



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง

การทดสอบประสิทธิภาพของสารเร่งปฏิกิริยาเพื่อปรับปรุง
กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ

EFFICIENCY OF CATALYTIC AGENT FOR IMPROVED BIODIESEL
PRODUCTION FROM *JATROPHA CURCAS* L. OIL

โดย

รัฐพงศ์ ปกแก้ว

2552



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง การทดสอบประสิทธิภาพของสารเร่งปฏิกิริยาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต
ไบโอดีเซลจากน้ำมันสัปปะดำ

EFFICIENCY OF CATALYTIC AGENT FOR IMPROVED
Biodiesel PRODUCTION FROM *Jatropha curcas* L.
OIL

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2550

จำนวน 230,000 บาท

หัวหน้าโครงการ รัฐพงศ์ ปกแก้ว

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

7 กันยายน 2552

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2550 งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์ และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัย และเจ้าหน้าที่ศูนย์ประสานงานมหาวิทยาลัย แม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่คอยช่วยเหลือทางด้านเอกสารจนทำให้งานวิจัยในครั้งนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคุณคุณสยาม กองคำ, คุณชนกพร พุฒทอง, คุณณณมล แซ่ย่าง, คุณสราวุธ จินใจ และคุณจิตาภา สุสวาท ที่คอยช่วยเหลือจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในครั้งนี้ที่มีส่วนคอยช่วยเหลือจนทำให้งานวิจัยลุล่วงไปได้ด้วยดี

รัฐพงศ์ ปกแก้ว

นักวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพของสารเร่งปฏิกิริยาเพื่อปรับปรุง
กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ
EFFICIENCY OF CATALYTIC AGENT FOR IMPROVED BIODIESEL
PRODUCTION FROM *JATROPHA CURCAS* L. OIL

รัฐพงศ์ ปกแก้ว

RATTAPHONG POKKAEW

มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ

บทคัดย่อ

สบู่ดำ (*Jatropha curcas* L.) พืชพลังงานที่มีความน่าสนใจในประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมต่างๆ ตลอดจนสามารถเจริญได้ในสภาพของดินที่มีความหลากหลาย และดินที่มีปริมาณธาตุอาหารต่ำๆ นอกจากนั้นพบว่าน้ำมันสบู่ดำ ไม่สามารถที่จะนำมาบริโภคได้ แต่น้ำมันสบู่ดำสามารถนำมาใช้ได้โดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซล หรือนำมาใช้ในการเครื่องจักรรุ่นใหม่ขนาดใหญ่ที่มีความเร็วรอบคงที่ น้ำมันสบู่ดำจึงเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นเมทิลเอสเทอร์ โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งเมทิลเอสเทอร์ที่ได้สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไป หรือเครื่องยนต์ดีเซลที่ผ่านการดัดแปลง อย่างไรก็ตามกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งน้ำมันสบู่ดำจะถูกนำไปดัดแปลงโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์โดยเติมเมทานอลในอัตราส่วนที่เหมาะสม และตัวเร่งปฏิกิริยา อาทิเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ รวมทั้งระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา นอกจากนั้นยังได้ศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการเกิดปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันสบู่ดำ เช่น ระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบู่ดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน ตลอดจนน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา ปริมาณผลผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงสุดที่ได้รับ คือ ร้อยละ 97.30 หลังจากนำน้ำมันสบู่ดำไปศึกษาสภาวะที่เหมาะสมดังนี้ คือ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ก่อนเข้าสู่ปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอริฟิเคชัน อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำที่เหมาะสมที่ 25 ต่อ 100 (กรัมเมทานอลต่อกรัมน้ำมันสบู่ดำ) โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณร้อยละ

1.5 (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ซึ่งใช้ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นยังพบว่าสารตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ จะให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

ABSTRACT

Jatropha Curcas L. as a energy crop in Thailand is interested. It is high ecological adaptability. JCL can grow in a wide range of soils and it is well adapted to marginal soils with low nutrient content. Moreover, JCL oils can not to consumed, but the oil can be directly used in diesel engines or new big motors running at constant speed. The oil can also be transesterified in to JCL methyl esters by transesterification process, that can be used in conventional diesel engines or diesel engines with adapted parameters. Although the transesterification process is quite straightforward, the JCL oil might require modification of the triglyceride structure by input optimum ratios of the methanol and reaction catalyst such as sodium hydroxide or potassium hydroxide, as well as alterations to reaction temperature and time. The optimal condition for the transesterification of JCL oil (optimal time for heated of JCL oil at 120 °C, mass ratio methanol:oil, mass of catalyst, reaction time and temperature) are identified. The maximum methyl ester yield is achieved at 97.30% after pretreatment of JCL oil at 120 °C for 10 min, optimal conversion of JCL oil with mass ratio methanol:oil at 25:100 (by mass on oil basis) and using sodium hydroxide as catalyst at 1.5% by mass on oil basis during 30 min at 70 °C. In addition, sodium hydroxide showed higher efficiency for the transesterification reaction than potassium hydroxide.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ก
สารบัญภาพ	ค
บทที่ 1 คำนำ (Introduction)	1
1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
4.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสบู่ดำ	3
4.1.1 ประวัติสบู่ดำ	3
4.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสบู่ดำ	3
4.1.3 ลักษณะทั่วไปของสบู่ดำ	4
4.2 ประโยชน์ของสบู่ดำ	6
4.2.1 ประโยชน์ทางการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม	6
4.2.2 ประโยชน์ทางการเกษตร	6
4.2.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม	8
4.2.4 ประโยชน์ทางการนำไปเป็นอาหาร	9
4.2.5 ประโยชน์ทางการแพทย์หรือเวชภัณฑ์	9
4.2.6 ประโยชน์ทางด้านพลังงานทดแทน	9
4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดสบู่ดำ	10
4.4 คุณสมบัติของน้ำมันสบู่ดำ	10
4.4.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำมันสบู่ดำ	10
4.4.2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันสบู่ดำ	10
4.4.3 คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของน้ำมันสบู่ดำ	14
4.5 การสกัดน้ำมันจากพืช	17
4.5.1 วิธีการสกัดโดยการบีบอัดเชิงกล (Mechanical Extraction)	17
4.5.2 วิธีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent Extraction)	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 ลิพิด	18
4.6.1 การจำแนกชนิดของลิพิดตามลักษณะโครงสร้างเคมี	18
4.6.2 การจำแนกชนิดของลิพิดออกตามคุณสมบัติของโมเลกุล	19
4.6.3 การจำแนกชนิดของลิพิดตามหน้าที่ในสิ่งมีชีวิต (biological function)	20
4.7 กรดไขมัน (Fatty Acids)	21
4.7.1 ประเภทของกรดไขมัน	22
4.7.2 สมบัติทางกายภาพของไขมัน และน้ำมัน	23
4.8 สมบัติทางเคมีของไขมัน	28
4.8.1 ไฮโดรไลซิส (hydrolysis)	28
4.8.2 ฮาโลจิเนชัน (halogenation)	30
4.8.3 ไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation)	31
4.8.4 การหืน (rancidity)	32
4.8.5 Reichert Meissl Number (R.M.N.)	34
4.8.6 Polenske Number (P.N.)	34
4.9 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไบโอดีเซล	34
4.9.1 ประเภทของไบโอดีเซล	35
4.9.2 วิธีการผลิตไบโอดีเซล	36
4.9.3 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	38
4.9.4 คุณสมบัติของไบโอดีเซล	38
4.9.5 ข้อดีของไบโอดีเซล	39
4.9.6 ลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภท เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน	39
4.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 2 อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)	49
1. วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมี และวัตถุดิบ ที่ใช้ในการทดลอง	49
1.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	49
1.2 สารเคมี	49
1.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	49
2. วิธีการทดลอง	49
2.1 การเตรียมน้ำมันจากเมล็ดสับด้า	49
2.2 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมัน สับด้าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยา	50
2.3 ศึกษาปริมาณของไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์และโปแตสเซียม ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล	50
2.4 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจาก น้ำมันสับด้าโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	52
2.5 ศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสับด้า ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล	53
2.6 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอริฟิเคชันสำหรับการผลิตไบโอดีเซล	54
2.7 ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลต้นแบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม	55
บทที่ 3 ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล (Results and Discussion)	58
1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน สับด้าตัวอย่าง	58
2. ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมัน สับด้าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอริฟิเคชัน	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. ผลการศึกษาปริมาณไฮเดียมไฮดรอกไซด์และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล	62
4. ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสนุดำโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	66
5. ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสนุดำที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล	69
6. ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซล	72
7. ผลการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลต้นแบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม	74
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง (Summary)	79
เอกสารอ้างอิง (References of Literature cited)	81

บทที่ 1

คำนำ (Introduction)

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากการที่ประเทศไทยประสบกับปัญหาภาวะทางเศรษฐกิจทำให้อาณัติน้ำมันของไทยสูงขึ้น และจากปัจจัยการเพิ่มขึ้นของราคาน้ำมันในตลาดโลก ตลอดจนมีแนวโน้มที่จะเกิดวิกฤติการณ์การขาดแคลนปริมาณน้ำมันสำรองของโลกที่มีอยู่ ทำให้ประเทศต่างๆ ซึ่งไม่มีแหล่งน้ำมันเป็นของตนเองพยายามแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทน โดยแหล่งพลังงานทดแทนที่จะนำมาใช้จะมีรูปแบบต่างๆ กัน เช่น พลังงานปรมาณู พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงาน ความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากชีวมวล (biomass) พลังงานไบโอแก๊ส (biogas) และ พลังงานไบโอดีเซล (biodiesel) สถานการณ์ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณ สูงที่มาก โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลใช้มากถึง 43 ล้านลิตรต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 46.6 ของปริมาณน้ำมันที่ใช้ภายในประเทศ มีสัดส่วนการใช้สูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ในปี 2548 มีปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.5 เมื่อเทียบกับปี 2547 (วารสารนโยบายพลังงาน, 2548) นอกจากนั้นราคาน้ำมันก็ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งความต้องการเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศ รวมถึงความต้องการลดมลพิษเพื่อให้สภาวะแวดล้อมดีขึ้น ส่งผลให้มีหลายหน่วยงานได้ทำการวิจัยและพัฒนาวัตถุดิบภายในประเทศ เช่น น้ำมันพืชชนิดต่างๆ น้ำมัน พืชใช้แล้ว ฯลฯ มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใช้แทนน้ำมันดีเซล ที่เรียกว่า “ไบโอดีเซล” ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ หรือน้ำมันสัตว์มาสกัดเอายางเหนียว และสิ่งสกปรกออก (degumming) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการทางเคมีโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) โดยการเติมแอลกอฮอล์ในกลุ่มของ เอทานอล หรือเมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมัน จากไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) ให้เป็นเอสเทอร์ของกรดอินทรีย์ (organic acid esters) ซึ่งเรียกว่าไบโอดีเซล และได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง ฯลฯ วัตถุประสงค์ของกระบวนการดังกล่าว คือ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมัน ในเรื่องความหนืดให้เหมาะสมกับการใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซล และเพิ่มค่าซีเทน (cetane number)

ประเทศไทยมีการเพาะปลูกพืชน้ำมันหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน ถั่วลิสง มะพร้าว ละหุ่ง งา สนุ่นดำ ฯลฯ ในบรรดาพืชน้ำมันทั้งหมด สนุ่นดำเป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่งที่ เมล็ดสามารถให้น้ำมัน และนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีรอบการทำงานต่ำได้ โดยไม่ต้องใช้น้ำมัน

