที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นจาก KOH กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30°C, 40°C, 50°C และ 60°C

จากภาพประกอบที่ 10 แสดงให้เห็นว่า สบู่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่อุณหภูมิสูง นั่นคือ อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดขึ้นของปริมาณสบู่ และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นมีความสอดคล้องกับการหายไปของปริมาณ KOH ซึ่งหมายความว่า ปริมาณ KOH ที่หายไปนั้น ทำให้เกิดเป็นสบู่ขึ้นเนื่องมาจากปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลนั่นเอง

### (2) ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน เมื่อใช้ $\text{KOCH}_3$

#### (2.1) ปริมาณของ $\text{KOCH}_3$ ที่เหลืออยู่ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

จากปฏิกิริยาที่ (12)  $\text{KOCH}_3$  เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาเช่นเดียวกับ KOH ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณของ  $\text{KOCH}_3$  ก็จะลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งผลแสดงดังภาพประกอบที่ 11



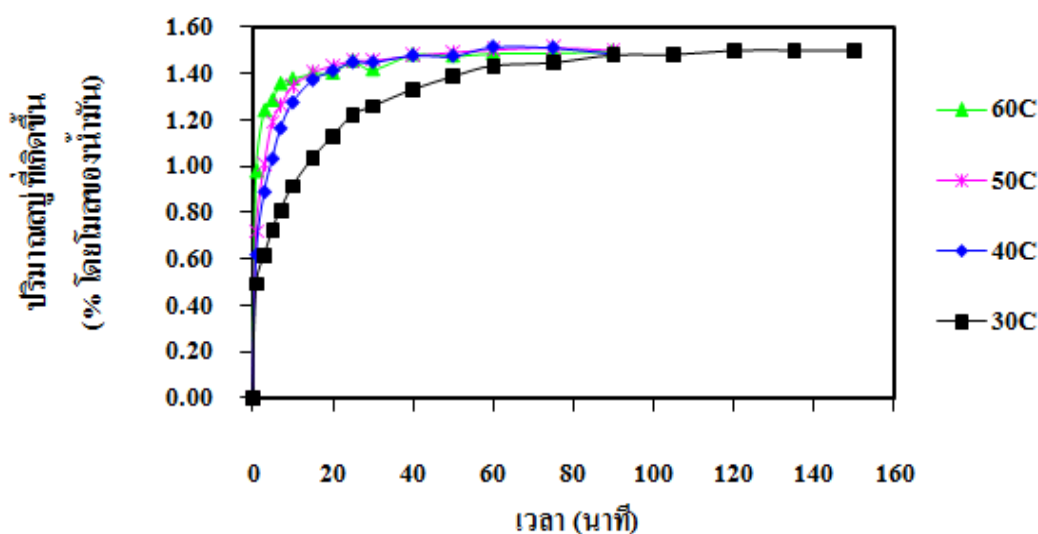
ภาพประกอบที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ  $\text{KOCH}_3$  ที่เหลืออยู่กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ  $30^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$ ,  $50^\circ\text{C}$  และ  $60^\circ\text{C}$

หมายเหตุ ปริมาณของ  $\text{KOCH}_3$  ที่เหลืออยู่ ณ เวลา 0 นาที หมายถึงปริมาณของ  $\text{KOCH}_3$  ตอนเริ่มต้น ที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยา

จากภาพประกอบที่ 11 สังเกตได้ว่า ที่อุณหภูมิ  $40^\circ\text{C}$ ,  $50^\circ\text{C}$  และ  $60^\circ\text{C}$  การหายไปของปริมาณ  $\text{KOCH}_3$  มีความแตกต่างกันในช่วงเริ่มต้นของปฏิกิริยา คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณ  $\\text{KOCH}_3$  จะลดลงเร็วขึ้น ซึ่งปริมาณของ  $\text{KOCH}_3$  ที่อุณหภูมิ  $40^\circ\text{C}$ ,  $50^\circ\text{C}$  และ  $60^\circ\text{C}$  จะหมดไปที่เวลา 60 นาทีเท่ากัน นั่นหมายความว่า อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลไม่มากนัก เมื่อใช้เบสเป็น  $\text{KOCH}_3$  แต่พบว่า ที่อุณหภูมิ  $30^\circ\text{C}$  (ไม่มีการให้ความร้อนแก่ระบบ) การหายไปของปริมาณ  $\text{KOCH}_3$  จะลดลงอย่างช้าๆ เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ  $40^\circ\text{C}$ ,  $50^\circ\text{C}$  และ  $60^\circ\text{C}$  นั่นคือ การให้ความร้อนเสมือนเป็นตัวเร่งให้แก่ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลนั่นเอง

## (2.2) ปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้น เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

จากปฏิกิริยาที่ (12) สบู่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันระหว่างเมทิลเอสเทอร์กับ  $\text{KOCH}_3$  ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสบู่แสดงดังภาพประกอบที่ 12



ภาพประกอบที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นจาก  $\text{KOCH}_3$  กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30°C, 40°C, 50°C และ 60°C

จากภาพประกอบที่ 12 แสดงให้เห็นว่า สบู่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อมีการให้ความร้อน ที่อุณหภูมิ 40°C, 50°C และ 60°C แต่อุณหภูมิมีผลน้อยต่ออัตราการเกิดขึ้นของปริมาณสบู่ ซึ่งแตกต่างกับที่อุณหภูมิ 30°C การให้ความร้อนแก่ปฏิกิริยานี้จึงมีผลต่อการเกิดขึ้นของปริมาณสบู่ ซึ่งมีความสอดคล้องกับการหายไปของปริมาณ  $\text{KOCH}_3$

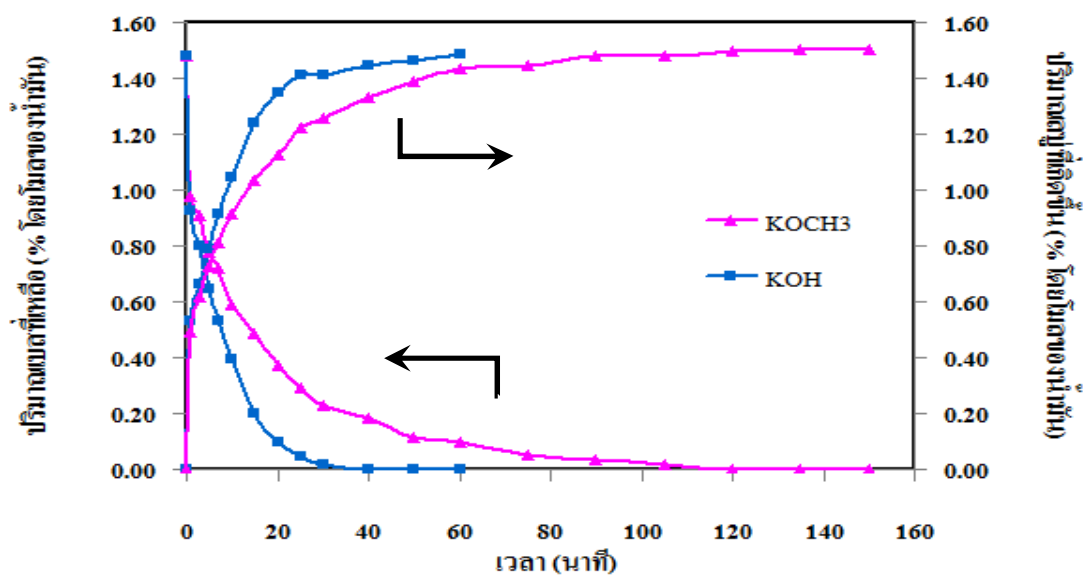
จากผลการทดลองดังแสดงในภาพประกอบที่ 9, 10, 11 และ 12 แสดงให้เห็นว่า เบสที่หายไปนั้น จะทำให้เกิดเป็นสบู่ขึ้น และเมื่อเบสทำปฏิกิริยาไปจนหมดแล้ว สบู่ที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

#### 4.1.2 ผลของชนิดของเบสที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล

ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดของเบสที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ทำการทดลองที่ความเข้มข้นของเบส 1.48% โดยโมลของน้ำมัน ละลายในเมทานอล 6% โดยน้ำหนักน้ำมัน ความเร็วรอบ 250 rpm ที่อุณหภูมิ 30°C, 40°C, 50°C และ 60°C ตามลำดับ โดยทำการเปรียบเทียบเบสที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ  $\text{KOH}$  และ  $\text{KOCH}_3$

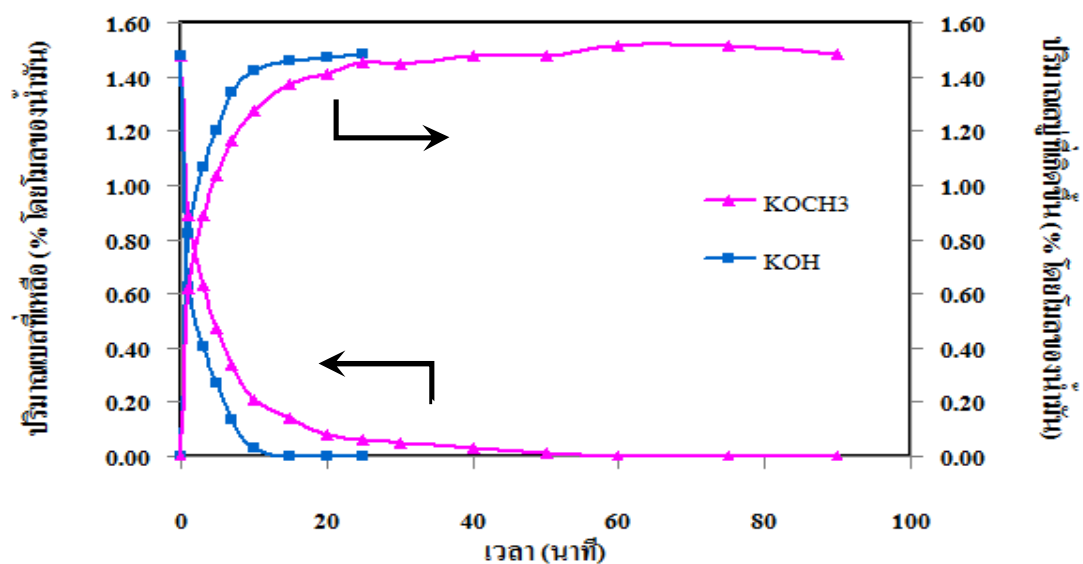


## (1) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



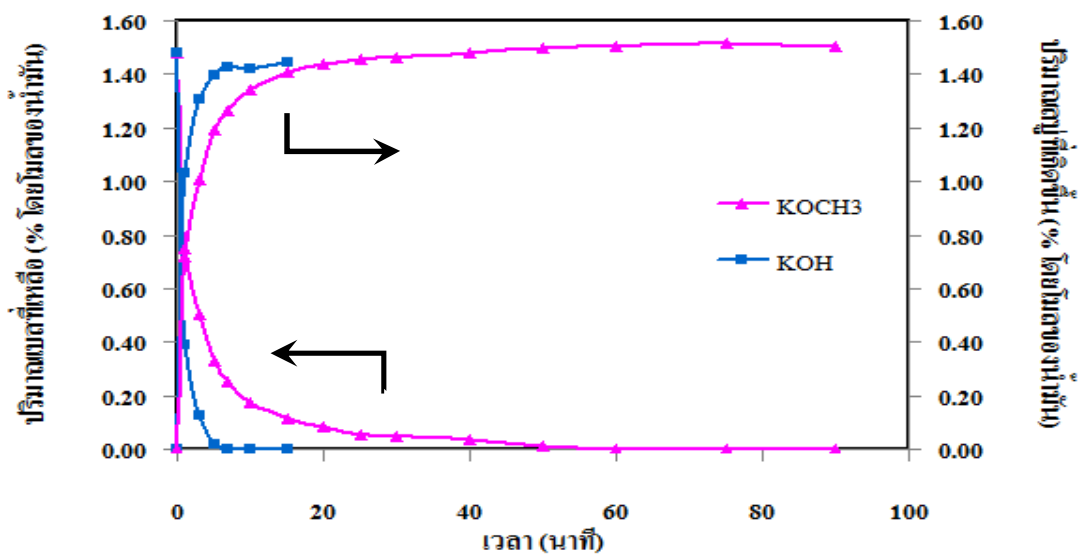
ภาพประกอบที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเบสที่เหลืออยู่และปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นจาก KOH และ KOCH<sub>3</sub> กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30°C

## (2) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



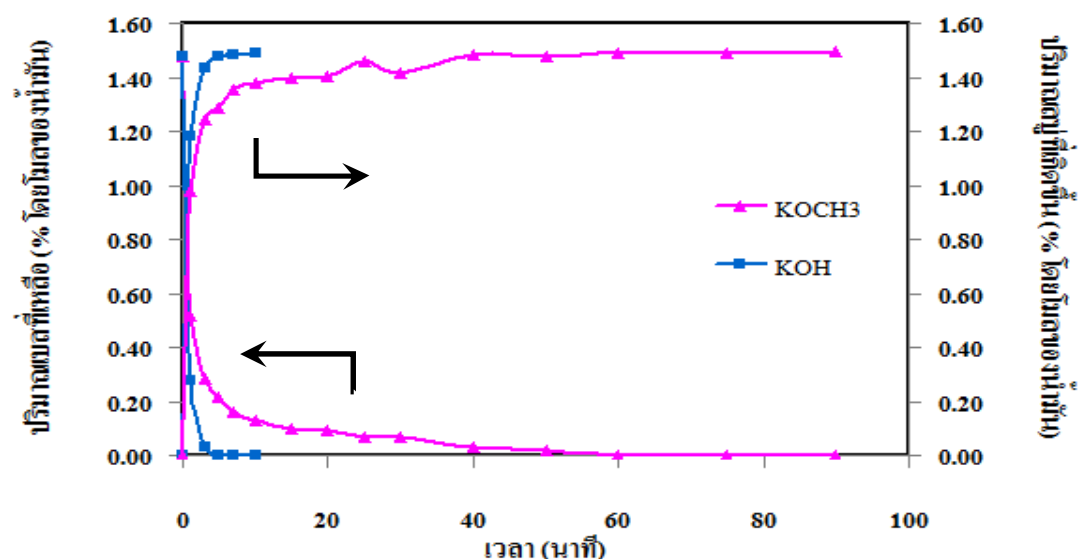
ภาพประกอบที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเบสที่เหลืออยู่และปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นจาก KOH และ KOCH<sub>3</sub> กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 40°C

(3) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



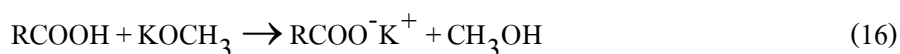
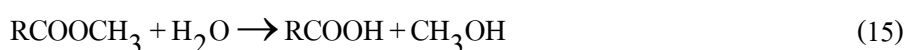
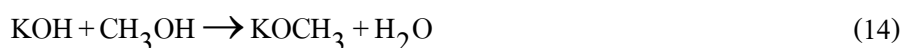
ภาพประกอบที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเบสที่เหลืออยู่และปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นจาก KOH และ KOCH<sub>3</sub> กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50°C

(4) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเบสที่เหลืออยู่และปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นจาก KOH และ KOCH<sub>3</sub> กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C

จากภาพประกอบที่ 13-16 พบว่า ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ที่ใช้เบสเป็น  $\text{KOCH}_3$  ปริมาณของเบสจะหมดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ที่ใช้เบสเป็น  $\text{KOH}$  ไม่ว่าจะที่อุณหภูมิ  $30^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$ ,  $50^\circ\text{C}$  และ  $60^\circ\text{C}$  และสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณสบู่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ชนิดของเบสมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล อาจเนื่องมาจากในการใช้  $\text{KOH}$  ในการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล มีน้ำเกิดขึ้นในขั้นตอนการละลายเบสด้วยเมทานอลดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (14) ซึ่งน้ำอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันได้เช่นกัน (Kwiecien et al., 2010) โดยจะไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับเมทิลเอสเทอร์เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันต่อไปดังปฏิกิริยาที่ (15) และ (16) ตามลำดับ