ชนิดอื่นผสมอีก และนอกจากนั้นยังใช้เป็นยาสมุนไพรรักษาโรค ใช้ปลูกเป็นแนวรั้ว เพื่อป้องกันสัตว์เลื้อยเข้าทำลายผลผลิต เนื่องจากมีสารพิษไฮโดรไซยานิค (hydrocyanic) มีกลิ่นเหม็นเขียว สบู่ดำจึงเป็นพืชที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งที่จะนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลในสภาวะที่ราคาน้ำมัน ดีเซลมีราคาสูงอย่างในปัจจุบัน เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยสรุป ข้อดีของไบโอดีเซลในเชิงเศรษฐศาสตร์ คือ มีราคาถูก ช่วยพยุงราคาพืชผลทางการเกษตรของไทยที่นำมาผลิตไบโอดีเซล ลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ สำหรับข้อดีทางด้านสิ่งแวดล้อม และคุณภาพชีวิต ก็คือ ช่วยลดมลพิษในอากาศ ส่งผลให้ลดการสูญเสียจากการรักษาพยาบาลผู้ป่วยที่ได้รับมลพิษจากอากาศ เป็นต้น

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้กำหนดความมุ่งหมายไว้ดังนี้

2.1 เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบู่ดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนเข้าสู่กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

2.2 เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

2.3 เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ โดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

2.4 เพื่อศึกษาอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำ ที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

2.5 เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

3.1 ทราบถึงระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนน้ำมันดิบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนเข้าสู่กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

3.2 ทราบความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

3.3 ทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

3.4 ทราบอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอล และน้ำมันสบู่ดำ ที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

3.5 ทราบระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสบู่ดำ

สบู่ดำเป็นพืชที่สามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งใช้แทนน้ำมันดีเซลได้โดยสามารถใช้กับเครื่องจักรกลทางการเกษตร และเรือประมงที่มีรอบความเร็วต่ำ น้ำมันสบู่ดำไม่ สามารถนำมาบริโภคได้ นอกจากนี้สบู่ดำยังเป็นพืชที่มีความทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดี เจริญเติบโตเร็ว กากของสบู่ดำสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ย นอกจากนั้นสบู่ดำยังมีผลพลอยได้อื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ อีกมาก เช่น ใช้เป็นเวชภัณฑ์สำหรับมนุษย์และสัตว์ได้ นอกจากนี้สบู่ดำยังเป็นพืชยืนต้นถาวรที่จะทำให้เกิดป่าไม้ซึ่งมีประโยชน์มหาศาล แต่พันธุ์สบู่ดำที่ปลูกกันโดยทั่วไปเป็นพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงควรมีการวิจัยเพื่อคัดเลือกพันธุ์ของสบู่ดำให้ปลูกได้ในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เพื่อให้มีปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้น (ชานาญ ฉัตรแก้ว, 2547)

4.1.1 ประวัติสบู่ดำ

สบู่ดำถูกค้นพบโดยพ่อค้าชาวโปรตุเกสที่เดินเรือไปทวีปอเมริกากลาง สบู่ดำมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกาเขตร้อน นักพฤกษศาสตร์ได้จัดสบู่ดำให้อยู่ในกลุ่มของไม้พุ่มขนาดเล็กลักษณะของต้นดังภาพที่ 1 เป็นพืชในวงศ์ Euphorbiaceae ซึ่งเป็นวงศ์เดียวกับยางพารา ละหุ่ง และมันสำปะหลัง มีน้ำยางสีขาวใส เป็นฟอง มีคุณสมบัติคล้าย ซึ่งพบในทุกลำต้นของลำต้นสบู่ดำถูกนำเข้ามาในทวีปเอเชีย และแพร่มายังประเทศไทยสมัยกรุงศรีอยุธยาตอนปลาย โดยมีการแนะนำให้ผู้คนในสมัยนั้นปลูก และมีพ่อค้ารับซื้อเมล็ดไปทำสบู่ ส่วนของลำต้น ใบ ผล และเมล็ดของสบู่ดำมีกรดไฮโดรไซยานิคเหมือนกับมันสำปะหลัง ซึ่งมีกลิ่นเหม็นเขียว นอกจากนี้เมล็ดสบู่ดำยังมีสารที่เรียกว่า เคอร์ซิน (curcin) หากบริโภคแล้วอาจทำให้ท้องเสียได้

4.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสบู่ดำ

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Jatropha curcas* L.

วงศ์ Euphorbiaceae

ชื่อสามัญ Physic nut

ชื่ออื่น หมักเยา มะเยา มะหัว มะหุ้งฮั่ว มะโห่ง หงเทศ (ภาคเหนือ) สบู่หัวเทศ

สลอดดำ สลอดป่า สลอดใหญ่ สี่หลอด (ภาคกลาง)

4.1.3 ลักษณะทั่วไปของสบู่ดำ

สบู่ดำเป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลางเจริญเติบโตได้สูงประมาณ 6 เมตร เป็นไม้ยืนต้นมีอายุ ไม่น้อยกว่า 50 ปี ทรงพุ่มมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เมตร ยอด และใบอ่อนมีสีม่วงแกมเขียว ลำต้นส่วนที่อายุน้อยอยู่มีสีเขียว ผิวเรียบ อวบน้ำ เปราะหักง่ายเป็นไม้เนื้ออ่อน ไม่มีแก่น เมื่อสบู่ดำมีอายุมากขึ้น โคนต้นมีสีน้ำตาลอมเทา และเริ่มแตกทรงพุ่มเมื่อลำต้นมีความสูงจากระดับพื้นดินประมาณ 12 เซนติเมตร โดยมีกิ่งแขนงเจริญออกทางด้านข้าง เป็นพืชที่ทนต่อความแห้งแล้งได้ดี ขึ้นได้ในที่ดอน และดินลูกรัง แต่ไม่ทนสภาพต่อน้ำท่วมขัง

4.1.3.1 ใบ เป็นใบเดี่ยว เรียงสลับ รูปหัวใจกว้างหรือรูปโล่ ลักษณะคล้าย ๆ ใบฝ้าย ใบพุดตาน หรือใบละหุ่ง แต่ใบหนากว่าเนื่องจากมีไข (cutin) เคลือบอยู่ที่ผิวใบ ขอบใบเรียบ มีรอยหยักเว้าเป็นพู 5 พูข้างปลายมน ปลายหรือพุกกลางรูปหัวใจปลายแหลม การจัดเรียงตัวของเส้นใบเป็นแบบร่างแห (palmately netted venation) ขนาดของใบมีความกว้างประมาณ 18 เซนติเมตร มีความยาวประมาณ 16 เซนติเมตร ก้านใบยาวประมาณ 24 เซนติเมตร ลักษณะใบ

ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะของใบสบู่ดำ

4.1.3.2 ดอก สบู่ดำสามารถออกดอกบริเวณซอกใบใกล้ปลายกิ่ง ดังภาพที่ 2 ลักษณะดอกเป็นช่อคล้ายช่อเชิงหลั่น มักออกเป็นคู่ ๆ ช่อดอกยาวถึง 12 เซนติเมตร ก้านช่อยาวประมาณ 6 เซนติเมตร มีใบประดับแกมใบหอก ขอบเรียบ ปลายแหลมยาว 5 - 10 มิลลิเมตร ดอกย่อยจะแยกเพศ ดอกตัวผู้ และดอกตัวเมียอยู่แยกกัน แต่อยู่ภายในช่อเดียวกัน เป็นดอกไม้สมบูรณ์เพศ ดอกตัวผู้มีกลีบเลี้ยงเชื่อมติดกัน ปลายแยกเป็นแฉก รูปไข่ แกมขอบขนาน ดอกมีสีเหลืองแกมเขียว กว้าง 1.5 มิลลิเมตร ดอกตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ อยู่กลางของช่อย่อยมีกลีบเลี้ยงเชื่อมติดกัน ปลายแยกเป็นแฉกยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร ลักษณะอื่นคล้ายดอกตัวผู้ กลีบดอกรูปขอบขนานแกมรี มีสีเขียวอ่อน มีเกสรตัวผู้ที่เป็นหมัน 10 อัน สีขาว รังไข่รูปกระสวย มี 3 พู ปลาย

ก้านมียอดเกสรตัวเมียแยกเป็น 2 แฉก อัตราส่วนดอกตัวผู้ต่อดอกตัวเมีย ประมาณ 7 : 1 ปริมาณดอก
ย่อยประมาณ 7 - 100 ดอกต่อช่อ แต่จะติดผล 7 - 15 ผลเท่านั้น



ภาพที่ 2 ลักษณะดอกของสบู่ดำ

4.1.3.3 ผล ผลสบู่ดำมีลักษณะค่อนข้างป้อมหรือรูปกระสวย กว้าง 2 - 3 เซนติเมตร ยาว 2.5 - 3.5 เซนติเมตร ลักษณะเป็นแบบเปลือกแข็ง (nut) มี 3 พู (lobes) ผลอ่อนสีเขียว ผลสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และเมื่อแก่จัดเปลือกนอกที่เป็นสีเหลืองจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ผลสดหนึ่งผลจะมีน้ำหนักประมาณ 15 กรัม ผลแห้งน้ำหนักจะลดลงเหลือ 2.6 กรัม เมื่อแกะผนังด้านนอก (exocarp) และผนังชั้นกลาง (mesocarp) ของผลออก จะพบผนังชั้นใน (endocarp) สานกันเป็นชั้นหุ้มเมล็ดไว้ภายใน สบู่ดำหนึ่งผลจะมีจำนวนเมล็ด 2 - 3 เมล็ด แต่ส่วนมากพบว่าจะมีจำนวน 3 เมล็ด ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ลักษณะผลของสบู่ดำ

4.1.3.4 เมล็ด เมล็ดของสบู่ดำมีลักษณะรูปร่างป้อมยาว (oblong) เป็นรูปกระสวย แกมขอบขนาน แบนข้าง กว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1.7 เซนติเมตร โดยประมาณ เปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ จัดเป็นพวกมีเยื่อหุ้มเมล็ด (albuminous seed) โดยเยื่อ (albumin) นุ่มอยู่ภายในที่เก็บสะสม น้ำมัน (oil) และสารเคอร์ซิน (curcin) ส่วนของเนื้อใน (endosperm) และคัพพะ (embryo) จะมีสีขาว แต่ละเมล็ดมีน้ำหนักประมาณ 0.6 กรัม ลักษณะของเมล็ดสบู่ดำ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ลักษณะของเมล็ดสบู่ดำ

4.2 ประโยชน์ของสบู่ดำ

4.2.1 ประโยชน์ทางการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม มีดังนี้

4.2.1.1 ปลูกเพื่อป้องกันการชะล้างหน้าของดิน (soil erosion) ในช่วงฤดูฝนของเขตพื้นที่แห้งแล้ง เป็นป่าถาวรผืนใหญ่ ช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมป้องกันน้ำกัดเซาะดิน

4.2.1.2 การนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสีธรรมชาติสำหรับย้อมเส้นใยธรรมชาติ เปลือกของลำต้นและรากสบู่ดำสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสีธรรมชาติได้ โดยส่วนเปลือกจะให้สีน้ำเงินเข้ม และส่วนรากจะให้สีเหลือง

4.2.2 ประโยชน์ทางการเกษตร

4.2.2.1 การใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนประกอบต่าง ๆ ของต้นสบู่ดำ สามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยพืชสดได้ การนำพืชสบู่ดำมาผลิตเป็นปุ๋ยพืชสดจะทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ถึงร้อยละ 11 นอกจากนี้กากสบู่ดำที่ผ่านการสกัดน้ำมันจะมีสารประกอบไนโตรเจนสูงเช่นเดียวกับกากกะหล่ำ และมูลไก่ โดยมีไนโตรเจนร้อยละ 3.2-3.8

4.2.2.2 ในบางพื้นที่ของประเทศอินเดียมีการปลูกพืชสมุนไพรได้แก่ *Asgandh* (*Withania somnifera*) แซมระหว่างต้นสบูดำ เนื่องจากสารเคมีจากต้นสบูดำสามารถขับไล่แมลงศัตรูของพืชสมุนไพร *Asgandh* ได้

4.2.2.3 สบูดำสามารถปลูกเป็นแนวรั้วล้อมรอบพื้นที่ปลูกพืช เพื่อป้องกันสัตว์เข้ามาทำความเสียหายแก่พืช นอกจากนี้ในประเทศอินเดียจะปลูกเป็นแนวรั้วในแปลงปลูกผัก เพื่อป้องกันลมในฤดูร้อนที่ทำให้มีการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วในแปลงผัก

4.2.2.4 ปลูกเป็นเสาค้ำของต้นพืชวานิลาในประเทศเทศมาดากัสการ์ของทวีปแอฟริกา

4.2.2.5 ปลูกพืชอื่นแซมในแปลงสบูดำ สารเคมีจากต้นสบูดำจะปลดปล่อยออกมาขับไล่ แมลงศัตรูของพืชนั้น

4.2.2.6 กากสบูดำที่เหลือจากการบีบน้ำมันสบูดำแล้ว มีสารประกอบไนโตรเจนสูง เช่นเดียวกับกากน้ำมันละหุ่ง และมูลไก่ จึงสามารถทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้

4.2.2.7 กากสบูดำสามารถนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ หลังผ่านกระบวนการกำจัดสารพิษด้วยความร้อน ร่วมกับการสกัดด้วยสารเคมี กากสบูดำ (press cake) มีคุณค่าทางอาหารสูง แต่มักประกอบไปด้วยสารพิษหลายชนิดได้แก่ เคอซิน (curcin), ฟอร์บออลิค (phorbolic), เอสเทอร์ (esters), ซาปอนิน (saponin), โปรติเอส (protease), อินฮิบิเตอร์ (inhibitor), และไฟเตเตส (phytates) จึงต้องมีการนำกากสบูดำมาผ่านกระบวนการกำจัดสารพิษก่อนนำไปเลี้ยงสัตว์โดยการใช้ความร้อนร่วมกับการสกัดด้วยสารเคมี หรือการหมักกากสบูดำด้วยเชื้อรา *Rhizopus oryzae*

4.2.2.8 สบูดำสามารถใช้เป็นสารป้องกันกำจัดโรคที่เกิดจากเชื้อราหลายชนิด มีการนำไปใช้เป็นสารป้องกันและกำจัดเชื้อรา (fungicides) พบว่าสารสกัดจากเปลือกของผลสบูดำสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรครากเน่าโคนเน่า และเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุของโรคแอนแทรคโนสในมะม่วง ได้ร้อยละ 100 ซึ่งมีประสิทธิภาพเท่ากับสารเคมีเมทราแลกซิล และโปรคลอราซ ตามลำดับ นอกจากนี้สารสกัดจากสบูดำยังสามารถยับยั้งการสร้าง sporangia zoospore และการงอกของ zoospore ในเชื้อ *P. palmivora* ได้ร้อยละ 91.67, 95.83 และ 100 ตามลำดับ และสามารถยับยั้งการงอกของ conidia ของ *C. gloeosporioides* ได้ร้อยละ 100 สารสกัดจากใบของสบูดำสามารถควบคุมโรคพืชของ *Azolla* ที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Sclerotium* sp. การใช้สารสกัดจากสบูดำที่ความเข้มข้นร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Colletotrichum musae* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคแอนแทรคโนสในกล้วยได้ร้อยละ 100 นอกจากนี้

พวก β -1, 3-glucanase จากเมล็ดสับดูดำสามารถฆ่าเชื้อรา *Rhizoctonia solani* และ *Gibberella zeae* ได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าสารสกัดจากสับดูดำนี้มีศักยภาพในการเป็น biological fungicide

4.2.2.9 สับดูดำใช้เป็นสารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชได้หลากหลาย มีรายงานการใช้สารสกัดจากพืชสับดูดำเพื่อป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืช **ดังตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 การใช้สารสกัดจากพืชสับดูดำเพื่อป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช

ชนิดของแมลงศัตรูพืช	ชนิดของพืช	แหล่งของสารสกัด	เอกสารอ้างอิง
<i>Aphis gossypii</i>	ฝ้าย	เมล็ดน้ำมัน	Solsoloy(1993, 1995)
<i>Pectinophora gossypiella</i>	ฝ้าย	เมล็ดน้ำมัน	Solsoloy(1993)
<i>Empoasea biguttula</i>	ฝ้าย	เมล็ดน้ำมัน	Solsoloy(1995)
<i>Phthorimaca operculella</i>	มันฝรั่ง	เมล็ดน้ำมัน	Shelke et al.,(1985)
<i>Callosobruchus maculatus</i>	ถั่วเขียว	เมล็ดน้ำมัน	Jadhav (1984)
<i>Callosobruchus chinensis</i>	ถั่วเหลือง	เมล็ดน้ำมัน	Solsoloy (1995)
<i>Sitophilus zoamays</i>	ข้าวโพด	เมล็ดน้ำมัน	Solsoloy (1995)
<i>Sesamia calamistis</i>	ข้าวฟ่าง	น้ำมัน และสารพอร์ บอเลเอสเทอร์	Henning (1994)

ที่มา : <http://botaisical.com/site/column-poudhia/4-jatropha.html>.

4.2.3 ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม

4.2.3.1 รากของต้นสับดูดำ เป็นวัตถุดิบในการผลิตสีธรรมชาติได้ โดยให้สีเหลือง และเปลือกของสับดูดำเป็นวัตถุดิบในการผลิตสีธรรมชาติได้โดยให้สีน้ำเงินเข้ม

4.2.3.2 เมล็ดของสับดูดำนำไปสกัดให้เป็นน้ำมันหล่อลื่น ทำสบู่ ทำเทียนไข และกลีเซอรินดิบ

4.2.3.3 แก้วที่ได้จากการเผาไหม้ กิ่งก้านหรือลำต้น ใช้เป็นผงยาสีฟัน แต่ถ้าหากทำการผสมกับพืชสมุนไพรชนิดอื่นด้วย จะเพิ่มประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

4.2.3.4 น้ำยาง (latex) ของสับดูดำ มีคุณสมบัติคล้ายชะแลคใช้เคลือบเงา ทำน้ำมันทาผิว ใช้ทำหมึกพิมพ์

4.2.4 ประโยชน์ทางการนำไปเป็นอาหาร

ประเทศเม็กซิโก จะนำเมล็ดมาคั่ว หรือต้มเพื่อสลายสารพิษ สามารถนำไปรับประทานได้ สำหรับใบอ่อนหรือยอดอ่อนของต้นสบู่ดำเมื่อนำไปนึ่งด้วยไอน้ำร้อน เพื่อทำลายกรดไฮโดรไซยานิก ซึ่งเป็นสารพิษ จึงจะสามารถนำมารับประทานได้อย่างปลอดภัย

4.2.5 ประโยชน์ทางการแพทย์หรือเวชภัณฑ์

4.2.5.1 เปลือกของต้นสบู่ดำมีส่วนประกอบของสารแทนนินประมาณร้อยละ 37 ใช้เป็นยาถ่าย ขับหนองพยาธิ แก้ปวดท้อง น้ำสกัดจากเปลือกสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา บางชนิดได้เทียบเท่ากับสารเคมีที่มีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อรา

4.2.5.2 ใช้เป็นยาถอนพิษแก้ตัวร้อน แก้พิษตานซาง แก้ลิ้นเป็นฝ้า แก้ปาก และลิ้นพุพอง นอกจากนี้ใบยังมีฤทธิ์เป็นยาฆ่าเชื้อ สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียในกลุ่ม *Staphylococcus*, *Bacillus* และ *Micrococcus* ได้ และมีฤทธิ์คงอยู่ได้เกือบ 6 ชั่วโมง

4.2.5.3 ใช้แขนงกิ่งก้านทำเป็นแปรงสีฟัน รักษาผู้ป่วยโรคฟัน โดยเฉพาะที่บริเวณเหงือกเป็นแผล

4.2.5.4 กรณีที่มีเลือดออกจากริดสีดวงทวารหนัก หมอแผนโบราณของอินเดีย แนะนำให้ใช้เถาของสบู่ดำ มาผสมกับเถาจาก *Blumea* ทาเพื่อบรรเทาความเจ็บ ในกรณีของโรคผิวหนัง ใช้ผสมของเถาทั้งสองผสมกับน้ำมันมาสดาแล้วทาผิวหนังใช้ได้ทั้งในคน และสัตว์

4.2.5.5 ใช้เป็นสมุนไพร ใช้รักษาทั้งโรคภายใน และภายนอก เช่น ใช้เป็นยาระบาย หรือยาถ่ายอย่างแรง หรือใช้ทาโรคผิวหนังหรือปวดตามข้อ

4.2.5.6 น้ำยาง (latex) ของสบู่ดำใช้เป็นยารักษาโรคของมนุษย์ สำหรับน้ำยางที่มีความเข้มข้นร้อยละ 100 และร้อยละ 50 สามารถฆ่าหนองพยาธิไส้เดือน และพยาธิปากขอที่อุณหภูมิต่ำได้

4.2.5.6 การนำไปใช้เป็นสารกำจัดหอย (molluscicides) ในประเทศฟิลิปปินส์ใช้สารสกัดจากพืชสบู่ดำกำจัดหอยที่เป็นพาหะของพยาธิในตับ (liver fluke) และในประเทศเซเนกัล สารสกัดจากสบู่ดำสามารถกำจัดหอยที่เป็นพาหะของพยาธิ *Fasciola gigantea* สารสกัดจากเมล็ดสบู่ดำจำพวก phorbol esters สามารถกำจัดหอยซึ่งเป็นพาหะของพยาธิ *Schistosoma*

4.2.6 ประโยชน์ทางด้านพลังงานทดแทน

4.2.6.1 เมื่อนำเมล็ดมาบีบจะให้น้ำมัน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิง ใช้ในการหุงต้ม หรือเป็นเชื้อเพลิงขับเคลื่อนเครื่องยนต์แทนน้ำมันดีเซล เช่น รถไถนา ระเบิดดิน น้ำ รถอีแต่น สามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ และไม่พบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการไหม้

4.2.6.2 นำเมล็ดมาตำให้แตกละเอียด หรือนำเมล็ดมาเลียบด้วยโลหะ สามารถจุดให้แสงสว่างแทนเทียนไข

4.2.6.3 ใช้กากสบู่ดำรวมกับเปลือกผลสบู่ดำ นำไปหมักในสภาพไร้อากาศจะได้เป็นก๊าซมีเทนร้อยละ 70

4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดสบู่ดำ

องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดสบู่ดำ 100 กรัม ประกอบไปด้วย น้ำ 6.6 กรัม โปรตีน 18.2 กรัม ไขมัน 38.0 กรัม คาร์โบไฮเดรต 33.5 กรัม เส้นใย 15.5 กรัม และเถ้า 4.5 กรัม (Duke, 1983) นอกจากนั้นเนื้อในเมล็ดสบู่ดำจะประกอบไปด้วยสารต่าง ๆ ดังนี้ ซัคคาไรส แรฟิโนส สเตอริโอส กลูโคส ฟรุคโตส กาแลคโตส โปรตีน และน้ำมัน (หนังสือพิมพ์กสิกร. ฉบับที่ 5, 2548) ชนิดของกรดไขมันที่พบในเมล็ดสบู่ดำ คือ กรดปาลมิติค (palmitic acid, C16:0) กรดสเตียริก (stearic acid, C18:0) กรดไขมันอิ่มตัว (total saturated fatty acid) กรดโอเลอิก (oleic acid, C18:1) กรดลิโนเลอิก (linoleic acid, C18:2)

4.4 คุณสมบัติของน้ำมันสบู่ดำ

4.4.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำมันสบู่ดำ

น้ำมันสบู่ดำ จะมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองใส และยังคงมีลักษณะใสที่อุณหภูมิห้องและมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ดังนี้