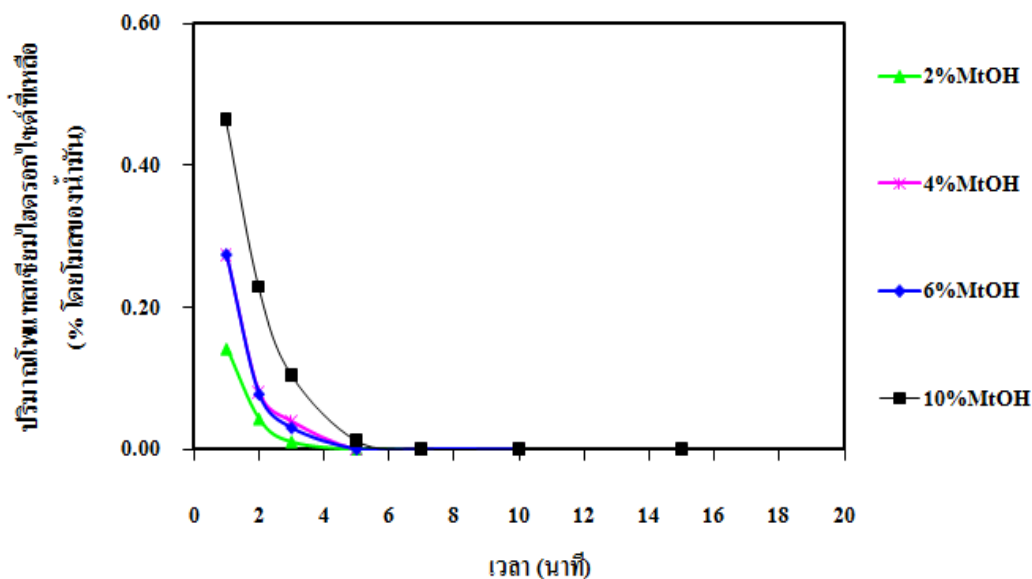


#### 4.1.3 ผลของปริมาณแอลกอฮอล์ที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล

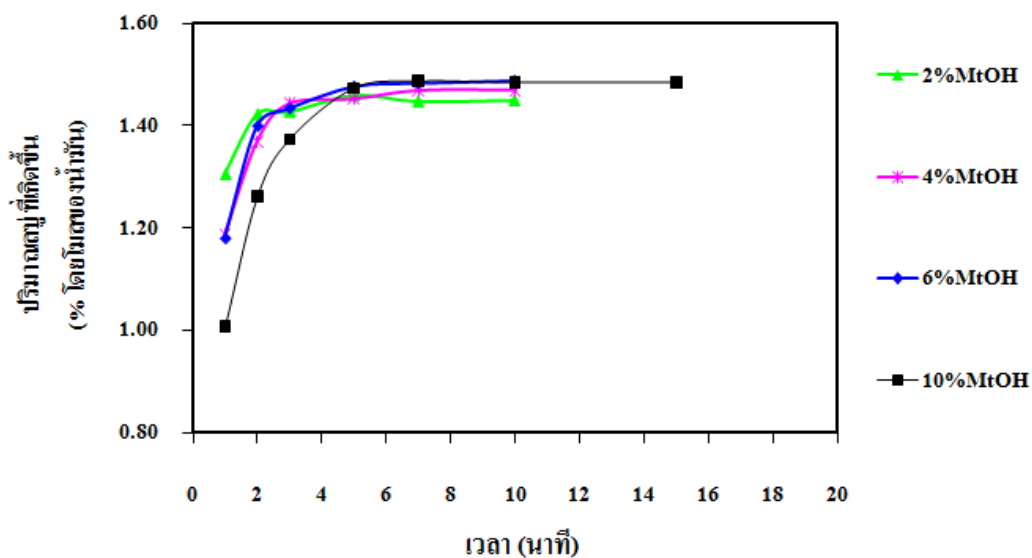
ในการทดลองนี้ทำการศึกษาผลของปริมาณเมทานอลที่ใช้ในการละลายเบสที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ทำการทดลองที่ความเข้มข้นของเบส 1.48% โดยโมลของน้ำมัน ความเร็วรอบ 250 rpm ที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งทำให้ได้ผลได้สูงสุด (Alkabbashi et al., 2009, Darnoko et al., 2000) โดยละลายเบสในเมทานอล 2%, 4%, 6% และ 10% โดยน้ำหนักน้ำมัน ตามลำดับ เนื่องจากหลังการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะมีปริมาณแอลกอฮอล์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาอย่างน้อย 3 โมล ซึ่งสมมุติว่าอาจอยู่ในเฟสของเอสเทอร์ 1.5 โมล และอยู่ในเฟสของกลีเซอรอลอีก 1.5 โมล (ถ้าใช้อัตราส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์เป็น 1:6 ในการทำปฏิกิริยา) หรืออาจจะน้อยกว่าหรือมากกว่าที่ตั้งสมมุติฐานไว้ และทำการเปรียบเทียบเบสที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ  $\text{KOH}$  และ  $\text{KOCH}_3$

(1) ผลของปริมาณเมทานอลที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล โดยใช้ KOH

จากการทดลองศึกษาผลของปริมาณเมทานอลที่ใช้ในการละลาย KOH ที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล โดยจะศึกษาปริมาณ KOH ที่หายไป และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพประกอบที่ 17 และ 18 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ KOH ที่เหลืออยู่กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ปริมาณเมทานอลต่างๆ

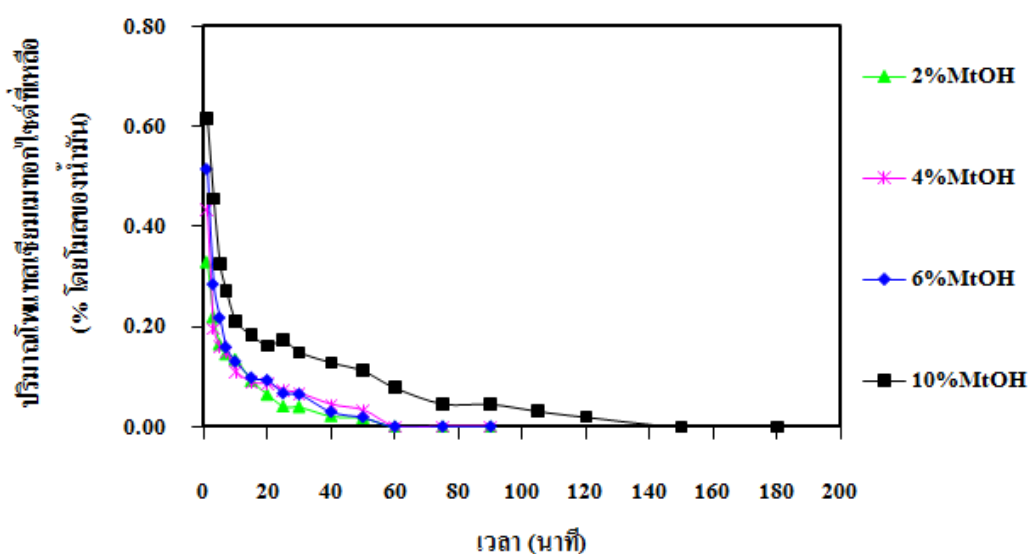


ภาพประกอบที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสบู่ที่เกิดขึ้นจาก KOH กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ปริมาณเมทานอลต่างๆ

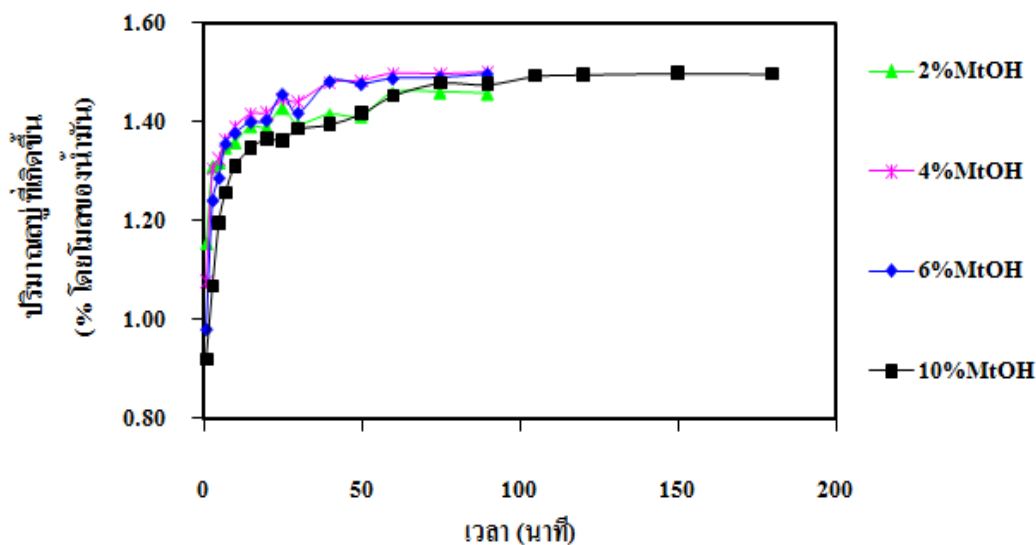
จากภาพประกอบที่ 17 และ 18 แสดงให้เห็นว่า การหายไปของปริมาณ KOH จะลดลงช้ากว่า เมื่อปริมาณเมทานอลเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณสบู่ เนื่องจากการมีปริมาณเมทานอลในปฏิกิริยามากขึ้น จะไปทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้น (เมทิลเอสเทอร์และ KOH) ลดลง นั่นคืออาจจะไปมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลช้าลง

## (2) ผลของปริมาณเมทานอลที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล โดยใช้ $\text{KOCH}_3$

จากการทดลองศึกษาผลของปริมาณเมทานอลที่ใช้ในการละลาย  $\text{KOCH}_3$  ที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล โดยจะศึกษาปริมาณ  $\text{KOCH}_3$  ที่หายไป และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพประกอบที่ 19 และ 20 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ  $\text{KOCH}_3$  ที่เหลืออยู่กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ปริมาณเมทานอลต่างๆ



ภาพประกอบที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้นจาก  $\text{KOCH}_3$  กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่ปริมาณเมทานอลต่างๆ

จากภาพประกอบที่ 19 และ 20 แสดงให้เห็นว่า การหายไปของปริมาณ  $\text{KOCH}_3$  และการเพิ่มขึ้นของปริมาณแก๊ส มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการใช้  $\text{KOH}$  นั่นคือ เมื่อปริมาณเมทานอล สูงขึ้น การหายไปของปริมาณ  $\text{KOCH}_3$  จะช้าลง ส่วนการเพิ่มขึ้นของปริมาณแก๊สก็ช้าลงด้วย แต่ไม่ชัดเจนเท่าผลของอุณหภูมิ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของอัตราการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่ทำปฏิกิริยาด้วยเช่นกัน คือ หากสารที่ทำปฏิกิริยามีความเข้มข้นมาก จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น แต่ในทางตรงกันข้าม หากสารที่ทำปฏิกิริยามีความเข้มข้นน้อย จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลง

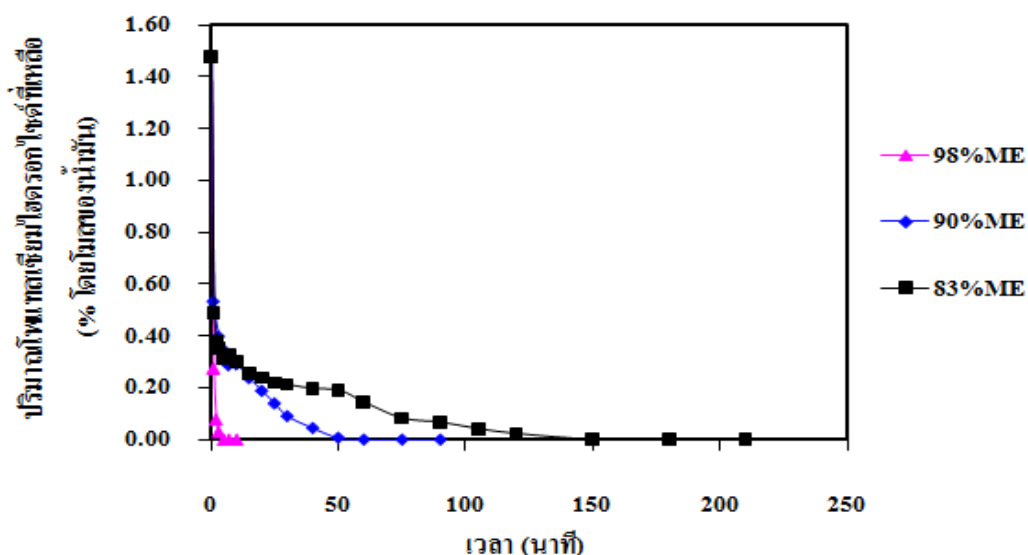
#### 4.1.4 ผลของเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล

ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ทำการทดลองที่ความเข้มข้นของเบส 1.48% โดยโมลของน้ำมัน ละลายในเมทานอล 6% โดยน้ำหนักน้ำมัน ความเร็วรอบ 250 rpm ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  โดยทำการศึกษาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ 83%, 90% และ 98% ตามลำดับ เนื่องจากในระหว่างการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ไบโอดีเซล

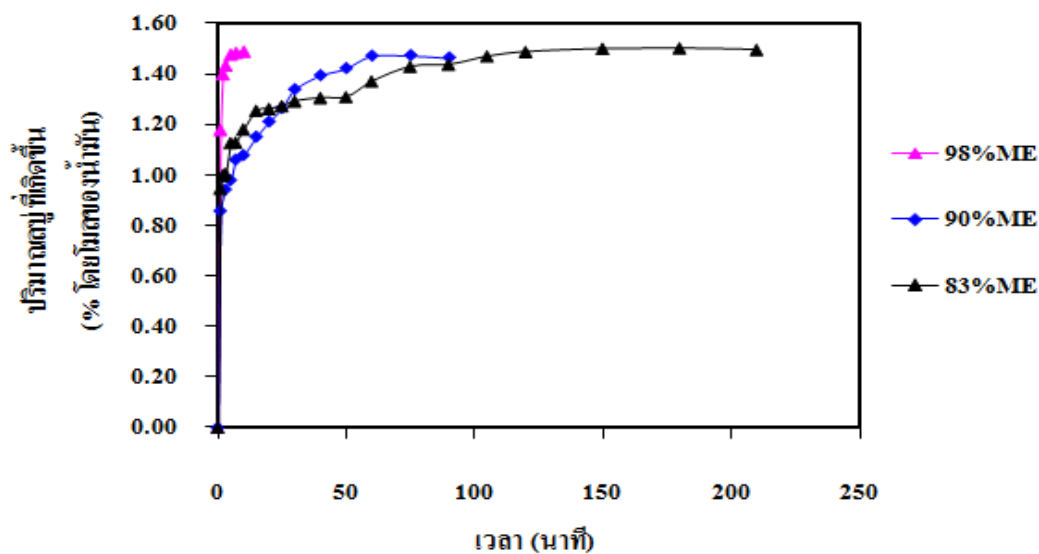
ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาจะมีเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ที่เวลาต่างๆ ไม่เท่ากัน และทำการเปรียบเทียบเบสที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ KOH และ  $\text{KOCH}_3$

(1) ผลของเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล โดยใช้ KOH

จากการทดลองศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ซึ่งใช้ KOH ในการทำปฏิกิริยา โดยจะศึกษาปริมาณ KOH ที่หายไป และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพประกอบที่ 21 และ 22 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ KOH ที่เหลืออยู่กับเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลต่างๆ



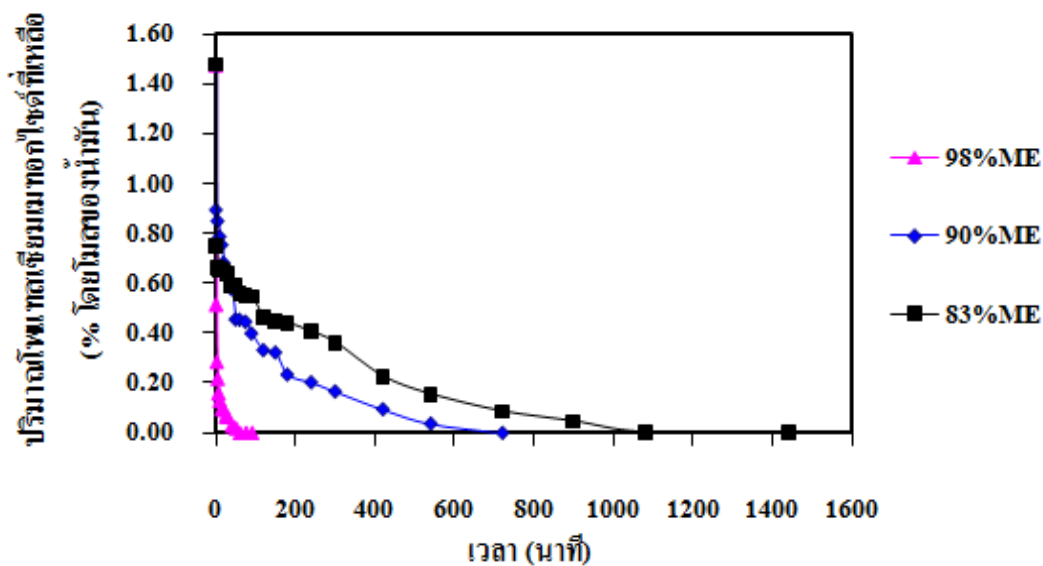
ภาพประกอบที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสบู่อุบัติขึ้นจาก KOH กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลต่างๆ

จากภาพประกอบที่ 21 และ 22 แสดงให้เห็นว่า เมื่อไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น การหายไปของ KOH จะลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเป็นสบู่เร็วขึ้น เนื่องจากที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้นหมายถึงความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์สูงขึ้น นั่นคืออาจเนื่องมาจากไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์น้อยๆ จะมีโมเลกุลของไตร-, ได- และโมโนกลีเซอไรด์แทรกอยู่ในปริมาณมาก ประกอบกับมีเมทานอลและ KOH ซึ่งสามารถทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเกิดขึ้นควบคู่ไปกับการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันได้ ซึ่งในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันนั้น นอกจากเกิดไบโอดีเซลแล้วยังเกิดกลีเซอรอลขึ้นอีกด้วย ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงสภาพความเป็นขั้วของสารต่างๆ แล้ว จะเห็นว่าเบสจะมีความเป็นขั้วสูง ซึ่งมักจะละลายอยู่ในเฟสของกลีเซอรอลมากกว่าในเฟสของน้ำมัน ทำให้โอกาสที่เบสจะสัมผัสกับน้ำมันไบโอดีเซลลดลง