4.4.1.1 ดัชนีหักเห (refractive index) ที่ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.4670

4.4.1.2 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ที่ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.9136

4.4.1.3 ความหนืด (viscosity) ที่ 25 องศาเซลเซียส (gardner) (cp) เท่ากับ 45.68

4.4.2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันสบู่ดำ

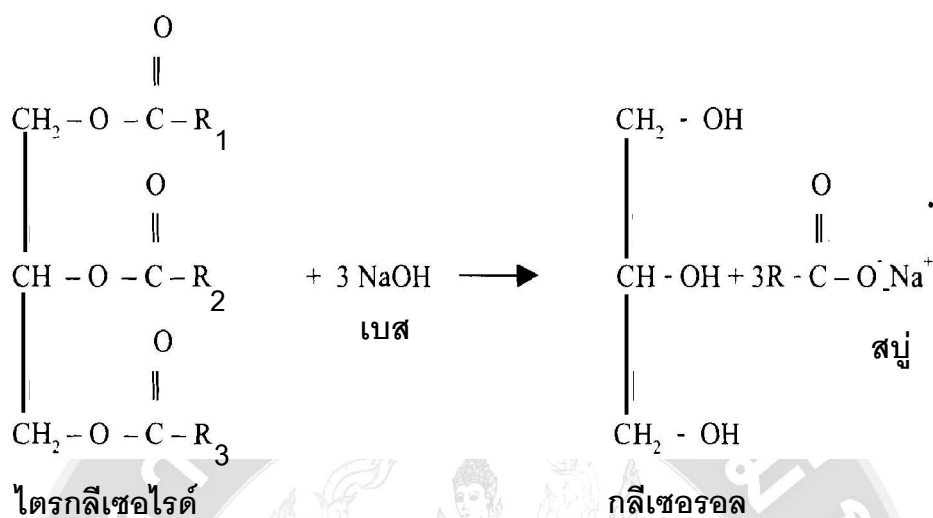
4.4.2.1 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation)

กรดไขมันที่มีพันธะคู่ที่ได้สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศจะถูกออกซิไดซ์บริเวณพันธะคู่ และเกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่จนกระทั่งได้สารประกอบคาร์บอนิลอัลดีไฮด์ และคีโตนซึ่งทำให้ไขมันมีกลิ่นรสที่เปลี่ยนแปลงไป

4.4.2.2 การเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (saponification)

ไขมันทำปฏิกิริยากับเบสแก่ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยการให้ความร้อนแก่ไตรกลีเซอไรด์จะเกิดการสลายโมเลกุลให้ผลิตภัณฑ์เป็นกลีเซอรอล และเกลือของกรดไขมัน ซึ่งก็คือสบู่ นั่นเอง ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของไขมัน **ดังภาพที่ 5** โดยถ้าใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์สบู่ที่เกิดขึ้นจะเป็นของแข็งที่สามารถขึ้นรูปได้ตามต้องการ แต่ถ้าใช้

โพแทสเซียมจะทำให้ได้สบู่ที่มีลักษณะอ่อนตัวกว่าหรือสบู่เหลว น้ำมันที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่งจะสามารถเกิดสบู่ที่อ่อนตัวได้



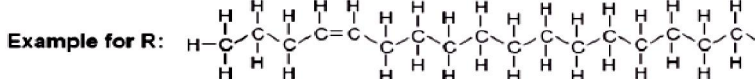
ภาพที่ 5 ปฏิกิริยาสaponification ของไขมัน

ที่มา : <http://images.google.co.th/imgres?imgurl>

4.4.2.3 การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification)

น้ำมันพืชทั่วไปเป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งตามธรรมชาติจะมีความหนืดสูงโดยเป็นผลอันเนื่องมาจากการที่ไตรกลีเซอไรด์มีโมเลกุลมีขนาดใหญ่ แต่สามารถนำมาทำให้มีความหนืดลดลงได้โดยการทำได้มีโมเลกุลมีขนาดเล็กลง โดยใช้กระบวนการที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งจะทำให้น้ำมันมีความหนืดลดลง (กรมทรัพยากรธรณี, 2547)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในเชิงพาณิชย์ เป็นวิธีการเตรียมเอสเทอร์ของกรดไขมันที่นอกเหนือไปจากไตรกลีเซอรอล เป็นวิธีที่เหมาะสม และสะดวกกว่าวิธีการแตกตัวไขมันแล้วนำกรดไขมันที่ได้เป็นเอสเทอร์อีกต่อหนึ่ง ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (อัษฎญา ยอดเรือนวงศ์, 2545) จะเปลี่ยนจากไตรกลีเซอไรด์ (ไตรอัลคิลเอสเทอร์) ไปเป็นไบโอดีเซล (ไดอัลคิลเอสเทอร์) และกลีเซอรอล (Muniyappa, Brammer and Nouredini, 1996) แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไขมัน

ที่มา : <http://images.google.co.th/imgres?imgurl>

เอสเทอร์ของกรดไขมันสามารถเตรียมได้จากแอลกอฮอล์ประเภทโมโนไฮดรอกซีที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น เมทานอล หรือเอทานอล ซึ่งจะทำให้เกิดเมทิลเอสเทอร์ (methyl ester) หรือเอทิลเอสเทอร์ (ethyl ester) ของกรดไขมัน ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันอาจใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่โดยทั่วไปแล้วมักใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น เนื่องจากด่างจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีกว่าในแง่ของความเร็วในการเกิดปฏิกิริยา และให้ผลผลิตของเอสเทอร์ที่สูงกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับน้ำมันหรือไขมันที่ใช้ทำปฏิกิริยาจะเป็นชนิดใดก็ได้แต่ต้องผ่านการทำให้บริสุทธิ์ปราศจากน้ำ และเป็นกลางก่อนทำปฏิกิริยา (นงมล จันทร์ขึ้น และสาวิตรี พงษ์ไพบูลย์, 2546)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขมันหรือน้ำมันที่ใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และแอลกอฮอล์ที่ใช้ควรเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก โดยเฉพาะเมทานอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ง่ายที่สุด สำหรับแอลกอฮอล์ตัวอื่น ๆ ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาได้กับน้ำมันบางชนิดเท่านั้น ข้อสำคัญแอลกอฮอล์ที่จะใช้ในปฏิกิริยาจะต้องมีน้ำปนเปื้อนน้อยที่สุดหรือไม่มีเลยซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี และไม่มีผลเสียต่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส และที่น้ำมันหรือไขมันจะต้องเป็นกลาง ซึ่งถ้าไม่อยู่ในสภาวะดังกล่าวจะทำให้เกิดสบู่จากปฏิกิริยาสaponification ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในรูปของอิมัลชัน (emulsion) ที่จะแยกเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอลทำได้ยากขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ

1.) น้ำหรือความชื้น

การที่ไขมันมีความชื้นหรือน้ำเป็นองค์ประกอบจะทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันหรือน้ำมันมีน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ โดยสบู่ที่เกิดขึ้นจะปนกับเอสเทอร์ และกลีเซอรอลที่ได้ ทำให้สารละลายผสมทั้งสองชนิดมีความหนืดสูงขึ้น ส่งผลทำให้การแยกกลีเซอรอลออกจากเอสเทอร์ทำได้ยากขึ้น วิธีการป้องกัน คือ ควรให้แอลกอฮอล์ ไขมันหรือน้ำมันมีน้ำหรือความชื้นปนเปื้อนน้อยที่สุด หรือไม่มีเลย เพื่อให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

2.) ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีทั้งกรด และเบส แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ คือ เบส เนื่องจากเบสมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้สูง และให้ผลดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในกรณีที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นเบส ควรใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สอดคล้องกับชนิดของแอลกอฮอล์ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดพบว่ามีความเสี่ยงหลายประการ ได้แก่ ภาวะที่จำเป็นต้องมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดสูง อัตราส่วนผสมระหว่างแอลกอฮอล์ต่อไขมันที่ใช้ต้องสูง ใช้อุณหภูมิสูง และใช้เวลานานในการเกิดปฏิกิริยา (อัษฎนา ยอดเรือนวงศ์, 2545)

3.) เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าสูงในระยะแรกของปฏิกิริยา และจะลดลงเมื่อใช้เวลานานขึ้น ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมจึงจำเป็นในการผลิตไบโอดีเซล

4.) อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงทำให้แอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินจุดเดือดของแอลกอฮอล์ จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดต่ำลง เนื่องจากมีการสูญเสียแอลกอฮอล์ในระหว่างที่ทำปฏิกิริยา ถ้าอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาลดต่ำลง จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง อย่างไรก็ตามการศึกษาถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีความสำคัญต่อการผลิตไบโอดีเซลอย่างยิ่ง (อัษฎนา ยอดเรือนวงศ์, 2545)

5.) ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล ที่ได้กล่าวคือ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำและสูงเกินไป จะทำให้ได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต่ำ ดังนั้นปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะมีค่าหนึ่งที่ค่าหนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้ถ้าปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าสูงจนเกินไป จะทำให้ตัวเร่งที่เหลือไปทำปฏิกิริยากับน้ำมัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาสaponificationหรือการเกิดสบู่ ซึ่งส่งผลลบต่อผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล

6.) สัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

สัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันมีผลต่อปริมาณของเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น ตามทฤษฎีแล้วสัดส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันจะเท่ากับ 3 ต่อ 1 ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องให้ปริมาณของแอลกอฮอล์มากกว่าค่าตามทฤษฎีเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ (อัญญา ยอดเรือนวงศ์, 2545)

4.4.3 คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของน้ำมันสบู่ดำ

วัฒนา และคณะ (2526) ได้รายงานผลการวิเคราะห์คุณภาพในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันสบู่ดำดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพที่สำคัญในการเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันสบู่ดำ

ค่าที่วิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์
ค่าความร้อน (calorific value)	9302.12 cal/gm
ค่าดัชนีซีเทนหรืออัตราซีเทน (cetane index or rating)	ประมาณ 36.00
ค่าความถ่วง เอ พี ไจ (API gravity)	22.50
ค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) 60/60 องศาฟาเรนไฮต์	0.92
ปริมาณกำมะถัน (sulfur content) น้ำหนักร้อยละ	0.09
ปริมาณกากคาร์บอน (carbon residue) น้ำหนักร้อยละ	0.35
จุดวาบไฟ (flash point) องศาเซลเซียส	295.00
จุดเทไหล (pour point) องศาฟาเรนไฮต์	30.00
ค่าความหนืด (viscosity) องศาฟาเรนไฮต์ CST	35.40

ที่มา : วัฒนา และคณะ (2526)

นอกจากนั้น ยังได้เปรียบเทียบคุณสมบัติของสบู่ดำกับมาตรฐานดีเซลหมุนเร็วของประเทศไทย และประเทศไทย ตามมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วของประเทศไทย ประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 5 พ.ศ. 2523 ซึ่งจากการวิเคราะห์โดยการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลเปรียบเทียบทางเคมีของน้ำมันสบู่น้ำกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ของประเทศญี่ปุ่น และประเทศไทย

ค่าที่วิเคราะห์	น้ำมัน สบู่น้ำ	มาตรฐาน น้ำมัน ดีเซลหมุนเร็วของ ประเทศญี่ปุ่น	มาตรฐาน น้ำมัน ดีเซลหมุนเร็วของ ประเทศไทย
ความถ่วงจำเพาะ	0.92	0.82 – 0.84	0.82 – 0.90
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	240.00	มากกว่า 50	ไม่ต่ำกว่า 52
คาร์บอนตกค้าง (ร้อยละ)	0.64	น้อยกว่า 0.15	ไม่สูงกว่า 0.05
ค่าซีเทน	51.00	มากกว่า 50.00	ไม่ต่ำกว่า 50.00
จุดกลั่นตัว (องศาเซลเซียส)	295.00	น้อยกว่า 350.00	ไม่สูงกว่า 370.00
ค่าความหนืด (CS)	50.73	มากกว่า 2.70	1.80 – 5.00
ปริมาณซัลเฟอร์ (ร้อยละ)	0.13	น้อยกว่า 1.20	ไม่สูงกว่า 1.00