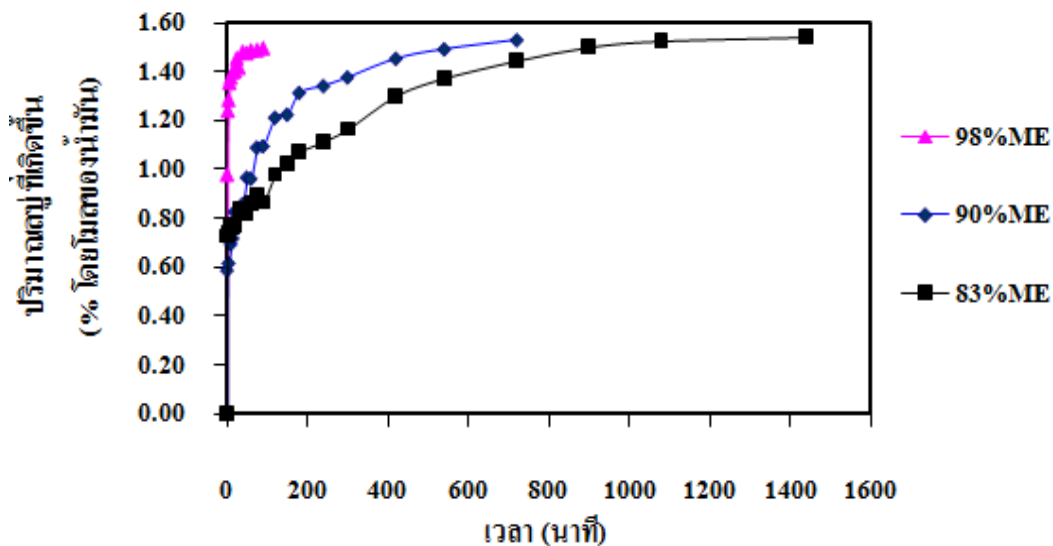
(2) ผลของเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล โดยใช้  $\text{KOCH}_3$

จากการทดลองศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ซึ่งใช้  $\text{KOCH}_3$  ในการทำปฏิกิริยา โดยจะศึกษาปริมาณ  $\text{KOCH}_3$  ที่หายไป และปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพประกอบที่ 23 และ 24 ตามลำดับ





ภาพประกอบที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ  $\text{KOCH}_3$  ที่เหลืออยู่กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอโอคิเซลต่างๆ



ภาพประกอบที่ 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสบู่ออกที่เกิดขึ้นจาก  $\text{KOCH}_3$  กับเวลา ในการทำปฏิกิริยาที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอโอคิเซลต่างๆ

จากภาพประกอบที่ 23 และ 24 แสดงให้เห็นว่า การหายไปของปริมาณ  $\text{KOCH}_3$  และการเพิ่มขึ้นของปริมาณสบู่ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการใช้  $\text{KOH}$  แต่ใช้เวลานานกว่ามาก นั่นคือเมื่อไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น การหายไปของ  $\text{KOCH}_3$  จะลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเป็นสบู่เร็วขึ้น ดังนั้น สามารถกล่าวได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของอัตราการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่ทำปฏิกิริยา นั่นคือ การที่ไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์มาก หมายถึงความเข้มข้นของไบโอดีเซลที่มากขึ้นนั่นเอง ดังนั้น หากสารที่ทำปฏิกิริยามีความเข้มข้นมาก จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นด้วย

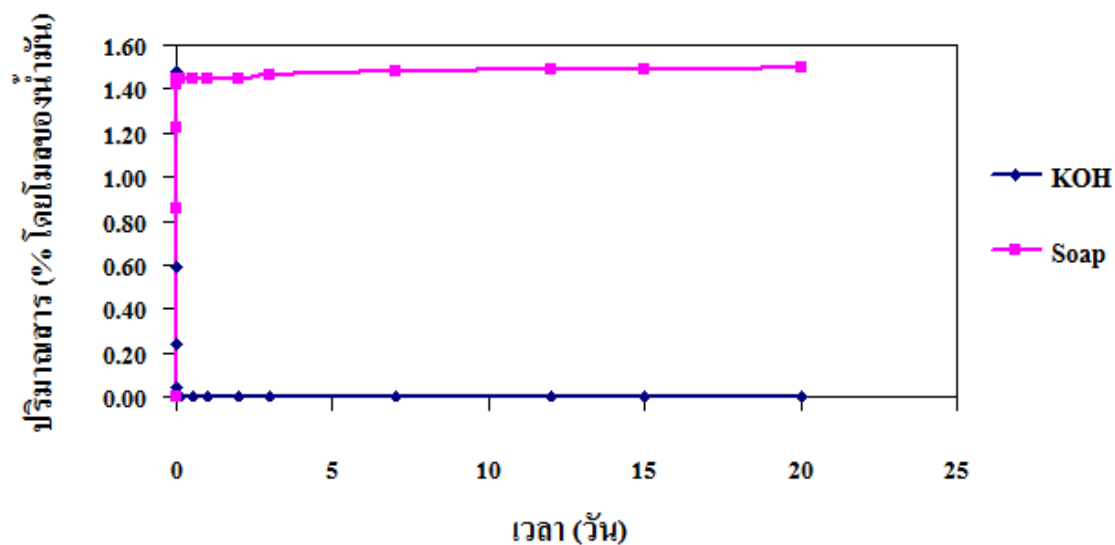
#### 4.2 การคำนวณค่าทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล

ในการคำนวณค่าทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ในงานวิจัยนี้จะคำนวณค่าอัตราเร็วของปฏิกิริยา ค่าคงที่ปฏิกิริยา และอันดับของปฏิกิริยา โดยใช้เบสทั้ง 2 ชนิด

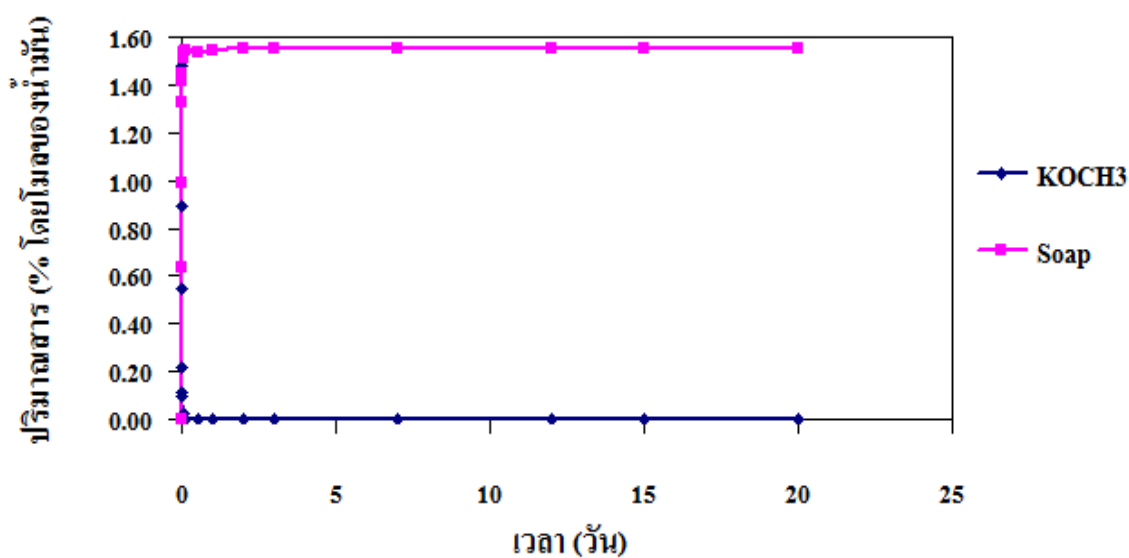
##### 4.2.1 ข้อสมมุติฐานของการทำปฏิกิริยา

- (1) ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลเป็นแบบย้อนกลับไม่ได้
- (2) สารมีการผสมกันได้ดี (Well mix) และเป็นเนื้อเดียวกันภายในถังปฏิกรณ์
- (3) กำหนดให้ในกระบวนการมีเพียงปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลเพียงอย่างเดียวไม่มีปฏิกิริยาข้างเคียงหรือปฏิกิริยาอื่นๆ เพื่อให้ง่ายในการคำนวณ
- (4) ความเข้มข้นของเบส มาจากการทดลอง ส่วนความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยามาจากการคำนวณ โดยตั้งสมมุติฐานว่า ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เหลืออยู่จะเท่ากับปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่มีในตอนเริ่มต้นลบกับปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ทำปฏิกิริยาไป ซึ่งให้เป็นไปตามสัดส่วนเชิงโมลของปริมาณเบสที่ทำปฏิกิริยาไป

ในการศึกษาการผันกลับของปฏิกิริยา โดยใช้เบสทั้ง 2 ชนิด ภายในเวลา 20 วัน ได้ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบที่ 25 และ 26



ภาพประกอบที่ 25 แสดงการศึกษาการผันกลับของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน โดยใช้ KOH



ภาพประกอบที่ 26 แสดงการศึกษาการผันกลับของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน โดยใช้ KOCH<sub>3</sub>

และทำการรบกวนระบบโดยการเติมเมทานอล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน เพื่อตรวจสอบว่าสบู่มีปริมาณลดลงหรือไม่ พบว่า สบู่ยังคงมีปริมาณคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

#### 4.2.2 ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสนใจอัตราการหายไปของเบส (KOH และ KOCH<sub>3</sub>) ซึ่งอัตราการหายไปของเบส จากปฏิกิริยาที่ (9) และ (10) ตามลำดับ สามารถเขียนได้เป็น

$$-r_{\text{KOH}} = -\frac{d[\text{KOH}]}{dt} = k_1[\text{RCOOCH}_3]^\alpha [\text{KOH}]^\beta - k_2[\text{RCOO}^-\text{K}^+]^\sigma [\text{CH}_3\text{OH}]^\theta$$

$$-r_{\text{KOCH}_3} = -\frac{d[\text{KOCH}_3]}{dt} = k_3[\text{RCOOCH}_3]^a [\text{KOCH}_3]^b - k_4[\text{RCOO}^-\text{K}^+]^c [\text{CH}_3\text{OCH}_3]^d$$

แต่จากการทดลองการศึกษาการผันกลับของปฏิกิริยาเบื้องต้นและจากงานวิจัยที่สืบค้น จึงสรุปได้ว่า ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับไม่ได้ ดังนั้นอัตราการหายไปของเมทิลเอสเทอร์ จึงสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$-r_{\text{KOH}} = -\frac{d[\text{KOH}]}{dt} = k_1[\text{RCOOCH}_3]^\alpha [\text{KOH}]^\beta$$

$$-r_{\text{KOCH}_3} = -\frac{d[\text{KOCH}_3]}{dt} = k_3[\text{RCOOCH}_3]^a [\text{KOCH}_3]^b$$

$$\text{หรือ } -r_{\text{KOH}} = -\frac{d[\text{KOH}]}{dt} = k_1[\text{ME}]^\alpha [\text{KOH}]^\beta$$

$$-r_{\text{KOCH}_3} = -\frac{d[\text{KOCH}_3]}{dt} = k_3[\text{ME}]^a [\text{KOCH}_3]^b$$

โดยที่ [ME] คือ [RCOOCH<sub>3</sub>] ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ (mol/l)

k<sub>1</sub> และ k<sub>3</sub> คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาไปข้างหน้า

-r<sub>KOH</sub> และ -r<sub>KOCH<sub>3</sub></sub> คือ อัตราการหายไปของ KOH และ KOCH<sub>3</sub>

(mol/l) ตามลำดับ

ในการคำนวณความเข้มข้นของ KOH และ KOCH<sub>3</sub> ที่เวลา (t) ต่างๆ จะใช้วิธีการหาสมการ Polynomial กำลัง 6 รูปแบบสมการคือ

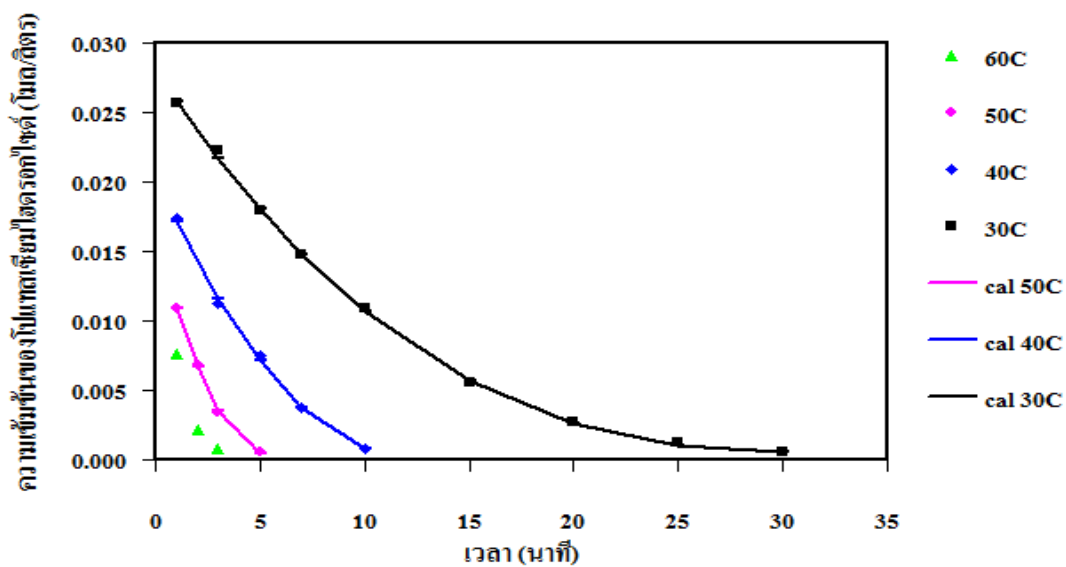
$$C_{\text{KOH}} \text{ หรือ } C_{\text{KOCH}_3} = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + a_4t^4 + a_5t^5 + a_6t^6$$

โดยใช้โปรแกรม Polymath 5.1 ในส่วนของ Regression จากนั้นทำการหาค่า Polynomial Derivative เทียบกับเวลา  $\left(\frac{dC_{\text{KOH}}}{dt}\right)$  และ  $\left(\frac{dC_{\text{KOCH}_3}}{dt}\right)$  ผลแสดงดังตารางที่ 6, 7 และภาพประกอบที่ 27, 28 เมื่อใช้เบสเป็น KOH และ KOCH<sub>3</sub> ตามลำดับ

ตารางที่ 6 แสดงผลที่ได้จากการทำ Polynomial Regression เมื่อใช้ KOH ความเข้มข้น 1.48% โดยโมลของน้ำมัน ละลายในเมทานอล 6% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ที่อุณหภูมิต่างๆ

ค่าคงที่	อุณหภูมิ (°C)			
	30	40	50	60
a <sub>0</sub>	0.0281	0.0203	0.0163	0.0103
a <sub>1</sub>	-2.324E-03	-3.323E-03	-5.893E-03	-3.395E-03
a <sub>2</sub>	6.419E-05	1.367E-04	5.464E-04	-
a <sub>3</sub>	-5.789E-07	-	-	-
R <sup>2</sup>	0.9993	0.9979	0.9995	0.8892

หมายเหตุ เนื่องจากข้อมูลของความเข้มข้นของสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน เมื่อใช้ KOH ในการนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Polynomial Regression ไม่เพียงพอที่จะใช้วิธีการหาสมการ Polynomial กำลังสูงๆ ได้ จึงเลือกใช้สมการ Polynomial กำลังที่เหมาะสมกับข้อมูลที่อุณหภูมินั้นๆ

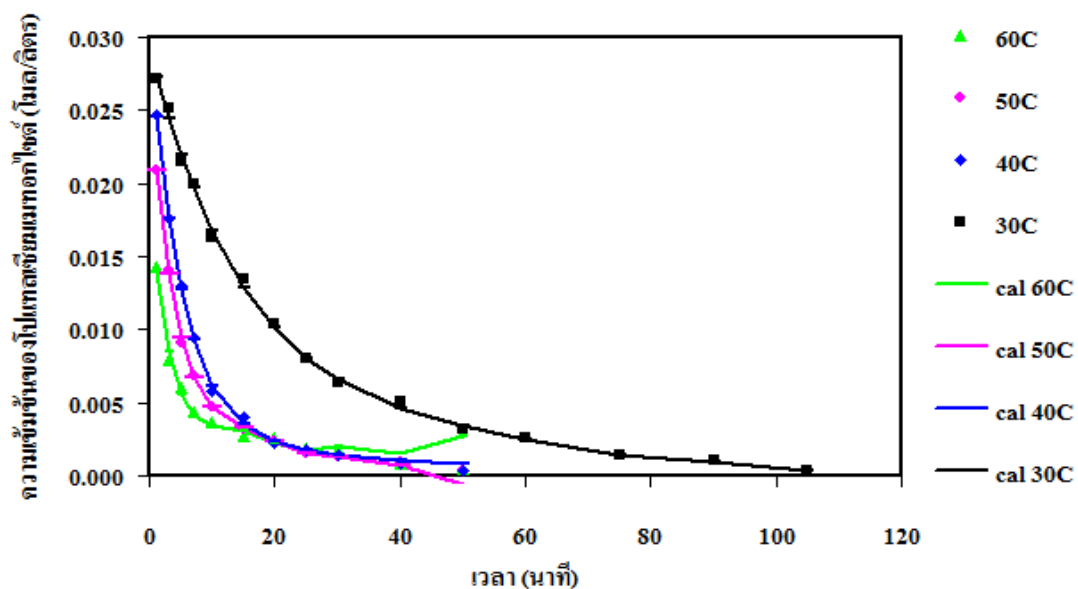


ภาพประกอบที่ 27 แสดงความเข้มข้นของ KOH ที่ได้จากการทดลองและจากการใช้ Polynomial Regression กับเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆ

หมายเหตุ เนื่องจากข้อมูลความเข้มข้นของ KOH ที่ได้จากการใช้ Polynomial Regression ที่อุณหภูมิ 60°C มีความคลาดเคลื่อนสูงจึงไม่สามารถนำมาพล็อตกราฟรวมในภาพประกอบที่ 27 ได้

ตารางที่ 7 แสดงผลที่ได้จากการทำ Polynomial Regression เมื่อใช้  $\text{KOCH}_3$  ความเข้มข้น 1.48% โดยโมลของน้ำมัน ละลายในเมทานอล 6% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ที่อุณหภูมิต่างๆ

ค่าคงที่	อุณหภูมิ (°C)			
	30	40	50	60
$a_0$	0.0288	0.0290	0.0258	0.0181
$a_1$	-1.574E-03	-4.841E-03	-5.452E-03	-4.672E-03
$a_2$	4.283E-05	3.973E-04	5.723E-04	5.964E-04
$a_3$	-6.288E-07	-1.843E-05	-3.213E-05	-3.847E-05
$a_4$	4.614E-09	4.874E-07	9.721E-07	1.29E-06
$a_5$	-1.273E-11	-6.802E-09	-1.487E-08	-2.137E-08
$a_6$	-4.362E-15	3.864E-11	8.979E-11	1.377E-10
$R^2$	0.9987	0.9994	0.9995	0.9942



ภาพประกอบที่ 28 แสดงความเข้มข้นของ  $\text{KOCH}_3$  ที่ได้จากการทดลองและจากการใช้ Polynomial Regression กับเวลา ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากนั้นนำผลที่ได้หาค่าอัตราการหายไปของ KOH  $\left(\frac{dC_{\text{KOH}}}{dt}\right)$  และ KOCH<sub>3</sub>  $\left(\frac{dC_{\text{KOCH}_3}}{dt}\right)$  และใช้โปรแกรม Polymath 5.1 ในส่วนของ Regression เพื่อคำนวณหาอัตราการหายไปของ KOH และ KOCH<sub>3</sub> และค่าคงที่ของปฏิกิริยา ผลแสดงดังตารางที่ 8 และ 9 เมื่อใช้เบสเป็น KOH และ KOCH<sub>3</sub> ตามลำดับ โดยในโปรแกรม Polymath 5.1 ข้อมูลดิบที่จะต้องใช้คือ ค่าอัตราการหายไปของเบส คือ  $\left(\frac{dC_{\text{KOH}}}{dt}\right)$  และ  $\left(\frac{dC_{\text{KOCH}_3}}{dt}\right)$ , ความเข้มข้นของเมทิลเอสเตอร์ ( $C_{\text{ME}}$ ) และความเข้มข้นของเบส ( $C_{\text{KOH}}$  หรือ  $C_{\text{KOCH}_3}$ ) ที่หายไป ณ เวลาต่างๆ



ตารางที่ 8 แสดงค่าคงที่ของอัตราการศึกษาเมื่อใช้ KOH ความเข้มข้น 1.48% โดยโมลของน้ำมัน ละลายในเมทานอล 6% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่อกำหนดอันดับปฏิกิริยาของ KOH เป็น 1

ค่าคงที่	อุณหภูมิ (°C)			
	30	40	50	60
$k_1$	0.0795	0.1430	0.2762	ไม่สามารถ คำนวณได้
$\alpha$	0.4301	0.5232	0.6513	
$\beta$	1.0000	1.0000	1.0000	
$R^2$	0.9547	0.7089	0.8724	

เมื่อกำหนดอันดับปฏิกิริยาของ KOH เป็น 2

ค่าคงที่	อุณหภูมิ (°C)			
	30	40	50	60
$k_1$	0.0472	0.0850	0.1642	ไม่สามารถ คำนวณได้
$\alpha$	0.3620	0.4401	0.5477	
$\beta$	2.0000	2.0000	2.0000	
$R^2$	0.9547	0.7089	0.8724	

หมายเหตุ เนื่องจากปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน เมื่อใช้ KOH ที่อุณหภูมิ 60 °C เกิดปฏิกิริยาเร็วเกินไป ข้อมูลของความเข้มข้นของสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา จึงไม่เพียงพอในการนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Polynomial Regression และไม่สามารถหาค่าทางจลนพลศาสตร์ได้

ตารางที่ 9 แสดงค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อใช้  $\text{KOCH}_3$  ความเข้มข้น 1.48% โดยโมลของน้ำมัน ละลายในเมทานอล 6% โดยน้ำหนักของน้ำมัน ที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่อกำหนดอันดับปฏิกิริยาของ  $\text{KOCH}_3$  เป็น 1

ค่าคงที่	อุณหภูมิ (°C)			
	30	40	50	60
$k_3$	0.0520	0.1200	0.1384	0.1481
a	0.3734	0.4934	0.5174	0.5291
b	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
$R^2$	0.9861	0.9853	0.9423	0.7491

เมื่อกำหนดอันดับปฏิกิริยาของ  $\text{KOCH}_3$  เป็น 2

ค่าคงที่	อุณหภูมิ (°C)			
	30	40	50	60
$k_3$	0.0309	0.0713	0.0823	0.0880
a	0.3141	0.4151	0.4350	0.4451
b	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
$R^2$	0.9861	0.9853	0.9423	0.7491

จากตารางที่ 8 และ 9 พบว่าค่าคงที่ปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี นั่นคือ ค่าคงที่ปฏิกิริยาจะแปรผันตามอุณหภูมิ และจากการกำหนดอันดับปฏิกิริยาของเบส ( $\text{KOH}$  และ  $\text{KOCH}_3$ ) เป็น 1 และ 2 ตามลำดับ พบว่า อันดับปฏิกิริยาของเบสส่งผลต่อการคำนวณค่าอันดับปฏิกิริยาของเบสเพียงเล็กน้อย แต่จะส่งผลอย่างมากต่อการคำนวณค่าคงที่ปฏิกิริยา ซึ่งเมื่อกำหนดค่าอันดับปฏิกิริยาของเบสให้สูงขึ้น จะทำให้ค่าคงที่ปฏิกิริยามีค่าลดลงนั่นเอง

จากการ Regression เพื่อหาสมการในการเกิดปฏิกิริยาพบว่า  $R^2$  มีค่าเข้าใกล้ 1 แต่ในบางชุดข้อมูลค่า  $R^2$  ไม่เข้าใกล้ 1 หรือไม่สามารวิเคราะห์และคำนวณค่าได้ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่อุณหภูมิสูงๆ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมี Conversion สูง ซึ่งในการวิเคราะห์ค่าทางจลนพลศาสตร์นั้น ปฏิกิริยาควรที่จะเกิดที่ Conversion ต่ำๆ เพื่อสามารถหาค่าทางจลนพลศาสตร์ได้อย่างแม่นยำ

### 4.2.3 พลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา (Energies of activation) และแฟกเตอร์ความถี่ (Frequency factor)

ในการหาพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา และแฟกเตอร์ความถี่จะใช้สมการของอาร์เรเนียส (Arrhenius equation) ได้กล่าวถึงค่าคงที่ของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังสมการ

$$k = Ae^{-E_a/RT} \quad (10)$$

เมื่อ  $E_a$  คือ พลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา (J/mol)

$R$  คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (เท่ากับ 8.314 J/K.mol)

$T$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

$e$  คือ ฐานของลอการิทึมธรรมชาติ

$A$  คือ ความถี่ของการชน เรียกว่า แฟกเตอร์ความถี่ (Frequency factor) มีค่าคงที่ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างพอควรสำหรับแต่ละปฏิกิริยา

เขียนสมการนี้ใหม่ในรูปของลอการิทึมธรรมชาติ ดังนี้

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

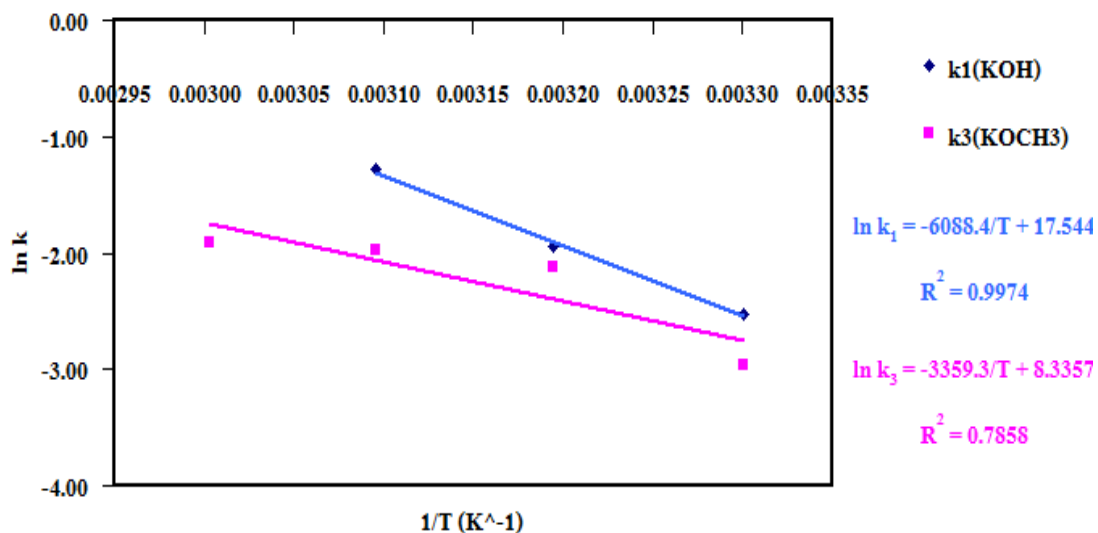
และเขียนเป็นสมการเส้นตรงได้ คือ

$$\ln k = \left( -\frac{E_a}{R} \right) \frac{1}{T} + \ln A$$

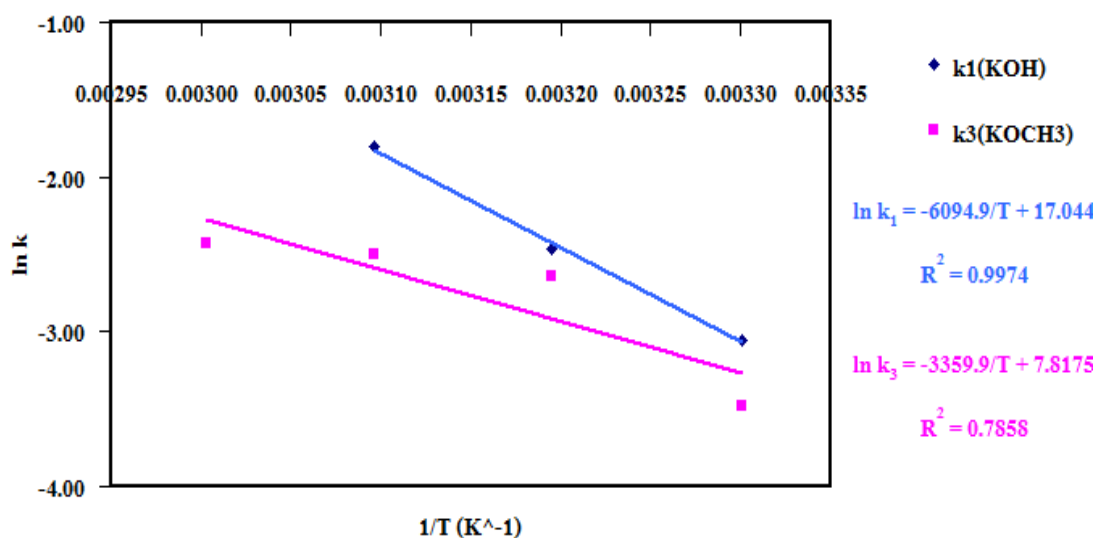
$$y = mx + c$$

โดยที่  $y = \ln k$ ,  $m = \left( -\frac{E_a}{R} \right)$ ,  $x = \frac{1}{T}$ ,  $c = \ln A$

ดังนั้น เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $\ln k$  กับ  $\frac{1}{T}$  จะได้เส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ  $\left(-\frac{E_a}{R}\right)$  และมีจุดตัดแกนตั้งเท่ากับ  $\ln A$  ซึ่งผลแสดงดังภาพประกอบที่ 29 และ 30 และผลการคำนวณค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา และแฟกเตอร์ความถี่แสดงดังตารางที่ 10



ภาพประกอบที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln k$  กับ  $\frac{1}{T}$  ของ KOH และ  $KOCH_3$  สำหรับอันดับปฏิกิริยาของ KOH และ  $KOCH_3$  เท่ากับ 1



ภาพประกอบที่ 30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln k$  กับ  $\frac{1}{T}$  ของ KOH และ  $KOCH_3$  สำหรับอันดับปฏิกิริยาของ KOH และ  $KOCH_3$  เท่ากับ 2

ตารางที่ 10 แสดงค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาและแฟกเตอร์ความถี่เมื่อใช้ KOH และ KOCH<sub>3</sub> ความเข้มข้น 1.48% โดยโมลของน้ำมัน ละลายในเมทานอล 6% โดยน้ำหนักของน้ำมัน

เมื่อกำหนดอันดับปฏิกิริยาของเบสทั้ง 2 เป็น 1

ชนิดเบส	ค่าคงที่	A	E <sub>a</sub> (kJ/mol)	R <sup>2</sup>
KOH	k <sub>1</sub>	4.162E+07	50.62	0.9974
KOCH <sub>3</sub>	k <sub>3</sub>	4.170E+03	27.93	0.7858

เมื่อกำหนดอันดับปฏิกิริยาของเบสทั้ง 2 เป็น 2

ชนิดเบส	ค่าคงที่	A	E <sub>a</sub> (kJ/mol)	R <sup>2</sup>
KOH	k <sub>1</sub>	2.524E+07	50.67	0.9974
KOCH <sub>3</sub>	k <sub>3</sub>	2.484E+03	27.93	0.7858

จากตารางที่ 10 พบว่า จากการกำหนดอันดับปฏิกิริยาของเบสเป็น 1 และ 2 ตามลำดับ พบว่า ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ที่คำนวณได้มีค่าไม่ต่างกัน แสดงว่า การกำหนดอันดับปฏิกิริยาเบสเป็นค่าต่างๆ นั้นไม่ส่งผลต่อการคำนวณค่าดังกล่าว ส่วนค่าแฟกเตอร์ความถี่และค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน เมื่อใช้เบสเป็น KOH สูงกว่าค่าแฟกเตอร์ความถี่และค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน เมื่อใช้เบสเป็น KOCH<sub>3</sub> ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน เมื่อใช้ KOH เร็วกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน เมื่อใช้ KOCH<sub>3</sub> เนื่องจากค่าคงที่ปฏิกิริยาจะขึ้นกับค่าแฟกเตอร์ความถี่ นั่นคือ ค่าแฟกเตอร์ความถี่ยิ่งสูงจะทำให้ค่าคงที่ปฏิกิริยาสูงขึ้นด้วย และเมื่อค่าคงที่ปฏิกิริยาสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาก็สูงขึ้นเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าคงที่ของปฏิกิริยาระหว่างปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลและปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในงานวิจัยของ Berchmans *et al.*, 2010 ซึ่งใช้น้ำมันสบู่ค่าที่มีกรดโอเลอิกเป็นองค์ประกอบหลักของกรดไขมันเช่นเดียวกันกับงานวิจัยฉบับนี้ โดยทำปฏิกิริยาที่สภาวะ คือ ที่สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 โดยใช้เบส คือ KOH และใช้อุณหภูมิ 50°C ในการทำปฏิกิริยา แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 11

พบว่า ค่าคงที่ของปฏิกิริยาของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้เมื่อกำหนดอันดับปฏิกิริยาของ KOH เป็น 1 มีค่าประมาณ 0.16 L/mol.min ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ

ค่าคงที่ของปฏิกิริยาของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล แต่อย่างไรก็ตามมีค่าต่ำกว่าค่าคงที่ของปฏิกิริยาของปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในงานวิจัยเดียวกัน

ตารางที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าคงที่ของปฏิกิริยาระหว่างปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ปฏิกิริยา	k (L/mol.min)	งานวิจัย
สะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล โดยกำหนดอันดับปฏิกิริยาของ KOH เป็น 1	0.16	งานวิจัยฉบับนี้
สะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล	0.17	Berchmans <i>et al.</i> , 2010
ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ปฏิกิริยาไปข้างหน้า	1.73-3.71	