ที่มา : ระพีพันธุ์ และคณะ (2525)

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันสบู่น้ำกับน้ำมันดีเซล พบว่า ที่ 30 องศาเซลเซียส น้ำมันสบู่น้ำจะมีความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยน้ำมันสบู่น้ำมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนน้ำมันดีเซลเท่ากับ 0.85 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร **ดังตารางที่ 4** ค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันสบู่น้ำเท่ากับ 41 และน้ำมันดีเซลเท่ากับ 53 ซึ่งแสดงว่า น้ำมันสบู่น้ำมีคุณสมบัติในการจุดติดไฟใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากมีความหนาแน่น และการระเหยของน้ำมันใกล้เคียงกัน ผลดังตารางที่ 4 จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความหนืดของน้ำมันสบู่น้ำมีค่าเท่ากับ 35.46 เซนติสโตก แต่น้ำมันดีเซลมีค่าเพียง 3.50 เซนติสโตก ซึ่งน้ำมันสบู่น้ำมีค่าความหนืดที่สูงกว่า น้ำมันดีเซลมาก และมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานกำหนดไว้ต้องไม่เกิน 8 เซนติสโตก เท่านั้น ซึ่งอาจทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์เสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ ผลดังตารางที่ 4 จุดวาบไฟเป็นอุณหภูมิต่ำที่ทำให้ น้ำมันสามารถระเหยกลายเป็นไอ และลุกติดไฟได้เมื่อมีเปลวไฟเข้ามาใกล้ ซึ่งจากการวิเคราะห์ พบว่าน้ำมันสบู่น้ำมีจุดวาบไฟค่อนข้างสูงคือ 270 องศาเซลเซียส ขณะที่น้ำมันดีเซลมี จุดวาบไฟเพียง 65 องศาเซลเซียส นั่นคือ น้ำมันสบู่น้ำจะติดไฟได้ยากกว่าน้ำมันดีเซล และมาตรฐานของ กรมธุรกิจพลังงานจะต้องมีค่าจุดวาบไฟมากกว่า 52 องศาเซลเซียส (วัฒนา และคณะ, 2526)

ผลดังตารางที่ 4 จุดติดไฟเป็นคุณสมบัติที่ทำให้น้ำมันติดไฟได้ จากการวิเคราะห์พบว่าน้ำมันสบู่ดำมีจุดติดไฟค่อนข้างสูงคือที่ 320 องศาเซลเซียส ขณะที่น้ำมันดีเซลมีจุดติดไฟเพียง 74 องศาเซลเซียส ดังนั้น น้ำมันสบู่ดำจะติดไฟยากกว่าน้ำมันดีเซล ผลการสังเคราะห์ จุดติดไฟ ดังตารางที่ 4 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง เป็นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง จากการวิเคราะห์พบว่าน้ำมันสบู่ดำให้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงไม่ต่างจากน้ำมันดีเซลมากนัก โดยน้ำมันสบู่ดำ มีค่าความร้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 40080 กิโลจูลต่อกิโลกรัม น้ำมันดีเซลเท่ากับ 45200 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับร้อยละของคาร์บอน และไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงด้วย ผลที่ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของน้ำมันสบู่ดำ น้ำมันดีเซล และ มาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนช้า

คุณสมบัติ	น้ำมันดีเซล	น้ำมันสบู่ดำ	น้ำมันดีเซลหมุนช้า
1. ความหนาแน่นที่ 30 องศาเซลเซียส (g/cc)	8.85	0.94	-
2. ดัชนีซีเทน	53.00	41.00	>45.00
3. ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (cst)	3.50	35.46	< 8.00
4. จุดวาบไฟ (°C)	65.00	270.00	>52.00
5. จุดติดไฟ (°C)	74.00	320.00	-
6. ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (kJ/kg)	45200.00	40080.00	-

ที่มา : วิชัย และอุดมชัย (2549)

จากการวิเคราะห์พบว่าน้ำมันสบู่ดำให้ปริมาณควันทาไม่ต่างจากน้ำมันดีเซลมากนัก โดยน้ำมันสบู่ดำมีปริมาณควันทาเท่ากับร้อยละ 13 น้ำมันดีเซล เท่ากับร้อยละ 14 ซึ่งร้อยละของปริมาณควันทาของน้ำมันสบู่ดำ และน้ำมันดีเซลดังกล่าวที่ได้นี้ ได้จากการทดสอบกับเครื่องยนต์ มิตรพิชิ รุ่น D 1200 ขนาด 11 แรงม้า

4.5 การสกัดน้ำมันจากพืช

ปัจจุบันกรรมวิธีในการสกัดน้ำมันพืชที่ใช้กันทางอุตสาหกรรม มี 2 วิธี คือ วิธีการบีบอัดโดยใช้วิธีทางกล และวิธีการใช้ตัวทำละลาย

4.5.1 วิธีการสกัดโดยการบีบอัดเชิงกล (mechanical extraction)

เป็นการบีบโดยวิธีธรรมชาติ ใช้กับพืชที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง เครื่องมือที่นิยมใช้ส่วนใหญ่เป็นแบบ hydraulic pressure extractors หรือใช้แบบ screw type expeller เป็นการบีบอัดโดยใช้หลักการเปลี่ยนปริมาตรของวัตถุดิบที่เคลื่อนที่ไปตามร่องเกลียว ซึ่งการสกัดโดยวิธีนี้มีข้อดี และข้อเสียดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีการสกัดแบบการบีบอัดเชิงกล

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ต้นทุนการสกัดต่ำ ใช้เครื่องจักรจำนวนน้อย ใช้เชื้อเพลิงต่ำ	1. ปริมาณน้ำมันติดในกากพืชน้ำมันสูง อาจถึงร้อยละ 10-15
2. กรรมวิธีการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน	2. ปริมาณน้ำมันที่ได้น้อย ไม่สามารถทำการสกัดได้หมด
3. สามารถทำเป็นอุตสาหกรรมภายในครอบครัวได้	3. ไม่สามารถสกัดสิ่งเจือปนภายในวัตถุดิบได้หมด ทำให้คุณภาพ กากต่ำ มีปริมาณโปรตีนต่ำมาก
4. ผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้สามารถนำไปจำหน่ายเป็นอาหารเสริมแก่สัตว์ได้	4. ไม่สามารถควบคุมคุณภาพน้ำมันที่ได้

ที่มา : ระพีพันธุ์ ภาสบุตร. 2544.

4.5.2 วิธีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent extraction)

การสกัดน้ำมันพืชโดยใช้ตัวทำละลาย เป็นกรรมวิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน และจะให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าวิธีการสกัดด้วยแรงบีบอัด ในกรณีของน้ำมันพืชเมื่อสกัดด้วยตัวทำละลายจะให้ผลผลิตร้อยละ 99.0-99.5 แต่การใช้วิธีสกัดด้วยแรงบีบอัดจะให้ผลผลิตประมาณร้อยละ 95 หรือน้อยกว่าตัวทำละลายที่นิยมใช้มาก เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) กับอีเทอร์ (ether) นอกจากนี้ยังใช้อะซิโตน (acetone) เฮกซะน (n-hexane) ซึ่งมีจุดเดือดอยู่ระหว่าง 66-69 องศาเซลเซียส การสกัดด้วยวิธีนี้ใช้ตัวทำละลายพ่นใส่วัตถุดิบที่ถูกลดขนาดเซลล์ลง และทำให้บริสุทธิ์ต่อไป

4.6 ลิพิด

ลิพิดเป็นสารประกอบชีวโมเลกุลชนิดหนึ่งที่พบได้ทั้งในพืช และสัตว์ มีหน้าที่หลักในการเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์หรือเซลล์เมมเบรน โดยรวมอยู่กับโปรตีนเกิดเป็นลิโปโปรตีน และเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูง

ลิพิดเป็นกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ที่มีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดที่ไม่มีขั้วหรือนอนโพลาร์ (nonpolar) เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ เฮกเซน ปิโตรเลียมอีเทอร์ และชนิดที่มีขั้วหรือโพลาร์ (polar) เล็กน้อย เช่น แอลกอฮอล์ และอะซีโตน ยกเว้น กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และสามารถละลายได้ในน้ำ

4.6.1 การจำแนกชนิดของลิพิดตามลักษณะโครงสร้างเคมี

ปัจจุบันมีการจำแนกลิพิดตามลักษณะโครงสร้างทางเคมี ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่

4.6.1.1 ลิพิดเชิงเดี่ยว (simple lipid) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ดังนี้

ก. ไขมัน (fats) เป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่ประกอบด้วยกรดไขมัน 3 โมเลกุล กับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล เรียกว่าไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) หรือไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า ไขมัน หากมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า น้ำมัน (oils) ทั้งไขมัน และน้ำมันมีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) คือ ไม่ชอบน้ำ

ข. ขี้ผึ้ง (waxes) เป็นสารประกอบเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และเป็นแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลเพียงหมู่เดียว (monohydric alcohol)

4.6.1.2 ลิพิดเชิงซ้อน (compound Lipids) เป็นสารประกอบเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ และมีสารประกอบอื่น ๆ รวมตัวอยู่ด้วย ตัวอย่างของลิพิดในกลุ่มนี้ ได้แก่

ก. ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ประกอบด้วยกลุ่มของลิพิดที่เป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอล ซึ่งในโมเลกุลประกอบด้วย กลีเซอรอล กรดไขมัน กรดฟอสฟอริก ต่างที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (nitrogen containing bases) และอาจมีสารประกอบอื่น ๆ อยู่ด้วย ตัวอย่างของฟอสโฟลิพิด เช่น กลีเซอรอเฟอสโฟลิพิด ได้แก่ ฟอสฟาติดีลโคลีน (phosphatidyl choline) ฟอสฟาติดีลเซอรีน (phosphatidyl serine) ฟอสฟาติดีลเอทานอลามีน (phosphatidyl ethanolamine) และฟอสฟาติดีลอินซิทอล (phosphatidyl inositol)

ข. สฟิงโคฟอสโฟลิพิด (sphingophospholipids) เป็นลิพิดที่มีองค์ประกอบของแอลกอฮอล์ในโมเลกุลเป็นชนิดสฟิงโกซีน (sphingosine) ซึ่งในโมเลกุลประกอบด้วยกรดไขมัน

ต่างที่มีในโตรเจน และหมู่ที่เป็นฟอสฟอริก องค์ประกอบตัวอย่าง เช่น สฟิงโกไมอีลิน (sphingomyelins)

ค. ไกลโคลิพิด (glycolipids) หรือเซรีโบรไซด์ (cerebroside) เป็นกลุ่มของลิพิดที่โมเลกุลประกอบด้วย กรดไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ที่มีในโตรเจน แต่ไม่มีกรดฟอสฟอริก เป็นองค์ประกอบ เช่น กาแลคโตเซรีโบรไซด์ และกลูโคเซรีโบรไซด์

ง. ลิพิดเชิงประกอบ (compound lipids) ประเภทอื่น ๆ ได้แก่ ลิโฟโปรตีน ชัลโฟลิพิด และอะมิโนลิพิด เป็นต้น

4.6.1.3 อนุพันธ์ลิพิด (derived lipids) เป็นสารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยาที่มีน้ำเข้าไปทำปฏิกิริยาทำให้สารตั้งต้นหลุดออกในลิพิดสองกลุ่มแรก ได้แก่ กรดไขมัน กลีเซอรอล โมโนเอซิลกลีเซอรอล ไดเอซิลกลีเซอรอล แอลกอฮอล์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลสายยาว สเตียรอยด์ คอเลสเตอรอล วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน แคโรทีนอยด์ ไฮโดรคาร์บอน พอสตาแกลนดิน เทอร์ปีน ควิโนน และคีโตนบอดีส์ (ketone bodies) การจำแนกชนิดและหน้าที่ของลิพิดตามโครงสร้างทางเคมี ดังสรุปไว้ใน **ตารางที่ 5**

4.6.2 การจำแนกชนิดของลิพิดออกตามคุณสมบัติของโมเลกุล

ลิพิดสามารถจำแนกออกตามคุณสมบัติของโมเลกุลซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

4.6.2.1 ลิพิดที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง (neutral lipids) คือ กลุ่มของลิพิดที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง ได้แก่ ไตรเอซิลกลีเซอรอล แวกซ์ แคโรทีนอยด์ คอเลสเตอรอล สเตอรอยด์ และวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน เป็นต้น

4.6.2.2 ลิพิดที่มีคุณสมบัติละลายในตัวทำละลายมีขั้ว และไม่มีขั้ว (amphiphilic lipids) คือกลุ่มของลิพิดที่มีคุณสมบัติในการละลายได้ทั้งในน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ ฟอสโฟลิพิดชนิดต่าง ๆ เช่น เลซิทีน กลีเซโรฟอสโฟลิพิด สฟิงโกฟอสโฟลิพิด สฟิงโกไกลโคลิพิด และสฟิงโกไมอีลิน เนื่องจากลิพิดกลุ่มนี้มีโครงสร้างของโมเลกุลที่เป็นโพลาร์ซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำ และส่วนที่เป็นนอนโพลาร์ซึ่งไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในน้ำมัน และตัวทำละลายอินทรีย์ จึงทำให้โมเลกุลมีสมบัติเป็น bilayers ดังแสดงในภาพที่ 5 ดังนั้นสารประกอบจำพวก ฟอสโฟลิพิด จึงหมุนตัวอยู่บนผิวของสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า หรือบนผิวน้ำ (aqueous surface) หรือแทรกตัวอยู่ระหว่างผิว (interface) ของของเหลว 2 ชนิด ที่ไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (two immiscible layers) สมบัติของฟอสโฟลิพิดเหล่านี้จึงมีความสำคัญต่อการทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์ และการนำไปใช้ประโยชน์เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) หรือช่วยลดแรงตึงผิว (surfactants)

4.6.3 การจำแนกชนิดของลิพิดตามหน้าที่ในสิ่งมีชีวิต (biological function)

ลิพิดชนิดนี้สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

4.6.3.1 ลิพิดที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมอาหาร ลิพิดส่วนใหญ่ที่สะสมอยู่ในร่างกายจะอยู่ในรูปของไตรเอซิลกลีเซอรอล นอกจากนี้ยังพบได้ตามเซลล์เนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั้งของพืช และสัตว์ ซึ่งจะผันแปรไปตามชนิดของกรดไขมันที่ได้รับจากอาหาร

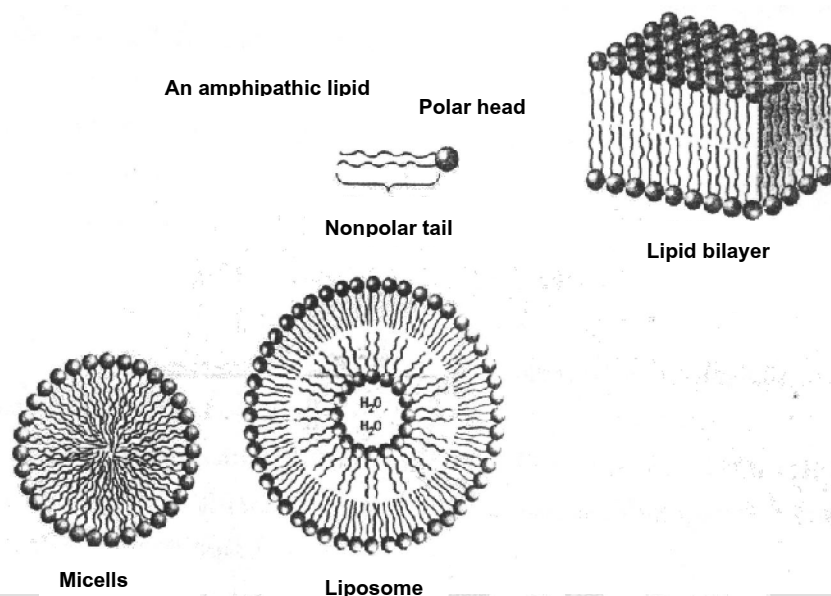
2.6.3.2 ลิพิดที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง ได้แก่ ฟอสโฟลิพิด และคอเลสเตอรอล ซึ่งจะพบเป็นโครงสร้างของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกายที่เป็นเนื้อเยื่ออ่อน และเนื้อเยื่อสมอง ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบจะมีความสำคัญต่อชนิดของเนื้อเยื่อ ซึ่งมีความจำเพาะเจาะจง

ตารางที่ 6 สรุปการจำแนกชนิดของลิพิดตามหน้าที่

ชนิดลิพิด	หน้าที่
กรดไขมัน	ให้พลังงาน และเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของลิพิดชนิดอื่น ๆ
พวอสตาเกลนดิน	เป็นสารตั้งต้นที่จะใช้ในการสร้างเนื้อเยื่อภายในเซลล์ และเยื่อหุ้มเซลล์
ไตรเอซิลกลีเซอรอล	แหล่งสะสมกรดไขมัน และพลังงาน
ฟอสโฟลิพิด	องค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์
สฟิงโกลิพิด	องค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์
คอเลสเตอรอล	องค์ประกอบของโครงสร้างผนังเซลล์ และลิพิดโปรตีนเป็นสารเริ่มต้นในการสังเคราะห์เกลือน้ำดี และสเตอรอยด์ฮอร์โมน
คอเลสเตอรอล เอสเทอร์	เป็นสารตั้งต้นสำคัญในการผลิตฮอร์โมนต่าง ๆ รวมทั้งน้ำดี และวิตามิน
เกลือน้ำดี	ช่วยในการย่อย และดูดซึมลิพิด
สเตอรอยด์ฮอร์โมน	ควบคุมเมแทบอลิซึม และควบคุมการแสดงออกของยีนในเซลล์เป้าหมาย
คีโตนบอดี้ส์	ให้พลังงาน
Eicosanoids	ควบคุมการทำหน้าที่ทางสรีระ (physiological functions)

ที่มา : Cori et al. (1996)

แหล่งของไขมัน และน้ำมันที่ได้มาจากสัตว์มีประมาณร้อยละ 21 ได้แก่ เนย น้ำมันหมู ไข่ขาว และน้ำมันปลา ส่วนที่มาจากพืชมีประมาณร้อยละ 79 ของไขมันทั้งหมด พืชน้ำมันที่สำคัญ ได้แก่ ถั่วเหลือง ฝ้าย ข้าวโพด ปาล์ม ปาล์มเคอร์เนล มะพร้าว มะกอก ทานตะวัน ถั่วลิสง เรพซีด และลินสีด เป็นต้น

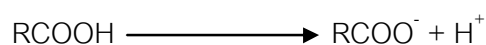


ภาพที่ 7 ลักษณะโครงสร้างของผนังเซลล์ที่มีลิพิดเป็นองค์ประกอบเป็นเนื้อเยื่อสองชั้น (bilayers)

ที่มา : Steve Ritter (2007)

4.7 กรดไขมัน (fatty acids)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์โครงสร้างแบบสายตรงที่มีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ (straight chain aliphatic monocarboxylic acid) มีสูตรโมเลกุลเป็น R-COOH โดย R- คือหมู่แอลคิล (alkyl) ในโมเลกุลของกรดไขมัน และหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก จึงทำให้กรดไขมันสามารถแตกตัวออกได้เป็นประจุลบ (anionic carboxylate) และหมู่ R- มีสมบัติเป็น hydrophobic alkyl chain ซึ่งชอบที่จะละลายในน้ำมัน และตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดที่ไม่มีโพลาร์ จึงทำให้โมเลกุลของกรดไขมันมีทั้งส่วนที่ละลายได้ในน้ำ และน้ำมัน อย่างไรก็ตามจะไม่พบโมเลกุลของกรดไขมันอิสระที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของเซลล์เมมเบรน



ในธรรมชาติพบกรดไขมันเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่อยู่ในไขมัน น้ำมัน และฟอสโฟกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งส่วนใหญ่มักพบในรูปของกรดไขมันอิสระน้อยมาก

การสังเคราะห์กรดไขมันในร่างกายมีสารเริ่มต้นเป็นหมู่อะซิติล ซึ่งมีคาร์บอนในโมเลกุลจำนวน 2 อะตอม มาต่อกันเป็นคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมัน ซึ่งมีทั้งที่เป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด เรียกว่า กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acids) ส่วนกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 พันธะ หรือมากกว่าจะเรียกว่า กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids)

4.7.1 ประเภทของกรดไขมัน

4.7.1.1 การแบ่งประเภทของกรดไขมันตามจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล

ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1.) กรดไขมันชนิดสายสั้น หรือกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนน้อย (short-chain or low molecular weight fatty acids) คือ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 4 - 10 อะตอม กรดไขมันกลุ่มนี้จะสามารถละลายน้ำได้บ้าง ระเหยได้ และเป็นสารที่ให้กลิ่น

2.) กรดไขมันชนิดสายยาวปานกลาง (medium chain fatty acids) กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 12 - 14 อะตอม

3.) กรดไขมันชนิดสายยาว (long chain fatty acids) กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลมากกว่า 16 อะตอมขึ้นไป กรดไขมันกลุ่มนี้ไม่มีกลิ่น และรสชาติ

ไขมันและน้ำมันจะมีความแตกต่างกันที่ชนิด และปริมาณของกรดไขมัน ที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ประกอบกันเป็นไขมัน และน้ำมัน กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลของน้ำมัน มักจะเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ จำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมันส่วนใหญ่มักจะเป็นเลขคู่เสมอและเป็นสายตรงแต่มีกรดไขมันบางชนิดเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่ หรือในโมเลกุลมีสายแขนง (branched chain acids) หรือเป็นกรดไฮดรอกซี (hydroxyl acids) ซึ่งสามารถพบในน้ำมันตามธรรมชาติ และในน้ำมันที่ผ่านกระบวนการแปรรูป (processed fats) และไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ผ่านกระบวนการยังสามารถเกิดพวกไอโซเมอร์ (isomeric fatty acids) ได้ด้วย

4.7.1.2 การแบ่งประเภทของกรดไขมันตามคุณสมบัติของความอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว

1.) กรดไขมันชนิดอิ่มตัว กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีสูตรทั่ว ๆ ไปเป็น $C_nH_{2n}O_2$ เป็นกรดไขมันที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่สามารถจับกับไฮโดรเจนอะตอมได้อีก กรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุด คือ กรดบิวทีริก (คาร์บอน 4 อะตอม) เป็นกรดไขมันที่สามารถละลายได้ดีในน้ำ และระเหยได้ง่าย กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน ตั้งแต่ 6 - 10 อะตอม จะสามารถละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย และยังสามารถระเหยได้

สำหรับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอม ขึ้นไปจะไม่สามารถละลายน้ำได้ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลต่ำกว่า 10 อะตอม จะมีสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 อะตอมขึ้นไปจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง

2.) กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่อยู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลบางตำแหน่ง และมีการจัดเรียงตัวเป็นรูปบิดโค้ง (cis-configuration) การที่กรดไขมันมีพันธะคู่ในโมเลกุลทำให้สามารถเติมไฮโดรเจนอะตอมเข้าไปในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้อีก