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล โดยทำปฏิกิริยาระหว่างไบโอดีเซลกับเบส ซึ่งเบสที่ศึกษามี 2 ชนิด คือ KOH และ KOCH<sub>3</sub> โดยละลายเบสด้วยเมทานอล พบว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลัก รองลงมาคือ เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลและปริมาณเมทานอล ที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล โดยเมื่อใช้ KOH ในการทำปฏิกิริยา เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้นเปรียบเทียบกับการใช้ KOCH<sub>3</sub> ในการทำปฏิกิริยา พบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันการใช้ KOH ในการทำปฏิกิริยา จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลเร็วกว่าการใช้ KOCH<sub>3</sub> ในการทำปฏิกิริยาคั่ว ซึ่งเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเมทานอลที่ใช้ในการละลายเบส โดยตัวแปรอื่นมีค่าคงที่ พบว่า เมื่อปริมาณเมทานอลเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลจะเกิดช้าลง แต่จะเห็นเด่นชัดเมื่อปริมาณเมทานอลสูงๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้ KOH และ KOCH<sub>3</sub> ในการทำปฏิกิริยา และพบว่าเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล ยังส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลอีกด้วย คือยิ่งไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์มากขึ้นเท่าไร จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลเกิดเร็วยิ่งขึ้น

การคำนวณค่าทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลภายใต้สมมุติฐานที่ว่า

- (1) ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลเป็นแบบย้อนกลับไม่ได้
- (2) สารมีการผสมกันได้ดี (Well mix) และเป็นเนื้อเดียวกันภายในถังปฏิกรณ์
- (3) กำหนดให้ในกระบวนการมีเพียงปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลเพียงอย่างเดียวไม่มีปฏิกิริยาข้างเคียงหรือปฏิกิริยาอื่นๆ เพื่อให้ง่ายในการคำนวณ

(4) ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยามาจากการคำนวณ โดยตั้งสมมุติฐานว่า ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เหลืออยู่จะเท่ากับปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่มีในตอนเริ่มต้นลบกับปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ทำปฏิกิริยาไป ซึ่งให้เป็นไปตามสัดส่วนเชิงโมลของปริมาณเบสที่ทำปฏิกิริยาไป

จากการคำนวณค่าทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล พบว่า ค่าคงที่ของปฏิกิริยา ( $k$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เมื่อใช้เบสทั้ง KOH และ KOCH<sub>3</sub> ค่าแฟกเตอร์ความถี่เมื่อใช้ KOH มีค่าเท่ากับ 4.162E+07 และ 2.524E+07 เมื่อกำหนดอันดับปฏิกิริยาของ KOH เป็น 1 และ 2 ตามลำดับ และค่าแฟกเตอร์ความถี่เมื่อใช้ KOCH<sub>3</sub> มีค่าเท่ากับ 4.170E+03 และ 2.484E+03 เมื่อกำหนดอันดับปฏิกิริยาของ KOCH<sub>3</sub> เป็น 1 และ 2 ตามลำดับ พบว่า ค่าแฟกเตอร์ความถี่เมื่อใช้ KOH สูงกว่า KOCH<sub>3</sub> ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลเมื่อใช้ KOH เร็วกว่า KOCH<sub>3</sub> และค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล เมื่อใช้เบสเป็น KOH มีค่าเท่ากับ 50.62 และ 50.67 kJ/mol เมื่อกำหนดอันดับปฏิกิริยาของ KOH เป็น 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล เมื่อใช้เบสเป็น KOCH<sub>3</sub> ที่มีค่าเท่ากับ 27.93 และ 27.93 kJ/mol เมื่อกำหนดอันดับปฏิกิริยาของ KOCH<sub>3</sub> เป็น 1 และ 2 ตามลำดับ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น ต้องคำนึงถึงปฏิกิริยาข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้น นั่นคือ ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซล ซึ่งมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณแอลกอฮอล์ที่มีอยู่ในปฏิกิริยา และเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่เกิดขึ้นในระหว่างทำปฏิกิริยา ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลนี้เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ง่ายและเกิดควบคู่ไปกับการเกิดไบโอดีเซล ซึ่งปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ผันกลับ ดังนั้นเมื่อเกิดปฏิกิริยานี้ขึ้นก็จะส่งผลเสีย



ตามมาต่อการผลิตไบโอดีเซลดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เราจึงควรควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันของไบโอดีเซลดังที่ศึกษาไว้ เพื่อลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว

ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาส่งสำคัญ คือ การควบคุมระบบ และความแม่นยำในการวิเคราะห์ความเข้มข้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ภายในระบบมีสารที่ระเหยง่ายคือ เมทานอล ในการตั้งและเก็บตัวอย่างอาจทำให้เกิดการระเหยของเมทานอลได้ ดังนั้นควรเก็บสารไว้ในที่อุณหภูมิต่ำ หรือเติมลงไปในตัวทำละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารนั้นๆ เพื่อลดการชนกันของโมเลกุลของสารในการหยุดปฏิกิริยา แล้วควรทำการวิเคราะห์ให้เร็วที่สุด ไม่ควรตั้งไว้นานๆ ซึ่งการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาในงานวิจัยสามารถวิเคราะห์ได้เพียง 2 ตัวเท่านั้น คือ ความเข้มข้นของเบสและสบู่ ซึ่งความเข้มข้นของสารที่เหลืออีก 2 ตัว มาจากการคำนวณโดยเทียบจากสัดส่วนเชิงโมลในการทำปฏิกิริยา ซึ่งอาจไม่แม่นยำพอทำให้ค่าทางจลนพลศาสตร์อาจมีความคลาดเคลื่อนไป แต่ด้วยข้อจำกัดของการวิเคราะห์สารทั้ง 2 ตัวที่เหลือนี้ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สูงมาก จึงทำให้ต้องตั้งสมมุติฐานในการคำนวณค่าเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และลดค่าใช้จ่ายลง

## เอกสารอ้างอิง

- สุภาวดี เฟื่องคง, สุกฤทธิรา รัตนวิไล, ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์ และชาคริต ทองอุไร. 2550. จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันสำหรับไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาฟอสโฟทังสเตน แอซิด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- A. Banerjee, and R. Chakraborty. 2009. Parametric sensitivity in transesterification of waste cooking oil for biodiesel production-A review. *Resources, Conservation and Recycling* 53: 490–497.
- A. Demirbas. 2009. Biodiesel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification. *Energy Conversion and Management* 50: 923-927.
- A. Demirbas. 2008. Comparison of transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats. *Energy Conversion and Management* 49: 125–130.
- A. Demirbas, and S. Karlioglu. 2007. Biodiesel Production Facilities from Vegetable Oils and Animal Fats. *Energy Sources, Part A*, 29:133–141.
- A. Iftikhar. 1984. Significance of palm oil and palm stearin as fatty raw materials for soap. *Palm Oil Research Institute of Malaysia, Kuala Lumpur*.
- A.N. Alkabbas, Md Z. Alam, M.E.S. Mirgani, A.M.A. Al-Fusaiel. 2009. Biodiesel Production from Crude Palm Oil by Transesterification Process. *Applied Sciences* 9, 17: 3166-3170

- B.K. Barnwal, and M.P. Sharma. 2005. Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9: 363–378.
- C.Y. May. 2004. Transesterification of Palm Oil: Effect of Reaction Parameters. *Oil Palm Research* 16: 1-11.
- D. Darnoko, and M. Ceryan. 2000. Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor. *JAOCS* 19574 (77): 1263-1267.
- D.Y.C., Leung, X. Wu, and M.K.H., Leung. 2010. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy* 87: 1083–1095.
- Fogler, Scott H. 1999. *Elementarys of Chemical Reaction Engineering*. 3<sup>rd</sup> ed; Prentice Hall International Series.
- G. Mendow, N.S. Veizaga, C.A. Querini. 2011. Ethyl ester production by homogeneous alkaline transesterification: Influence of the catalyst. *Bioresource Technology* xxx: xxx–xxx.
- G. Vicente, M. Martinez, J. Aracil. 2004. Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems. *Bioresource Technology* 92: 297–305.
- Hai, and C. TEOH. 2002. The palm oil industry in malaysia: From seed to frying pan.
- H. J. Bercmans, K. Morisita, and T. Takarada. 2010. Kinetic study of hydroxide-catalyzed methanolysis of Jatropa curcas–waste food oil mixture for biodiesel production. *Fuel* xxx: xxx–xxx.

International Energy Agency I. Key world energy statistic; 2006.

J. H. V. Gerpen, E. G. Hammond, L. A. Johnson, S. J. Marley, L. Yu, I. Lee, and A. Monyem. 1996. Determining the Influence of Contaminants on Biodiesel Properties. Iowa State University xx: 21-22.

J. Kwiecien, M. Hajek, and F. Skopal. 2010. Combined effect of water and KOH on rapeseed oil methanolysis. Bioresource Technology 101: 3121–3125.

J.M. Dias, M.C.M. Alvim-Ferraz, and M.F. Almeida. 2008. Comparison of the performance of different homogeneous alkali catalysts during transesterification of waste and virgin oils and evaluation of biodiesel quality. Fuel 87: 3572-3578.

K.G. Georgogianni, A.K. Katsoulidis, P.J. Pomonis, G. Manos, and M.G. Kontominas. 2009. Transesterification of rapeseed oil for the production of biodiesel using homogeneous and heterogeneous catalysis. Fuel Processing Technology 90: 1016–1022.

K. Gunvacik, M.G. Hassan, G. Samana, and K. Hellgardt. 2007. A NEW SOLUBILITY MODEL TO DESCRIBE BIODIESEL FORMATION KINETICS. Process Safety and Environmental Protection 85 (B5): 383–389.

M. Atapour, and H.R. Kariminia. 2011. Characterization and transesterification of Iranian bitter almond oil for biodiesel production. Applied Energy 88: 2377–2381.

M. Fangrui, and M.A. Hanna. 1999. Biodiesel production. Bioresource Technology.

- M.K. Lam, K.T. Lee, and A.R. Mohamed. 2010. Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of triglyceride free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A review. *Biotecology Advances* 28: 500–518.
- S. Labua, C. Sriadulpan, S. Sangkong, and N. Puangmalai. 2008. Biodiesel with Decreased Viscosity Produced from Crude Palm Oil. *Natural Sciences* 42: 300-304.
- S. Sinha, A.K. Agarwal, and S. Garg. 2008. Biodiesel development from rice bran oil: Transesterification process optimization and fuel characterization. *Energy Conversion and Management* 49: 1248–1257.
- W.N.N.W. Omar, N. Nordin, M. Mohamed, and N.A.S. Amin. 2009. A two-step biodiesel production from waste cooking oil: Optimization of pre-treatment step. *Journal of Applied Sciences* 9 (17): 3098-3103.
- X. Miao, R. Li, and H. Yao. 2009. Effective acid-catalyzed transesterification for biodiesel production. *Energy Conversion and Management* 50: 2680–2684.
- พืชไร่เศรษฐกิจ. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรมวิชาการเกษตร. Available online: <http://www.doa.go.th> (สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2554).
- สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2005. “เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการไบโอดีเซล รุ่นที่ 4”. Available online: [http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/pdf/training\\_slides.pdf](http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th/pdf/training_slides.pdf) (สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2552).

ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. “รายงานการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล โครงการการศึกษาข้อมูลด้านสมบัติทางกายภาพเคมี และคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันบริโภคร”. Available online:  
[http://www.tipoil.com/admin/html/cula1\\_t.doc](http://www.tipoil.com/admin/html/cula1_t.doc) (สืบค้นเมื่อ 24 มีนาคม 2554).

CHEMISTRY. “การเกิดสบู่”. Available online:

[http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd\\_site/saponification.htm](http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/saponification.htm) (สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2554).

“CHEMISTRY 122: SYNTHESIS OF SOAP”. Available online:

<http://www.chem.latec.edu/~deddy/chem122m/L06U00Soap122.htm> (accessed January 18, 2010).

“Experiment 11: Saponification and Transesterification: Making Soap and Biodiesel”. Available online: [www.chem.wisc.edu/courses/342/Fall2006/Experiment\\_11.pdf](http://www.chem.wisc.edu/courses/342/Fall2006/Experiment_11.pdf) (accessed October 21, 2010).

“Saponification: The preparation of Soap”. Available online:

<http://web.fccj.org/~smilczan/eleven/Soap.pdf> (accessed January 18, 2010).

Scientific Psychology. “Fatty acid composition of some common edible fats and oils”. Available online: <http://www.scientificpsychic.com/fitness/fattyacids1.html> (accessed March 24, 2011).

Wikipedia. “Decanoic acid”. Available online: [http://en.wikipedia.org/wiki/Decanoic\\_acid](http://en.wikipedia.org/wiki/Decanoic_acid) (accessed March 24, 2011).

## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

### วิธีการวิเคราะห์

#### 1. การวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์โดยใช้วิธีตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลแบบกะประมาณ (Proximate Analysis) โดยใช้ไมโครเวฟ

การตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลแบบกะประมาณ (Proximate analysis) โดยใช้ไมโครเวฟเป็นการตรวจสอบคุณภาพของไบโอดีเซลโดยการนำไบโอดีเซลโดยการนำไบโอดีเซลทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน อีกครั้งในไมโครเวฟโดยอาศัยหลักการที่ว่า หากในไบโอดีเซลยังมีกลีเซอไรด์ (ไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์ และ โมโนกลีเซอไรด์) เหลืออยู่เมื่อทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ิฟิเคชันกับเมทานอลและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในสัดส่วนที่เหมาะสมย่อมเกิดกลีเซอรอลขึ้น ซึ่งปริมาณกลีเซอรอลนี้สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของไบโอดีเซลได้

#### อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้

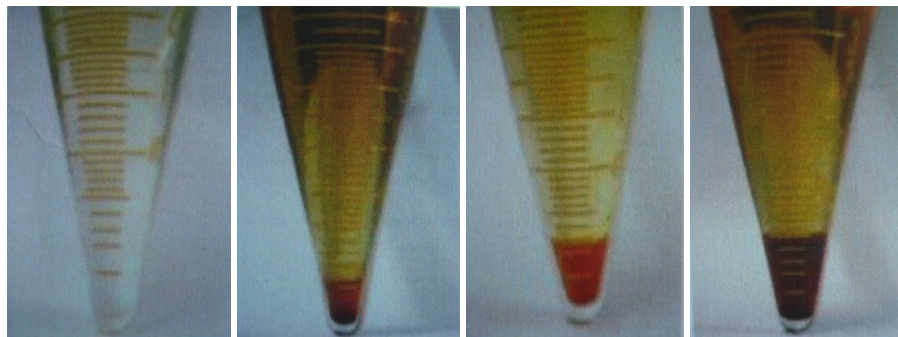
- (1) หลอดแก้วรูปกรวย ซึ่งมีสเกลละเอียด 0.05 มิลลิลิตร
- (2) เตาไมโครเวฟ
- (3) สารละลายเมทานอล + โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เตรียมได้โดยละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3 กรัม หรือประมาณ 4 มิลลิลิตร ในเมทานอล 100 กรัม ใส่ขวดปิดฝาให้สนิท

#### วิธีทดสอบ

- (1) ชั่งไบโอดีเซลใส่หลอดแก้วรูปกรวย 20 กรัม หรือประมาณ 24 มิลลิลิตร
- (2) เติมสารละลายเมทานอล + โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3 กรัม เขย่าให้เข้ากัน
- (3) นำเข้าทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ิฟิเคชันในไมโครเวฟ โดยใช้ความร้อนต่ำที่สุด (90วัตต์) เวลา 1.5 นาที
- (4) ทิ้งรอให้เกิดการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลและกลีเซอริน
- (5) อ่านค่ากลีเซอรอลในหลอดแก้วรูปกรวย



(6) เมื่อได้ค่ากลีเซอรอลแล้วก็นำมาเทียบตารางตัวอย่างของ มอ. เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของกลีเซอไรด์ที่เหลือ



ตย.1

ตย.2

ตย.3

ตย.4

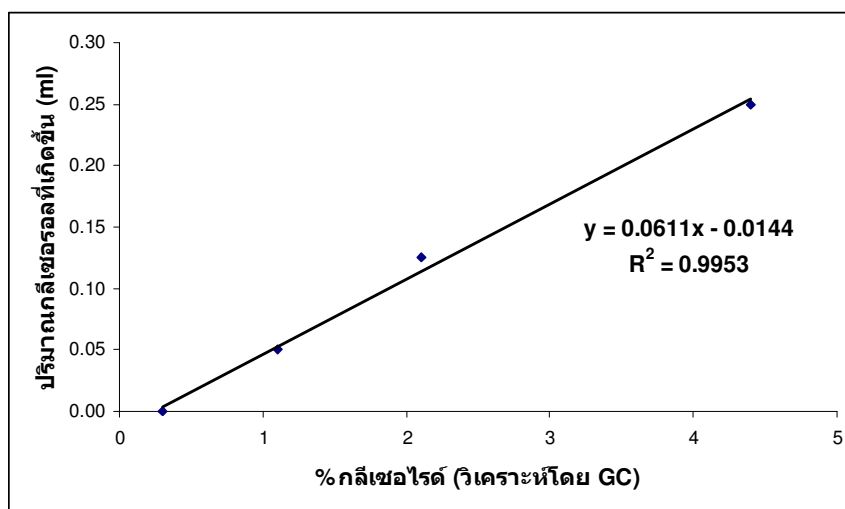
ตารางที่ ก-1 แสดงผลการตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลแบบกะประมาณโดยใช้ไมโครเวฟ ที่มีปริมาณกลีเซอไรด์ต่างๆ กัน

ตัวอย่างที่	Greceride จาก GC (%)	ปริมาณ Glycerol ที่เกิด (ml)
1	0.3	0
2	1.1	0.05
3	2.1	0.125
4	4.4	0.25

\*\* สีของไบโอดีเซลและกลีเซอรอลต่างกัน เนื่องจากตัวอย่างไบโอดีเซลที่ได้จากวัตถุดิบแตกต่างกัน

\*\* เปอร์เซ็นต์ของกลีเซอไรด์ วัดจากเครื่อง GC ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ม.อ.

จากการตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลแบบกะประมาณโดยใช้ไมโครเวฟ ที่มีปริมาณกลีเซอไรด์ต่างๆ กัน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1 ซึ่งสามารถสร้างกราฟมาตรฐานได้ดังกราฟที่ 1



กราฟที่ 1 แสดงกราฟมาตรฐานของปริมาณกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นจากการตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลแบบกะประมาณโดยใช้ไมโครเวฟ

ดังนั้น  $\% \text{ ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์} = 100 - \% \text{ กลีเซอไรด์ที่คำนวณได้จากสมการ}$

ที่มา: สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

หมายเหตุ เนื่องจากเมทิลเอสเทอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ผลิตมาจากน้ำมันปาล์ม โอเลอิน ซึ่งมีองค์ประกอบของกรดโอเลอิก ( $C_{18}H_{34}O_2$ ) เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จึงประกอบด้วยกรดโอเลอิกเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ ( $C_{19}H_{36}O_2$ ) และมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 296 (เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์และเบส)

## 2. การวิเคราะห์หาปริมาณเบสและสบู่

การไทเทรตหาปริมาณของสบู่และตัวเร่งปฏิกิริยา (เบส) ในสารตัวอย่าง เช่น กลีเซอรอล เอสเตอร์และเมทิลเอสเตอร์ที่ผ่านการล้างแล้ว เป็นต้น โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร และอินดิเคเตอร์ 2 ชนิด คือ ฟีนอล์ฟธาเลิน (Phenolphthalein) และ โบรโมฟีนอลบลู (Bromophenol blue) ซึ่งขั้นตอนแรก ใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเพื่อทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกลาง สังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของฟีนอล์ฟธาเลิน และเมื่อไทเทรตต่อสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งเป็นกรดเข้มข้นก็จะแยกโมเลกุลสบู่ออกเป็นเกลือและกรดไขมันอิสระ ในช่วง pH ประมาณ 4.6 สังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของโบรโมฟีนอลบลู โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. ละลายสารตัวอย่างใน 50 มิลลิลิตรของไอโซโพรพานอล ปริมาณสารตัวอย่างขึ้นอยู่กับปริมาณสบู่ในสารตัวอย่าง เช่น กลีเซอรอลดิบ ใช้ 0.5 กรัม เมทิลเอสเตอร์ที่ยังไม่ล้าง 5 กรัม และเมทิลเอสเตอร์ที่ล้างแล้ว 100 กรัม ในการทดลองนี้จะใช้ตัวอย่างประมาณ 4-5 กรัม (5 มิลลิลิตร)

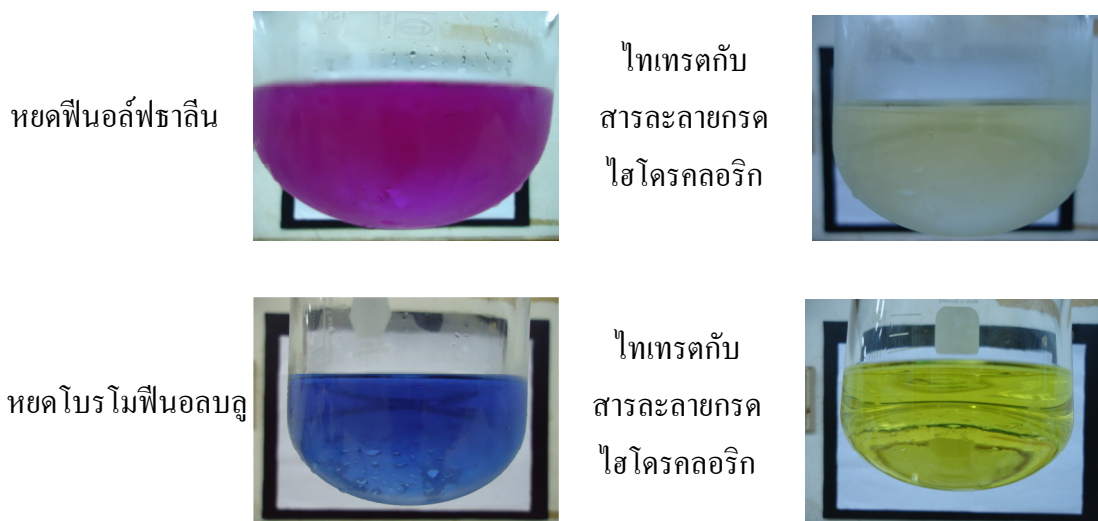
2. เติมฟีนอล์ฟธาเลิน (1 % ในไอโซโพรพานอล) จำนวน 5-7 หยด

3. ไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 โมล/ลิตร จนกระทั่งฟีนอล์ฟธาเลินเปลี่ยนสี (จากสีแดงเป็นใสไม่มีสี) แสดงว่าตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเบสที่เหลืออยู่ในสารละลายเป็นกลาง แล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ ในที่นี้ให้เป็น "A"

4. เติมโบรโมฟีนอลบลู (0.4 wt% ในน้ำ) จำนวน 5-7 หยด ซึ่งจะเปลี่ยนสีที่ pH = 4.5

5. ไทเทรตต่อจนกระทั่งโบรโมฟีนอลบลูเปลี่ยนสี (จากสีน้ำเงินเป็นสีเหลือง) บันทึกปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ ในที่นี้ให้เป็น "B"

6. การสังเกตสีจากการวิเคราะห์ด้วยการไทเทรต แสดงดังภาพประกอบที่ ก-1



ภาพประกอบที่ ก-1 แสดงสีที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์ด้วยการไทเทรต

### วิธีการคำนวณ

1. ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาในสารตัวอย่าง สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$C = A \times 0.01 \times MW \times 1000 / W$$

เมื่อ

C = ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาในสารตัวอย่าง, ppm

A = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก, มิลลิลิตร

MW = มวลโมเลกุลของตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเบส ซึ่งขึ้นอยู่กับ  
ชนิดที่ใช้

W = น้ำหนักของสารตัวอย่าง, กรัม

2. ปริมาณของสนุ่ในสารตัวอย่าง สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$S = B \times 0.01 \times MW \times 1000 / W$$

เมื่อ

S = ปริมาณของสนุ่ในสารตัวอย่าง, ppm

B = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก, มิลลิลิตร

MW = มวลโมเลกุลของสนุ่

เช่น Potassium oleate = 320.56 กรัม/โมล

Sodium oleate = 304.4 กรัม/โมล

W = น้ำหนักของสารตัวอย่าง, กรัม

หมายเหตุ: ppm (พีพีเอ็ม) หมายถึง ส่วนในล้านส่วน (part per million)

ที่มา: Gerpen et al. (1996)

## ภาคผนวก ข

### วิธีการคำนวณ

#### 1. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์

การตรวจสอบคุณภาพของไบโอดีเซล โดยการนำน้ำมันไบโอดีเซลมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันอีกครั้งในไมโครเวฟ โดยอาศัยหลักการที่ว่า หากในไบโอดีเซลยังมีกลีเซอไรด์เหลืออยู่ เมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันกับเมทานอลและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในสัดส่วนที่เหมาะสมย่อมเกิดกลีเซอรอลขึ้น ซึ่งปริมาณกลีเซอรอลนี้สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของไบโอดีเซลได้

พบว่าปริมาณกลีเซอรอลเกิดขึ้น 0.05 มิลลิลิตร

สามารถคำนวณหา % กลีเซอไรด์ที่เหลืออยู่ได้

โดยคำนวณจากสมการ

$$y = 0.0611x - 0.0144 \text{ โดยที่ } y \text{ คือ ปริมาณกลีเซอรอลที่เกิดขึ้น, มิลลิลิตร}$$

$$x \text{ คือ } \% \text{ กลีเซอไรด์}$$

$$\text{จะได้ } x = (0.05 + 0.0144) / 0.0611 = 1.0540 \%$$

$$\text{ดังนั้น ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์} = 100 - 1.0540 = 98.9460\%$$

#### 2. การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 โมลาร์

สูตร โมเลกุล HCl

น้ำหนักมวล โมเลกุล 36.46 g/mol

ความหนาแน่น 1.19 kg/L

ความเข้มข้น 37% w/w

#### วิธีการคำนวณ

จากสารละลาย HCl 1,000 mL มี HCl 0.01 mol

คิดเป็นกรัม จะได้  $0.01 \times 36.46 = 0.3646 \text{ g}$

จาก HCl 37 g อยู่ในสารละลาย 100 g

ถ้า HCl 0.3646 g อยู่ในสารละลาย  $(0.3646 \times 100) / 37 = 0.9854$  g  
 เนื่องจากสารละลายมีความหนาแน่น 1.19 kg/L  
 จะต้องใช้สารละลาย =  $0.9854 / 1.19 = 0.828$  mL  
 ดังนั้น ปิเปตกรดไฮโดรคลอริก 0.83 mL ใส่ในขวดปรับปริมาตร 1,000 mL แล้ว  
 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.01 M

### 3. การคำนวณความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ในหน่วย mol/L

ในการหาความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ (Assume ว่ามีมวลโมเลกุล = 296 g/mol  
 เนื่องจากกรดไขมันส่วนใหญ่ในเมทิลเอสเทอร์เป็นกรดโอเลอิก)

เมทิลเอสเทอร์ในตอนเริ่มต้น 200 g (ความบริสุทธิ์ 98%) จะมีความเข้มข้นที่  
 mol/L

เมื่อใช้ KOH; ในปฏิกิริยามีสารทำปฏิกิริยาทั้งหมด 212.59 g วัดความหนาแน่นได้ 0.8748 g/ml  
 ดังนั้นสารทำปฏิกิริยาทั้งหมดจะมีปริมาตรเท่ากับ  $212.59 / 0.8748$  ml

สารทำปฏิกิริยาทั้งหมดปริมาตร  $212.59 / 0.8748$  ml จะมีเมทิลเอสเทอร์  $200 \times 0.98$  g

ถ้ามีสารทำปฏิกิริยาทั้งหมดปริมาตร 1000 ml จะมีเมทิลเอสเทอร์  $200 \times 0.98 \times 1000$

$$\begin{array}{r} \text{-----} \\ (212.59/0.8748) \\ = 806.5328 \text{ g} \end{array}$$

นั่นคือ จะมีเมทิลเอสเทอร์ =  $806.5328 / 296 = 2.7247$  mol/L

เมื่อใช้ KOCH<sub>3</sub>; ในปฏิกิริยามีสารทำปฏิกิริยาทั้งหมด 212.7 g วัดความหนาแน่นได้ 0.8736 g/ml

ดังนั้นสารทำปฏิกิริยาทั้งหมดจะมีปริมาตรเท่ากับ  $212.7 / 0.8736$  ml

สารทำปฏิกิริยาทั้งหมดปริมาตร  $212.7 / 0.8736$  ml จะมีเมทิลเอสเทอร์  $200 \times 0.98$  g

ถ้ามีสารทำปฏิกิริยาทั้งหมดปริมาตร 1000 ml จะมีเมทิลเอสเทอร์  $200 \times 0.98 \times 1000$

$$\begin{array}{r} \text{-----} \\ (212.7/0.8736) \\ = 805.0099 \text{ g} \end{array}$$

นั่นคือ จะมีเมทิลเอสเทอร์ =  $805.0099/296 = 2.7196 \text{ mol/L}$

หมายเหตุ ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ที่เวลาต่างๆ จะคำนวณได้จากความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ในตอนเริ่มต้นลบกับความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ที่ทำปฏิกิริยาไป โดยเทียบสัดส่วนเชิงโมลกับเบสที่ทำปฏิกิริยาไป

#### 4. การหาปริมาณของเบสในสารตัวอย่าง

สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$C = A \times 0.01 \times MW \times 1000 / W$$

เมื่อ C = ปริมาณของเบสในสารตัวอย่าง, ppm

A = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก, มิลลิลิตร

MW = มวลโมเลกุลของเบส

W = น้ำหนักของสารตัวอย่าง, กรัม

ถ้าใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5 mL ในสารตัวอย่าง 4.25 g

ในการหาปริมาณ KOH (มวลโมเลกุล = 56.1 g/mol)

คำนวณได้  $C = 5 \times 0.01 \times 56.1 \times 1000 / 4.25$

จะได้  $C = 660 \text{ ppm}$

ดังนั้น ในสารตัวอย่าง 4.25 g จะมีความเข้มข้นของ KOH = 660 ppm

ถ้ามีปริมาณสารทั้งหมดที่เข้าทำปฏิกิริยา 212.59 g

จะมีปริมาณเบสที่เหลืออยู่ทั้งหมด =  $660 \times 212.59 / 10^6 = 0.14 \text{ g}$

ถ้าใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5 mL ในสารตัวอย่าง 4.25 g

ในการหาปริมาณ KOCH<sub>3</sub> (มวลโมเลกุล = 70.1 g/mol)

คำนวณได้  $C = 5 \times 0.01 \times 70.1 \times 1000 / 4.25$

จะได้  $C = 824.70 \text{ ppm}$

ดังนั้น ในสารตัวอย่าง 4.25 g จะมีความเข้มข้นของ KOH = 824.70 ppm



ถ้ามีปริมาณสารทั้งหมดที่เข้าทำปฏิกิริยา 212.7 g

จะมีปริมาณเบสที่เหลืออยู่ทั้งหมด =  $824.70 \times 212.7 / 10^6 = 0.18$  g

## 5. การหาปริมาณของสบู่ในสารตัวอย่าง

สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$S = B \times 0.01 \times MW \times 1000 / W$$

เมื่อ S = ปริมาณของสบู่ในสารตัวอย่าง, ppm

B = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก, มิลลิลิตร

MW = มวลโมเลกุลของสบู่

เช่น Potassium oleate = 320.56 กรัม/โมล

Sodium oleate = 304.4 กรัม/โมล

W = น้ำหนักของสารตัวอย่าง, กรัม

ถ้าใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 15 mL ในสารตัวอย่าง 4.25 g

ในการหาปริมาณสบู่ (Assume ว่ามีมวลโมเลกุล = 320.56 g/mol เนื่องจากกรดไขมันส่วนใหญ่ในน้ำมันไบโอดีเซลเป็นกรดโอเลอิก ดังนั้นสบู่ที่เกิดขึ้นจะเป็น โปแทสเซียม-โอเลเอต)

คำนวณได้  $S = 15 \times 0.01 \times 320.56 \times 1000 / 4.25$

จะได้  $S = 11,313.88$  ppm

ดังนั้น ในสารตัวอย่าง 4.25 g จะมีความเข้มข้นของสบู่ = 11,313.88 ppm

ถ้ามีปริมาณสารทั้งหมดที่เข้าทำปฏิกิริยา 212.59 g

จะมีปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นทั้งหมด =  $11,313.88 \times 212.59 / 10^6 = 2.40$  g

## 6. การคำนวณความเข้มข้นของเมทานอลและไดเมทิลอีเทอร์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา

ความเข้มข้นของเมทานอลและไดเมทิลอีเทอร์ที่เวลาต่างๆ จะคำนวณได้จากสัดส่วนเชิงโมลของความเข้มข้นของสบู่ที่เกิดขึ้น

## 7. การเตรียมไบโอดีเซลให้มีความบริสุทธิ์ 83%

เนื่องจากในตอนเริ่มต้นมีน้ำมันไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ 98% โดยจะทำการศึกษาผลของความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล ซึ่งเตรียมได้จาก

(1) นำน้ำมันไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ 98% ผสมกับน้ำมันปาล์มโอเลอิน ในอัตราส่วนเชิงมวล 8:2 แล้วกวนให้เข้ากัน

(2) นำน้ำมันที่ได้จากข้อ (1) มาวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ด้วยวิธีแบบกะประมาณ โดยใช้ไมโครเวฟ ได้ผลดังภาพประกอบที่ ก-2



ภาพประกอบที่ ก-2 แสดงผลจากการหาความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์โดยใช้วิธีตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลแบบกะประมาณ โดยใช้ไมโครเวฟ