4.7.2 สมบัติทางกายภาพของไขมัน และน้ำมัน

4.7.2.1 จุดหลอมเหลว (melting point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวทั้งหมด ไขมันส่วนใหญ่มีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิ อาจมีช่วงกว้างหรือแคบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นองค์ประกอบของไขมัน เช่น ไขมันที่ประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิดเดียวกันทั้งหมดจะมีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน จุดหลอมเหลวของไขมัน และน้ำมันจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุล จุดหลอมเหลวของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 7

กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลน้อยกว่า 10 อะตอม จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเมื่อมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเพิ่มขึ้นจะมีความเป็นของแข็งมากขึ้น ดังนั้นจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่ม และจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นจุดหลอมเหลวของไตรเอซิลกลีเซอรอลบางชนิดดังแสดงในตารางที่ 7 และจากตารางดังกล่าวพบว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีกรดไขมันชนิดเดียวกันเป็นองค์ประกอบ แต่มีการจัดเรียงตัวในตำแหน่งที่ต่างกัน จะมีผลทำให้จุดหลอมเหลวแตกต่างกันด้วย

การนำเอาไขมันหรือกรดไขมันมาทำให้ร้อนโดยการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้า ๆ ไขมันจะค่อย ๆ หลอมตัวกลายเป็นของเหลว เมื่อทำให้เย็นตัวลงไขมันจะกลับเป็นของแข็งตามเดิม และถ้าทำให้เกิดการหลอมเหลวใหม่อีกครั้งหนึ่ง อุณหภูมิที่ทำให้หลอมเหลวจะสูงขึ้นเล็กน้อย แต่ถ้าทำให้ไขมันเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วแล้วนำไปหลอมเหลวใหม่ ไขมันจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าครั้งแรก

ตารางที่ 7 จุดหลอมเหลว ของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ

ชนิดของกรดไขมัน ชนิดอิ่มตัว	จำนวนอะตอมของ คาร์บอนต่อพันธะคู่	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
กรดบิวทีริก	4 : 0	-7.90
กรดคาโปรอิก	6 : 0	-3.40
กรดคาไพริก	8 : 0	16.70
กรดคาพริก	10 : 0	31.30 - 31.60
กรดลอริก	12 : 0	44.00 - 44.20
กรดไมริสติก	14 : 0	53.90 - 54.40
กรดปาล์มติก	16 : 0	62.70 - 63.10
กรดสเตียริก	18 : 0	69.60
กรดอะราคิติก	20 : 0	75.40 - 76.50
กรดลิโนซีริก	24 : 0	84.20 - 86.00
กรดซีโรติก	26 : 0	87.70 - 88.50
กรดวาเลอริก	5 : 0	-34.50
กรดอีแวนโทอิก	7 : 0	-7.50
กรดฟีลาร์โกนิก	9 : 0	-12.40
กรดปาล์มิโตเลอิก	16 : 1 (9)	0 - 0.50
กรดโอเลอิก	18 : 1 (9)	10.50 - 16.00
กรดลิโนเลอิก	18 : 2 (9, 12)	-5.00
แอลฟา-กรดลิโนเลนิก	18 : 3 (9, 12, 15)	-11.00
กรดอะราคิโนนิก	18 : 4 (5, 8, 11, 14)	-49.50

ที่มา : Hadziyev (1987)

ตารางที่ 8 จุดหลอมเหลวของไตรเอซิลกลีเซอรอลบางชนิด

ไตรเอซิลกลีเซอรอล	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)
กรดไขมันอิ่มตัว	
ไตรสเตียริน (S-S-S)	73
ไตรปาล์มิติน (P-P-P)	66
สเตียโรไดปาล์มิติน (S-P-P)	62
ปาล์มิโตโอเลโอปาล์มิติน (P-O-P)	37
ปาล์มิโตโอเลโอสเตียริน (P-O-S)	37
โอเลโอไดปาล์มิติน (O-P-P)	34
สเตียโรโอเลโอปาล์มิติน (S-O-P)	43
สเตียโรโอเลโอสเตียริน (S-O-S)	43
สเตียโรปาล์มิโคโอเลอิน (S-P-O)	39
ปาล์มิโตสเตียโรโอเลอิน (P-S-O)	36
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	
ไดโอเลโอปาล์มิติน (O-O-P)	5
ไดโอเลโอสเตียริน (O-O-S)	-13
ไตรโอเลอิน (O-O-O)	5
ไตรลิโนเลอิน (L-L-L)	-13

S = กรดสเตียริก, P = กรดปาล์มิติก, O = กรดโอเลอิก, L = กรดลิโนเลอิก

ที่มา : Stauffer et al. (2007)

4.7.2.2 การจัดเรียงตัวรูปผลึก (crystalline arrangements) ไขมันจะแตกต่างจากน้ำมันซึ่งไขมันเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องโดยที่น้ำมันเป็นของเหลว ไขมันมีลักษณะการจัดเรียงตัวเป็นรูปผลึกได้หลายรูปแบบ (polymorphism) และแต่ละรูปแบบจะมีจุดหลอมเหลวเฉพาะ

4.7.2.3 จุดแข็งตัว (solidifying point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นของแข็ง อุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มเกิดการแข็งตัวเป็นของแข็ง (solidification) และเรียกจุดนี้ว่า จุดแข็งตัว (solidifying point) อุณหภูมินี้มักจะต่ำกว่าจุดหลอมเหลว 2 - 3 องศาเซลเซียส ไขมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลหลาย ๆ ชนิดแตกต่างกันจะมีผลทำให้จุดแข็งตัวเป็นช่วงกว้าง

4.7.2.4 การละลาย (solubility) ไชมัน และน้ำมันทุกชนิดจะไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ ได้แก่ ปิโตรเลียมอีเทอร์ เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน เอทิลแอลกอฮอล์ อะซีโตน คาร์บอนไดซัลไฟด์ ไฮโคลเฮกเซน และคาร์บอน เตตระคลอไรด์ พวกที่มีส่วนของไตรเอซิลกลีเซอรอลอย่างไม่สมมาตรกันจะสามารถละลายได้ดีกว่าพวกที่มีส่วนของไตรเอซิลกลีเซอรอลอย่างสมมาตรกัน

4.7.2.5 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ความถ่วงจำเพาะของไชมันหรือน้ำมันนิยมนิยามวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ยกเว้นกรณีที่ไชมันเป็นของแข็ง และมีจุดหลอมเหลวสูง อาจวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ไชมันหรือน้ำมันที่มีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไชมันเพิ่มขึ้น หรือมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของไชมัน และน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย ไชมันที่อยู่ในสภาพของแข็งจะมีค่าความหนาแน่น หรือค่าความถ่วงจำเพาะแตกต่างไปจากเมื่อได้รับความร้อนแล้วหลอมตัวกลายเป็นของเหลว เพราะขณะที่เป็นของเหลวจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นความถ่วงจำเพาะของไชมัน และน้ำมันชนิดต่าง ๆ

4.7.2.6 การหักเหของแสง (refractive index) เป็นการวัดองศาการหักเหของลำแสงที่เกิดขึ้นเมื่อให้แสงผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง เช่น การหักเหของแสงจากอากาศผ่านทะเลดูตัวอย่างน้ำมัน จะเกิดการหักเหของแสงที่วัดเป็นองศาได้ ค่าการหักเหของแสงมีประโยชน์ในการชี้บ่ง และตรวจสอบชนิด คุณภาพ และความบริสุทธิ์ของไชมัน และน้ำมันได้ การวัดค่าการหักเหของแสงนิยมนิยามวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าไชมันมีจุดหลอมเหลวสูงจะวัดที่อุณหภูมิ 40 หรือ 60 องศาเซลเซียส ค่าการหักเหของแสงในไชมัน และน้ำมันชนิดต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไชมัน จำนวนพันธะคู่ และชนิดของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่เป็นองค์ประกอบ ไชมันหรือน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไชมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเพิ่มขึ้น หรือมีจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้น จะมีค่าการหักเหของแสงเพิ่มขึ้น ค่าไอโอดีนของน้ำมันที่เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของพันธะคู่ จะมีความสัมพันธ์กับค่าการหักเหของแสงด้วย และถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการหักเหของแสงลดลง

4.7.2.7 ความหนืด (viscosity) ปัจจัยด้านความหนืดของไชมัน และน้ำมันนั้น เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการออกแบบระบบการขนถ่ายไชมัน และน้ำมัน ความหนืดของไชมัน และน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไชมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น และนอกจากนั้นความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไชมันเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของไชมัน และน้ำมันเพิ่มขึ้นค่าความหนืดของน้ำมัน แต่ละชนิดค่าความหนืดดังแสดงใน **ตารางที่ 9**

4.7.2.8 ค่า Smoke point, Flash point และ Fire point ค่า Smoke point เป็นอุณหภูมิที่ไขมัน หรือน้ำมัน ได้รับความร้อนจนเกิดเป็นควันขึ้น สำหรับ Flash point คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันกลายเป็นไอแล้วรวมตัวกับอากาศแล้วเกิดการติดไฟขึ้น และ Fire point คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันเกิดการเผาไหม้

ตารางที่ 9 ความหนืดของไขมันและน้ำมันบางชนิด

ชนิดของไขมัน และน้ำมัน	ความหนืด (เซนติพอยส์,cP)		ที่อุณหภูมิต่างๆ (องศาเซลเซียส)	
	80	50	99	100
น้ำมันหมู	44	25	9	-
ไขวัว	-	34	-	10
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	36	-	8	-
น้ำมันถั่วเหลือง	29	8	-	-
น้ำมันมะพร้าว	30	6	-	-
น้ำมันเมล็ดดอก	33	8	-	-

ที่มา : Fennema และ Kester (1985)

Smoke point เป็นสมบัติที่สำคัญของไขมันและน้ำมันในการใช้ทอดอาหาร ไขมัน หรือน้ำมันสำหรับใช้ทอดอาหารที่ดีจะต้องทนความร้อน ไม่สลายตัวเป็นควันที่อุณหภูมิ ต่ำ เพราะถ้าเกิดควันในขณะทอดจะทำให้อาหารมีกลิ่นควันติดไปด้วย จุดที่เกิดควันของไขมัน และน้ำมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันขณะที่ใช้ทอด ผิวหน้าของไขมันหรือน้ำมันที่สัมผัสกับอากาศขณะทอด และเศษผง หรือสารอื่น ๆ ที่ปนอยู่ใน ไขมันหรือน้ำมันที่ใช้ทอด

4.7.2.9 สี (colour) สีของน้ำมันเป็นตัวชี้บ่งคุณภาพของน้ำมันได้ น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสารสีที่ปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาสกัดน้ำมันและวิธีการกำจัด สีโดยการฟอกสีน้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม

4.7.2.10 Solid fat index เป็นการวัดร้อยละของไขมันหรือน้ำมันที่เปลี่ยนสถานะ เป็นของแข็งหรืออยู่ในสภาพแข็งตัวเป็นผลึกที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ซึ่งการเกิดผลึกวัดได้จากปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปวิธีการวัดดังกล่าวเรียกว่า dilatometry

4.8 สมบัติทางเคมีของไขมัน

เนื่องจากไขมันแต่ละชนิดมีองค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลแตกต่างกัน ส่งผล ทำให้มีสมบัติทางเคมีและการเกิดปฏิกิริยากับสารชนิดต่างๆ แตกต่างกัน สมบัติทางเคมีที่สำคัญของไขมัน ได้แก่