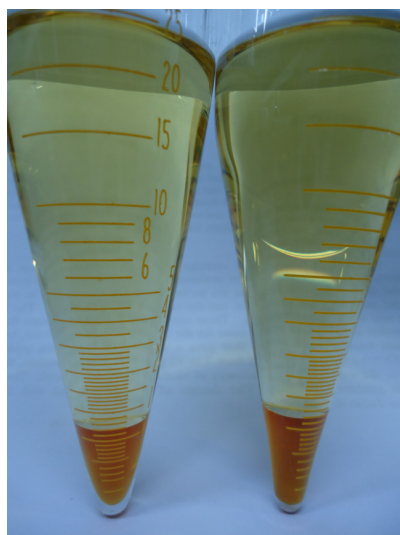
(3) จากการวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ด้วยวิธีแบบกะประมาณ โดยใช้ไมโครเวฟ พบว่า มีกลีเซอรอลเกิดขึ้น 1 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์กลีเซอรอล แล้วหาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ ตามลำดับ

## 8. การเตรียมไบโอดีเซลให้มีความบริสุทธิ์ 90%

เนื่องจากในตอนเริ่มต้นมีน้ำมันไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ 98% โดยจะทำการศึกษาผลของความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล ซึ่งเตรียมได้จาก

(1) นำน้ำมันไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ 98% ผสมกับน้ำมันปาล์มโอเลอิน ในอัตราส่วนเชิงมวล 9:1 แล้วกวนให้เข้ากัน

(2) นำน้ำมันที่ได้จากข้อ (1) มาวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ด้วยวิธีแบบกะประมาณ โดยใช้ไมโครเวฟ ได้ผลดังภาพประกอบที่ ก-3



ภาพประกอบที่ ก-3 แสดงผลจากการหาความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์โดยใช้วิธีตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลแบบกะประมาณ โดยใช้ไมโครเวฟ

(3) จากการวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ด้วยวิธีแบบกะประมาณ โดยใช้ไมโครเวฟ พบว่า มีกลีเซอรอลเกิดขึ้น 0.6 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์กลีเซอไรด์ แล้วหาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ ตามลำดับ

## ภาคผนวก ค

## ข้อมูลดิบ

1. ความเข้มข้นของโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เมื่อใช้ปริมาณเมทานอล 6% wt of Oil และความบริสุทธิ์ของโบไดเซล 98% ที่อุณหภูมิต่างๆ

ความเข้มข้นของโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ppm)				
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)			
	30	40	50	60
0	2,634.18	2,634.18	2,634.18	2,634.18
1	1,645.97	1,112.99	699.35	489.32
2	-	-	437.66	138.27
3	1,428.47	719.06	221.28	53.56
5	1,149.27	483.85	32.92	0.00
7	945.72	241.92	0.00	0.00
10	701.25	51.47	0.00	0.00
15	359.45	0.00	0.00	-
20	177.78	0.00	-	-
25	79.95	0.00	-	-
30	33.80	-	-	-
40	0.00	-	-	-
50	0.00	-	-	-
60	0.00	-	-	-

2. ความเข้มข้นของสบู่ที่เกิดจาก KOH เมื่อใช้ปริมาณเมทานอล 6% wt of Oil และความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล 98% ที่อุณหภูมิต่างๆ

ความเข้มข้นของสบู่ (ppm)				
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)			
	30	40	50	60
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	5,407.98	8,344.85	10,511.59	12,011.15
3	6,752.54	10,845.74	13,313.28	14,612.64
5	8,051.10	12,217.15	14,222.03	15,052.06
7	9,337.41	13,674.24	14,530.06	15,116.45
10	10,660.13	14,484.02	14,452.11	15,166.68
15	12,617.01	14,839.32	14,705.30	-
20	13,732.91	15,001.03	-	-
25	14,390.94	15,107.73	-	-
30	14,405.89	-	-	-
40	14,727.40	-	-	-
50	14,877.67	-	-	-
60	15,112.11	-	-	-

3. ความเข้มข้นของ  $\text{KOH}$  เมื่อใช้ปริมาณเมทานอล 6% wt of Oil และความบริสุทธิ์ของ ไบโอดีเซล 98% ที่อุณหภูมิต่างๆ

ความเข้มข้นของโปแทสเซียมเมทอกไซด์ (ppm)				
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)			
	30	40	50	60
0	3,291.02	3,291.02	3,291.02	3,291.02
1	2,176.70	1,976.50	1,673.03	1148.91
3	2,021.19	1,408.55	1,126.61	635.02
5	1,728.27	1,046.52	728.76	485.43
7	1,603.44	756.95	553.88	354.62
10	1,310.36	467.88	382.83	290.01
15	1,075.70	317.90	257.33	218.56
20	832.24	179.74	192.29	207.15
25	647.58	137.93	124.81	148.45
30	509.06	114.65	108.96	144.27
40	402.87	65.36	79.89	65.82
50	256.07	24.28	29.13	41.73
60	212.92	0.00	0.00	0.00
75	112.80	0.00	0.00	0.00
90	80.57	0.00	0.00	0.00
105	32.68	-	-	-
120	0.00	-	-	-
135	0.00	-	-	-
150	0.00	-	-	-

4. ความเข้มข้นของสบู่ที่เกิดจาก  $\text{KOCH}_3$  เมื่อใช้ปริมาณเมทานอล 6% wt of Oil และความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล 98% ที่อุณหภูมิต่างๆ

ความเข้มข้นของสบู่ (ppm)				
เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)			
	30	40	50	60
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	5,016.10	6,306.76	7,344.57	9974.67
3	6,271.83	9,062.56	10,265.55	12633.84
5	7,386.18	10,520.75	12,140.02	13093.30
7	8,253.50	11,851.69	12,861.98	13802.94
10	9,300.65	12,987.56	13,693.83	14019.76
15	10,535.03	13,977.91	14,323.76	14251.22
20	11,490.39	14,384.10	14,629.05	14285.00
25	12,437.43	14,766.54	14,838.98	14821.19
30	12,822.40	14,754.75	14,865.35	14436.84
40	13,559.32	15,056.61	15,069.06	15087.39
50	14,125.13	15,028.56	15,228.82	15035.79
60	14,604.95	15,428.82	15,338.62	15148.18
75	14,738.39	15,392.86	15,426.27	15168.69
90	15,070.00	15,127.13	15,317.40	15237.89
105	15,093.97	-	-	-
120	15,273.74	-	-	-
135	15,282.51	-	-	-
150	15,279.03	-	-	-

5. ความเข้มข้นของ KOH เมื่อใช้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ 98% ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C ที่ปริมาณแอลกอฮอล์ต่างๆ

ความเข้มข้นของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (ppm)				
เวลา (นาที)	ปริมาณเมทานอล (%wt of Oil)			
	2	4	6	10
0	2,737.18	2,684.69	2,634.18	2,634.18
1	262.54	496.22	489.32	797.36
2	79.39	145.89	138.27	393.10
3	19.57	72.09	53.56	179.89
5	0.00	0.00	0.00	19.62
7	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
15	-	-	-	0.00

6. ความเข้มข้นของสบู่ที่เกิดจาก KOH เมื่อใช้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ 98% ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C ที่ปริมาณแอลกอฮอล์ต่างๆ

ความเข้มข้นของสบู่ (ppm)				
เวลา (นาที)	ปริมาณเมทานอล (%wt of Oil)			
	2	4	6	10
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	13,817.24	12,326.20	12,011.15	9,885.29
2	15,045.15	14,209.22	14,259.65	12,373.16
3	15,096.14	14,979.44	14,612.64	13,477.23
5	15,435.74	15,073.95	15,052.06	14,458.83
7	15,311.45	15,243.41	15,116.45	14,598.27
10	15,334.48	15,255.57	15,166.68	14,570.91
15	-	-	-	14,570.91



7. ความเข้มข้นของ  $\text{KOCH}_3$  เมื่อใช้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ 98% ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  ที่ปริมาณแอลกอฮอล์ต่างๆ

ความเข้มข้นของโปแตสเซียมเมทอกไซด์ (ppm)				
เวลา (นาที)	ปริมาณเมทานอล (%wt of Oil)			
	2	4	6	10
0	3,419.64	3,354.10	3,291.02	3,171.73
1	762.32	984.74	1,148.91	1,321.69
3	506.55	444.18	635.02	977.94
5	381.33	362.02	485.43	696.03
7	334.98	336.55	354.62	582.78
10	311.19	249.17	290.01	452.52
15	211.44	199.34	218.56	391.26
20	148.45	191.94	207.15	347.19
25	94.04	164.17	148.45	371.12
30	91.15	150.21	144.27	318.64
40	49.02	98.73	65.82	274.59
50	40.85	72.68	41.73	239.16
60	0.00	0.00	0.00	166.90
75	0.00	0.00	0.00	98.50
90	0.00	0.00	0.00	96.87
105	-	-	-	66.29
120	-	-	-	41.63
150	-	-	-	0.00
180	-	-	-	0.00

8. ความเข้มข้นของสบู่ที่เกิดจาก  $\text{KOCH}_3$  เมื่อใช้ไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ 98% ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  ที่ปริมาณแอลกอฮอล์ต่างๆ

ความเข้มข้นของสบู่ (ppm)				
เวลา (นาที)	ปริมาณเมทานอล (%wt of Oil)			
	2	4	6	10
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	12,200.98	11,181.44	9,974.67	9,027.70
3	13,861.04	13,553.63	12,633.84	10,487.46
5	13,950.30	13,770.54	13,093.30	11,746.29
7	14,272.02	14,151.19	13,802.94	12,335.09
10	14,380.26	14,432.80	14,019.76	12,867.55
15	14,726.42	14,698.66	14,251.22	13,232.42
20	14,708.05	14,730.50	14,285.00	13,419.67
25	15,128.87	15,014.52	14,821.19	13,388.09
30	14,777.59	14,959.47	14,436.84	13,612.30
40	14,981.88	15,350.76	15,087.39	13,701.35
50	14,944.52	15,400.18	15,035.79	13,916.08
60	15,445.87	15,544.74	15,148.18	14,272.55
75	15,464.96	15,537.73	15,168.69	14,526.55
90	15,434.37	15,572.23	15,237.89	14,497.69
105	-	-	-	14,663.91
120	-	-	-	14,695.51
150	-	-	-	14,717.00
180	-	-	-	14,707.51

9. ความเข้มข้นของ KOH เมื่อใช้ปริมาณเมทานอล 6% wt of Oil ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C ที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลต่างๆ

ความเข้มข้นของโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ppm)			
เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)		
	98	90	83
0	2,634.18	2,634.18	2,634.18
1	489.32	949.17	870.29
2	138.27	-	679.18
3	53.56	709.46	627.08
5	0.00	617.49	557.02
7	0.00	511.77	587.40
10	0.00	517.23	529.62
15	-	422.40	455.23
20	-	335.81	425.00
25	-	249.04	388.28
30	-	161.83	376.20
40	-	79.76	349.01
50	-	13.14	338.99
60	-	0.00	256.19
75	-	0.00	145.20
90	-	0.00	118.24
105	-	-	72.77
120	-	-	40.07
150	-	-	0.00
180	-	-	0.00
210	-	-	0.00

10. ความเข้มข้นของสบู่ที่เกิดจาก KOH เมื่อใช้ปริมาณเมทานอล 6% wt of Oil ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C ที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลต่างๆ

ความเข้มข้นของสบู่ (ppm)			
เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)		
	98	90	83
0	0.00	0.00	0.00
1	12,011.15	8,742.55	9,639.75
2	14,259.65	-	10,167.88
3	14,612.64	9,609.29	10,248.67
5	15,052.06	9,984.66	11,481.05
7	15,116.45	10,808.72	11,502.45
10	15,166.68	10,988.46	12,030.34
15	-	11,728.72	12,776.50
20	-	12,340.81	12,852.29
25	-	12,882.32	12,967.76
30	-	13,639.21	13,161.82
40	-	14,204.91	13,295.12
50	-	14,489.01	13,331.35
60	-	14,989.15	13,963.50
75	-	15,009.75	14,557.20
90	-	14,918.66	14,639.16
105	-	-	14,969.55
120	-	-	15,150.28
150	-	-	15,426.01
180	-	-	15,448.67
210	-	-	15,238.44

11. ความเข้มข้นของ  $\text{KOH}$ , เมื่อใช้ปริมาณเมทานอล 6% wt of Oil ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  ที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลต่างๆ

ความเข้มข้นของโปแทสเซียมเมทอกไซด์ (ppm)			
เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)		
	98	90	83
0	3,291.02	3,291.02	3,291.02
1	1,148.91	1,995.29	1667.43
3	635.02	-	-
5	485.43	1,896.43	1472.42
7	354.62	-	-
10	290.01	1,756.72	1451.48
15	218.56	1,682.77	1448.08
20	207.15	1,522.46	1444.68
25	148.45	-	-
30	144.27	1,426.35	1423.39
40	65.82	1,286.86	1314.38
50	41.73	1,015.47	1306.26
60	0.00	1,012.95	1241.86
75	0.00	994.21	1226.34
90	0.00	890.82	1215.18
105	-	-	-
120	-	740.49	1030.39
150	-	719.40	997.83
180	-	522.02	979.10
210	-	-	-
240	-	452.26	899.14
300	-	370.72	803.05
420	-	211.44	499.52

ความเข้มข้นของโปแตสเซียมเมทอกไซด์ (ppm)			
เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)		
	98	90	83
540	-	83.06	340.53
720	-	0.00	187.16
900	-	-	98.96
1080	-	-	0.00
1440	-	-	0.00

12. ความเข้มข้นของสบู่ที่เกิดจาก  $\text{KOCH}_3$  เมื่อใช้ปริมาณเมทานอล 6% wt of Oil ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ  $60^\circ\text{C}$  ที่เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลต่างๆ

ความเข้มข้นของสบู่ (ppm)			
เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)		
	98	90	83
0	0.00	0.00	0.00
1	9,974.67	5,975.17	7,391.55
3	12,633.84	-	-
5	13,093.30	6,271.83	7,538.28
7	13,802.94	-	-
10	14,019.76	7,067.77	7,844.29
15	14,251.22	7,312.51	7,750.63
20	14,285.00	8,415.66	7,882.62
25	14,821.19	-	-
30	14,436.84	8,431.60	8,540.74
40	15,087.39	8,749.58	8,533.43
50	15,035.79	9,848.98	8,347.92
60	15,148.18	9,797.17	8,742.55
75	15,168.69	11,096.31	9,131.79

ความเข้มข้นของสบู (ppm)			
เวลา (นาที)	เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล (%)		
	98	90	83
90	15,237.89	11,154.88	8,807.84
105	-	-	-
120	-	12,340.81	9,964.40
150	-	12,470.47	10,429.70
180	-	13,375.61	10,911.08
210	-	-	-
240	-	13,664.42	11,345.24
300	-	14,024.50	11,858.42
420	-	14,800.80	13,248.80
540	-	15,192.42	13,977.02
720	-	15,574.38	14,705.30
900	-	-	15,273.74
1080	-	-	15,525.82
1440	-	-	15,688.58

## ภาคผนวก ง

### ผลจากการใช้โปรแกรม Polymath 5.1

การหาสมการความเข้มข้นและอัตราการหายไปของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และ โปแตสเซียมเมทอกไซด์ เมื่อใช้สมการ Polynomial กำลัง 6 ที่เวลาต่างๆ

รูปแบบสมการคือ

$$C_{\text{KOH}} \text{ หรือ } C_{\text{KOCH}_3} = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + a_4t^4 + a_5t^5 + a_6t^6$$

โดยกำหนดให้ t คือ เวลา (นาทึ)

ME คือ ความเข้มข้นของเมทิลเอสเตอร์

S คือ ความเข้มข้นของสบู่

KOH คือ ความเข้มข้นของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

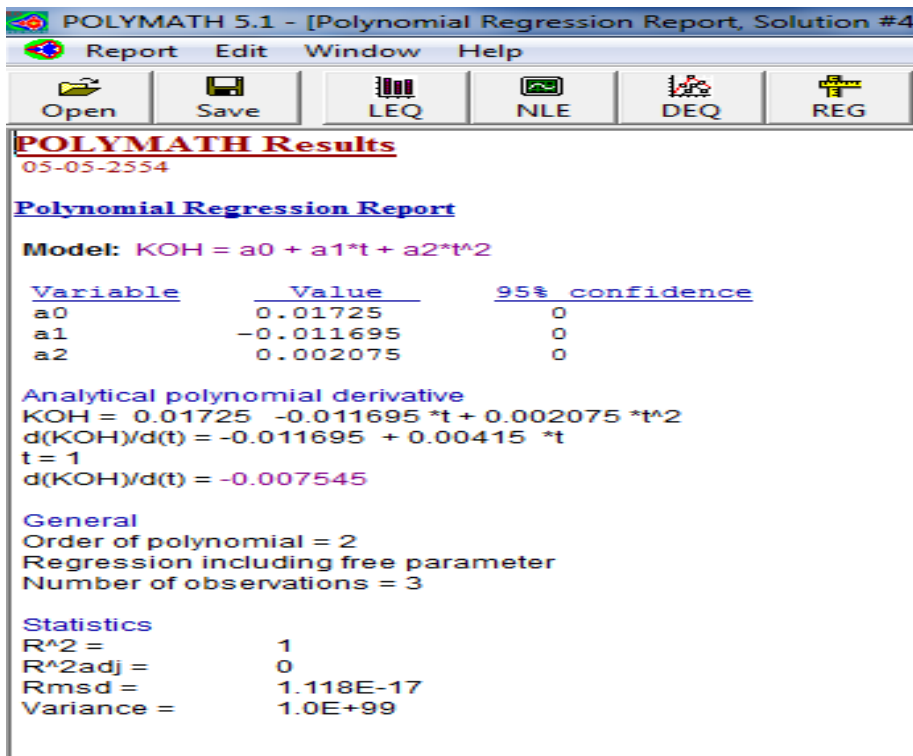
KOCH<sub>3</sub> คือ ความเข้มข้นของโปแตสเซียมเมทอกไซด์

MeOH คือ ความเข้มข้นของเมทานอล

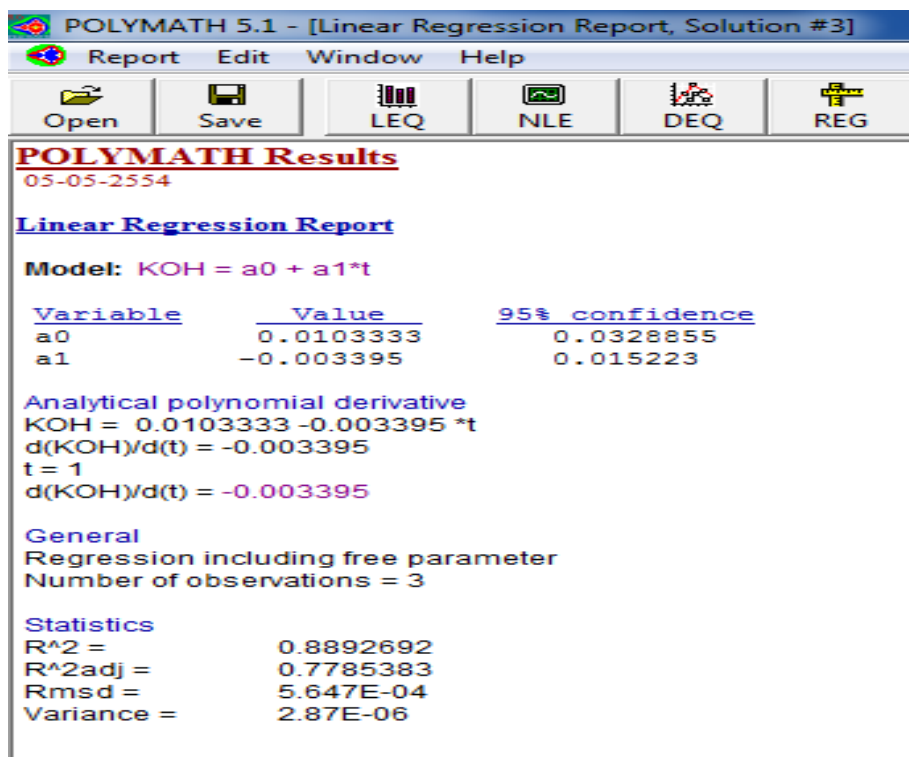
D คือ ความเข้มข้นของไดเมทิลอีเทอร์



ปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชันของไบโอดีเซล เมื่อใช้ KOH ที่อุณหภูมิ 60 °C



หมายเหตุ เนื่องจาก  $R^2_{adj}$  มีค่าเป็น 0 จึงไม่สามารถใช้ Order of Polynomial = 2 ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ ซึ่ง  $R^2_{adj}$  ที่เหมาะสมจะต้องมีค่าน้อยกว่า  $R^2$  และมีค่าใกล้เคียงกับ  $R^2$  มากที่สุด



**POLYMATH 5.1**

File Edit Row Column Align Format Matrix Window Examples Help

Open Save LEQ NLE DEQ REG Calculate Units Const Set

**Data Table**

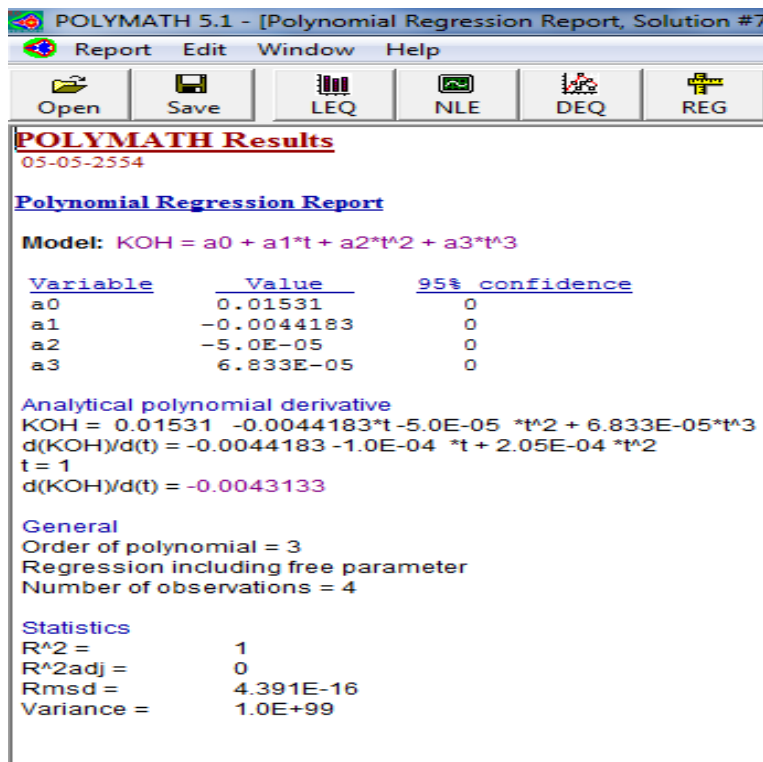
R015 : C006 =

	t	KOH	S	ME	MtOH	dKOH	C07
01	1	0.00763	0.03278	2.71843	0.32835	-0.003395	
02	2	0.00216	0.03891	2.71740	0.38982	-0.003395	
03	3	0.00084	0.03988	2.71715	0.39947	-0.003395	
04							
05							

ความเข้มข้นของ KOH, S, ME และ MtOH มีหน่วยเป็น mol/L

หมายเหตุ ผลการรัน Kinetics โดยใช้โปรแกรม Polymath 5.1 มีความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากมีข้อมูลน้อยเกินไป และเป็น Order of Polynomial = 1 จึงไม่สามารถรันได้

ปฏิกิริยาสaponification ของไบโอดีเซล เมื่อใช้ KOH ที่อุณหภูมิ 50 °C



หมายเหตุ เนื่องจาก  $R^2_{adj}$  มีค่าเป็น 0 จึงไม่สามารถใช้ Order of Polynomial = 3 ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ ซึ่ง  $R^2_{adj}$  ที่เหมาะสมจะต้องมีค่าน้อยกว่า  $R^2$  และมีค่าใกล้เคียงกับ  $R^2$  มากที่สุด

POLYMATH 5.1 - [Polynomial Regression Report, Solution #8]

Report Edit Window Help

Open Save LEQ NLE DEQ REG

**POLYMATH Results**  
05-05-2554

**Polynomial Regression Report**

Model:  $KOH = a_0 + a_1t + a_2t^2$

Variable	Value	95% confidence
a0	0.0163015	0.0045191
a1	-0.0058931	0.0035074
a2	5.464E-04	5.604E-04

Analytical polynomial derivative  
 $KOH = 0.0163015 - 0.0058931t + 5.464E-04t^2$   
 $d(KOH)/d(t) = -0.0058931 + 0.0010927t$   
 $t = 1$   
 $d(KOH)/d(t) = -0.0048004$

General  
 Order of polynomial = 2  
 Regression including free parameter  
 Number of observations = 4

Statistics  
 $R^2 = 0.9995931$   
 $R^2_{adj} = 0.9987793$   
 $Rmsd = 3.909E-05$   
 $Variance = 2.445E-08$

POLYMATH 5.1 - [Data Table]

File Edit Row Column Align Format Matrix Window Examples Help

Open Save LEQ NLE DEQ REG Calculate Units Const Se

R021 : C006 =

	t	KOH	S	ME	MdH	dKOH	C07
01	1	0.01091	0.02869	2.71905	0.28736	-0.00480	
02	2	0.00682	0.03288	2.71828	0.32940	-0.00371	
03	3	0.00345	0.03633	2.71764	0.36395	-0.00262	
04	5	0.00051	0.03881	2.71709	0.38879	-0.00043	
05							
06							

POLYMATH 5.1 - [Nonlinear Report #19]

Report Edit Window Help

Open Save LEQ NLE DEQ REG Calculate

**POLYMATH Results**  
05-05-2554

**Nonlinear regression (L-M)**

Model:  $dKOH = -k1*ME*a*KOH*1$

Variable	Ini guess	Value	95% confidence
k1	1	0.4241727	0.1142254
a	1	0.4241727	0.1142254

Nonlinear regression settings  
Max # iterations = 64

Precision  
R<sup>2</sup> = 0.8724491  
R<sup>2</sup>adj = 0.8086737  
Rmsd = 2.886E-04  
Variance = 6.661E-07

General  
Sample size = 4  
# Model vars = 2  
# Indep vars = 2  
# Iterations = 5

POLYMATH 5.1 - [Nonlinear Report #27]

Report Edit Window Help

Open Save LEQ NLE DEQ REG Calculate

**POLYMATH Results**  
05-05-2554

**Nonlinear regression (L-M)**

Model:  $dKOH = -k1*ME*a*KOH*1$

Variable	Ini guess	Value	95% confidence
k1	0.4241	0.2762338	0.0743869
a	1	0.6513412	0.1753995

Nonlinear regression settings  
Max # iterations = 64

Precision  
R<sup>2</sup> = 0.8724491  
R<sup>2</sup>adj = 0.8086737  
Rmsd = 2.886E-04  
Variance = 6.661E-07

General  
Sample size = 4  
# Model vars = 2  
# Indep vars = 2  
# Iterations = 4

POLYMATH 5.1 - [Nonlinear Report #21]

Report Edit Window Help

Open Save LEQ NLE DEQ REG Calculate

**POLYMATH Results**  
05-05-2554

**Nonlinear regression (L-M)**

Model:  $dKOH = -k1*ME*a*KOH^2$

Variable	Ini guess	Value	95% confidence
k1	1	0.2999354	0.0807695
a	1	0.2999354	0.0807695

Nonlinear regression settings  
Max # iterations = 64

Precision  
R<sup>2</sup> = 0.8724491  
R<sup>2</sup>adj = 0.8086737  
Rmsd = 2.886E-04  
Variance = 6.661E-07

General  
Sample size = 4  
# Model vars = 2  
# Indep vars = 2  
# Iterations = 6

POLYMATH 5.1 - [Nonlinear Report #30]

Report Edit Window Help

Open Save LEQ NLE DEQ REG Calculate

**POLYMATH Results**  
05-05-2554

**Nonlinear regression (L-M)**

Model:  $dKOH = -k1*ME*a*KOH^2$

Variable	Ini guess	Value	95% confidence
k1	0.2999	0.164254	197.81119
a	1	0.5476959	659.59049

Nonlinear regression settings  
Max # iterations = 64

Precision  
R<sup>2</sup> = 0.8724491  
R<sup>2</sup>adj = 0.8086737  
Rmsd = 2.886E-04  
Variance = 6.661E-07

General  
Sample size = 4  
# Model vars = 2  
# Indep vars = 2  
# Iterations = 5

ปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชันของไบโอดีเซล เมื่อใช้ KOCH<sub>3</sub> ที่อุณหภูมิ 60 °C

POLYMATH 5.1 - [Polynomial Regression Report, Solution #80]

Report Edit Window Help

Open Save LEQ NLE DEQ REG Calculate Units Const Setup

**POLYMATH Results**  
05-05-2554

**Polynomial Regression Report**

Model:  $KOCH3 = a_0 + a_1*t + a_2*t^2 + a_3*t^3 + a_4*t^4 + a_5*t^5 + a_6*t^6$

Variable	Value	95% confidence
a0	0.0181829	0.0023347
a1	-0.004672	0.0015747
a2	5.964E-04	3.227E-04
a3	-3.847E-05	2.754E-05
a4	1.29E-06	1.106E-06
a5	-2.137E-08	2.071E-08
a6	1.377E-10	1.454E-10

Analytical polynomial derivative  
 $KOCH3 = 0.0181829 - 0.004672 *t + 5.964E-04*t^2 - 3.847E-05*t^3 + 1.29E-06 *t^4 - 2.137E-08*t^5 + 1.377E-10*t^6$   
 $d(KOCH3)/d(t) = -0.004672 + 0.0011929*t - 1.154E-04*t^2 + 5.159E-06*t^3 - 1.069E-07*t^4 + 8.261E-10*t^5$   
 $t = 1$   
 $d(KOCH3)/d(t) = -0.0035894$

General  
 Order of polynomial = 6  
 Regression including free parameter  
 Number of observations = 11

Statistics  
 $R^2 = 0.9942908$   
 $R^2_{adj} = 0.9857271$   
 $Rmsd = 8.717E-05$   
 $Variance = 2.299E-07$

POLYMATH 5.1 - [Data Table]

File Edit Row Column Align Format Matrix Window Examples Help

Open Save LEQ NLE DEQ REG Calculate Units Const Se

R017 : C009 =

	t	KOCH3	S	ME	D	dKOCH3	C07
01	1	0.01432	0.02718	2.71331	0.18943	-0.00359	
02	3	0.00791	0.03443	2.71179	0.23993	-0.00200	
03	5	0.00605	0.03568	2.71135	0.24866	-0.00101	
04	7	0.00442	0.03762	2.71096	0.26214	-0.00045	
05	10	0.00361	0.03821	2.71077	0.26625	-0.00011	
06	15	0.00272	0.03884	2.71056	0.27065	-0.00012	
07	20	0.00258	0.03893	2.71053	0.27129	-0.00016	
08	25	0.00185	0.04039	2.71035	0.28147	-0.00006	
09	30	0.00180	0.03934	2.71034	0.27417	0.00003	
10	40	0.00082	0.04112	2.71011	0.28653	-0.00049	
11	50	0.00052	0.04098	2.71004	0.28555	0.00138	
12							
13							

POLYMATH 5.1 - [Nonlinear Report #82]

Report Edit Window Help

Open Save LEQ NLE DEQ REG Calculate

**POLYMATH Results**  
05-05-2554

**Nonlinear regression (L-M)**

Model:  $d\text{KOCH3} = -k1 \cdot \text{ME} \cdot a \cdot \text{KOCH3}^1$

Variable	Ini guess	Value	95% confidence
k1	1	0.2799724	751.53813
a	1	0.2799724	751.53813

Nonlinear regression settings  
Max # iterations = 64

Precision  
R<sup>2</sup> = 0.7491667  
R<sup>2</sup>adj = 0.7212963  
Rmsd = 1.842E-04  
Variance = 4.564E-07

General  
Sample size = 11  
# Model vars = 2  
# Indep vars = 2  
# Iterations = 6

POLYMATH 5.1 - [Nonlinear Report #83]

Report Edit Window Help

Open Save LEQ NLE DEQ REG Calculate

**POLYMATH Results**  
05-05-2554

**Nonlinear regression (L-M)**

Model:  $d\text{KOCH3} = -k1 \cdot \text{ME} \cdot a \cdot \text{KOCH3}^1$

Variable	Ini guess	Value	95% confidence
k1	0.2799	0.148121	125.73393
a	1	0.5291927	449.21017

Nonlinear regression settings  
Max # iterations = 64

Precision  
R<sup>2</sup> = 0.7491667  
R<sup>2</sup>adj = 0.7212963  
Rmsd = 1.842E-04  
Variance = 4.564E-07






General  
Sample size = 11  
# Model vars = 2  
# Indep vars = 2  
# Iterations = 5



ภาคผนวก จ

บทความที่เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

Effect of Temperatures, Potassium Hydroxide and Potassium Metoxide on  
Saponification of Biodiesel



**ICET-2011**

Faculty of Engineering  
Prince of Songkla University

The 5<sup>th</sup> PSU-UNS International Conference on Engineering  
and Technology (ICET-2011)

May 2-3, 2011 : Merlin Beach Resort Hotel, Tritrang Beach,  
Phuket, Thailand

<http://www.icet.eng.psu.ac.th>



ICET2011-118

## EFFECT OF TEMPERATURES, POTASSIUM HYDROXIDE AND POTASSIUM METOXIDE ON SAPONIFICATION OF BIODIESEL

Kannika Angchotipan<sup>1\*</sup>, Warut Congkumnert<sup>1</sup>, Sukritthira Ratanawilai<sup>1</sup>  
and Chakrit Thongurai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Prince of Songkla University, Faculty of Engineering, Thailand

\*E-mail: nfai\_843@hotmail.com

### Abstract

The saponification of biodiesel using potassium hydroxide (KOH) and potassium metoxide ( $\text{KOCH}_3$ ) was investigated. In this study, the reactions were carried out at four different temperature (30, 40, 50 and  $60 \pm 1^\circ\text{C}$ ), using a mixing speed of 250 rpm, and a constant basic concentration of 0.005 mol% based on oil weight. Samples were collected at various times intervals and analyzed for amount of remain base and soap with titration. Results showed that both the temperatures and different base had effect on the biodiesel saponification rate.

**Key Words:** Saponification/ Biodiesel/ KOH/  $\text{KOCH}_3$