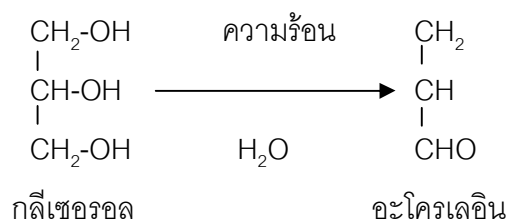
4.8.1 ไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ไขมันบางชนิดจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วย กรด ต่าง และ เอนไซม์ การไฮโดรไลซ์ไขมันด้วยด่าง เรียกว่าสaponification (saponification) ซึ่งจะได้เกลือของ กรดไขมันที่เรียกว่า สบู่ สำหรับไขมันที่ถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยด่าง เรียกว่า Saponifiable matter เช่น ไตรเอซิลกลีเซอรอล ฟอสโฟลิปิด และแว็กซ์ ส่วนไขมันที่ไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยด่าง เรียกว่า Unsaponifiable matter หรือ Non-saponifiable matter เช่น ไฮโดรคาร์บอน และ สเตอรอล ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสของไขมันชนิดต่าง ๆ ด้วยด่างสามารถสรุปได้ดังนี้

ไขมัน	ด่าง	สบู่ + กลีเซอรอล
แว็กซ์	ด่าง	สบู่ + แอลกอฮอล์
ฟอสโฟลิปิด	ด่าง	สบู่ + กลีเซอรอล + เอมีน + ฟอสเฟต
สเตอรอยด์	ด่าง	ไม่มีปฏิกิริยาเกิดขึ้น
ไฮโดรคาร์บอน	ด่าง	ไม่มีปฏิกิริยาเกิดขึ้น
สารสี	ด่าง	ไม่มีปฏิกิริยาเกิดขึ้น

ด่างที่นิยมใช้ เช่น โซเดียมหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สบู่ที่เกิดขึ้นจะสามารถละลายได้ในน้ำ ถ้าเป็นเกลือของแคลเซียม แมกนีเซียม หรือแบเรียมจะไม่ละลายน้ำ

Unsaponifiable matter หมายถึง สารที่ปนอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน ซึ่งจะเหลืออยู่ภายหลังการเกิดปฏิกิริยาสaponification ได้แก่ สารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน คีโตน แอลกอฮอล์ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสเตอรอล (คอเลสเตอรอล และไฟโตสเตอรอล เป็นต้น) โดยปกติไขมันหรือน้ำมันจะมี unsaponifiable matter ปนอยู่ไม่เกินร้อยละ 2 และปริมาณ unsaponifiable matter ที่มีอยู่ในไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ **ดังแสดงในตารางที่ 9**

ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิส อาจเกิดขึ้นจากการที่ไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนสูง เช่น ในขณะการทอดอาหารที่มีปริมาณน้ำมาก ไขมัน หรือน้ำมันจะถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น กลีเซอรอลจะสลายตัวได้สารพวกอะโครเลอิน ซึ่งสารดังกล่าวระเหยกกลายเป็นควันและมีกลิ่นเหม็นคล้ายคาวปลา



ในไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์แต่ละชนิด มักจะมีไตรเอซิลกลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบในปริมาณที่ค่อนข้างแน่นอน ดังนั้นปริมาณต่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันหรือน้ำมัน จะมีค่าแน่นอนและเป็นค่าเฉพาะ ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้สมบัติเฉพาะของไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดได้ เรียกว่า ค่าสปอนนิฟิเคชัน (saponification number, S.N. หรือ saponification value, S.V.)

ค่าสปอนนิฟิเคชัน หมายถึงปริมาณ (มิลลิกรัม) ของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมัน จำนวน 1 กรัม เกิดเป็นสบู่และกลีเซอรอลได้อย่างสมบูรณ์

ค่าสปอนนิฟิเคชันใช้เป็นตัวบ่งขนาดของโมเลกุล หรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันหรือน้ำมันนั้น ๆ ไขมันหรือน้ำมันที่มีค่าสปอนนิฟิเคชันสูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก จึงต้องใช้ต่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส ในทำนองเดียวกัน ถ้าค่าสปอนนิฟิเคชันต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีน้ำหนักโมเลกุลสูง จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลต่อหน่วยน้ำหนักน้อย ทำให้ใช้ต่างในการไฮโดรไลซิสในปริมาณที่ต่ำค่าสปอนนิฟิเคชันของไขมันและน้ำมันชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สมบัติทางเคมีของไขมันและน้ำมันชนิดต่าง ๆ

ชนิดของไขมัน หรือน้ำมัน	U.M. (%)	S.N. (mg KOH/g)	I.N.	R.M.N.	P.N.
เนย	0.3 - 0.5	210 - 233	26 - 42	26 - 34	1.5 - 3.5
น้ำมันหมู	0.2 - 0.4	190 - 202	53 - 77	0.2 - 0.6	0.1 - 0.6
ไข่แกะ	0.2 - 0.3	192 - 198	35 - 46	0.3	-
โคคาบัตเตอร์	0.3 - 0.8	192 - 200	32 - 40	0.3 - 1.0	0.5
น้ำมันมะพร้าว	0.2 - 0.5	248 - 265	6 - 11	6 - 8	12 - 18
น้ำมันปาล์ม	0.2 - 0.8	190 - 209	50 - 55	0.5	0.2 - 0.3
น้ำมันข้าวโพด	1.3 - 2.0	187 - 195	107 - 128	0.3 - 0.5	-
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	0.6 - 1.5	189 - 198	100 - 115	0.7 - 0.9	-
น้ำมันลินสีด	0.5 - 1.6	188 - 196	170 - 204	-	-
น้ำมันมะกอก	0.5 - 1.7	184 - 196	75 - 94	0.3 - 0.8	-
น้ำมันถั่วลิสง	0.5 - 0.9	187 - 196	86 - 107	0.5	0.1 - 0.3
น้ำมันเรพซีด	0.5 - 1.5	168 - 181	97 - 108	0.8	-
น้ำมันงา	0.8 - 1.8	188 - 195	103 - 116	1.0 - 2.8	-
น้ำมันถั่วเหลือง	0.7 - 1.5	189 - 195	124 - 139	0.4 - 0.7	0.2 - 0.6

ที่มา : Aurand และ Wood (1997)

หมายเหตุ

U.M. คือ Unsaponifiable Matter หรือ สารที่ปนอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน

S.N. คือ Saponification Number หรือ ค่าสaponification

I.N. คือ Iodine Number หรือ ค่าไอโอดีน

R.M.N. คือ Reichert Meissl Number

P.N. คือ Polenske Number

สำหรับการไฮโดรไลซิสไขมันหรือน้ำมันด้วยกรดและเอนไซม์ จะได้กรดไขมันและกลีเซอรอล ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่า ลิพโกลิซิส (lipolysis) แล้วสามารถทำให้เกิดการหืนแบบไฮโดรไลติก (hydrolytic rancidity)

4.8.2 ฮาโลจิเนชัน (halogenation) เป็นปฏิกริยาการเติมสารพวกฮาโลเจน เข้าไปบริเวณตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิล

กลีเซอรอล ฮาโลเจนที่นิยมใช้เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว คือ ไอโอดีน ค่าที่ได้เรียกว่าค่าไอโอดีน (Iodine Number; I.N. หรือ Iodine Value; I.V.)

ค่าไอโอดีน คือ ปริมาณของไอโอดีน (กรัม) ที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันปริมาณ 100 กรัม

ค่าไอโอดีนเป็นตัวบ่งชี้ว่าไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าไอโอดีนสูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากและจะเกิดการหืนแบบออกซิเดทีฟ (oxidative rancidity) ได้ง่าย น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนสูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่เป็นปริมาณมาก นอกจากนี้ยังเป็นตัวบ่งชี้คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันพืชด้วย น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนสูงจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวมาก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย

การหาค่าไอโอดีน ปัจจุบันมี 2 วิธี คือ ใช้ Wijs solution ซึ่งเป็นสารละลายไอโอดีนคลอไรด์ในกรดแอซติกและมีไอโอดีนโมโนคลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนอีกวิธีการหนึ่งจะใช้ Hanus reagent ซึ่งเป็นสารละลายไอโอดีนในกรดแอซติก และมีไอโอดีนโมโนโบรไมด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การทำปฏิกิริยาต้องเติมสารละลายไอโอดีนให้มากเกินไป เพื่อปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์ ปริมาณไอโอดีนที่เหลือจะสามารถหาได้โดยการไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตโดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์

น้ำมันที่มีค่าไอโอดีนต่ำกว่า 100 จัดว่าเป็นน้ำมันไม่ชักแห้ง (non-drying oil) น้ำมันที่มีค่าไอโอดีนระหว่าง 100 -130 จัดว่าเป็นน้ำมันกึ่งชักแห้ง (semi-drying oil) และน้ำมันที่มีค่าไอโอดีนสูงกว่า 130 จัดว่าเป็นน้ำมันชักแห้ง (drying oil) หรือเป็นน้ำมันที่แห้งเร็ว จึงนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมสีทาผนัง หรือผสมในน้ำมันเคลือบผิวชนิดต่าง ๆ ค่าไอโอดีนของไขมันและน้ำมัน แสดงในตารางที่ 9

4.8.3 ไฮโดรจิเนชัน (hydrogenation) เป็นปฏิกิริยาที่มีการเติมไฮโดรเจนเข้าไปที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันและน้ำมัน โดยใช้นิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อาจเรียกปฏิกิริยานี้ว่าฮาร์เดนนิ่ง (hardening) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในการผลิตเนยเทียมและเนยขาว การทำไฮโดรจิเนชันจะให้น้ำมันซึ่งเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง ลักษณะความแข็ง หรืออ่อนของไขมันที่ได้ขึ้นอยู่กับระดับของการเกิดไฮโดรจิเนชัน (degree of hydrogenation) เช่น การทำเนยเทียม ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) ของเนยที่ได้ต้องสามารถแผ่ออก (spread) ได้เป็นต้น

4.8.4 การหืน (rancidity) การหืนเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมันทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติ และส่งผลให้สมบัติทางเคมี และทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไป การหืนสามารถเกิดขึ้นได้ 3 แบบ ดังนี้

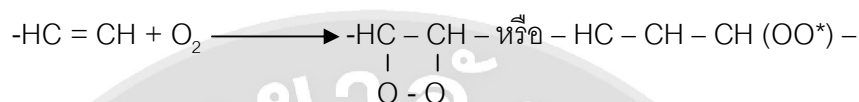
4.8.4.1 ลิพโไลซิส (lipolysis) เป็นปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นเมื่อพันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลเกิดการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ไลเปส ความร้อน กรด ต่าง หรือปฏิกิริยาทางเคมีใดๆ ก็ตาม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ลิพโไลซิส ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาลิพโไลซิสของไขมันนมซึ่งมักจะเกิดขึ้นกับน้ำมันดิบที่มีเอนไซม์ไลเปส ทำให้มีผลต่อกลิ่นของน้ำมันและผลิตภัณฑ์นม กรดไขมันที่มีผลทำให้เกิดกลิ่นในไขมันนม คือ กรดบิวทีริก กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 4 - 12 อะตอม เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ง่าย จึงทำให้เกิดกลิ่นหืน หรือมีผลต่อคุณภาพของไขมันหรือน้ำมันที่นำไปใช้ในการปรุงอาหาร หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารด้วย ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาลิพโไลซิสยังส่งผลทำให้เกิดควั่นของน้ำมันลดต่ำลง น้ำมันจะเกิดควั่นได้ง่ายขณะทอดอาหาร

การหืนแบบไฮโดรไลติก (hydrolytic rancidity) เป็นการหืนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสไขมัน และน้ำมันโดยเอนไซม์ไลเปสและความชื้น สาเหตุเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ และจุลินทรีย์หลังเอนไซม์ไลเปสออกมา ทำให้ไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันและน้ำมันเกิดการสลายตัวได้เป็นไดเอซิลกลีเซอรอล โมโนเอซิลกลีเซอรอล กลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ โดยเฉพาะกรดไขมันอิสระที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีจำนวนคาร์บอน 4 - 12 อะตอม จะมีกลิ่นหืนมาก เช่น การหืนของน้ำมันมะพร้าว เนย และน้ำมันหมู เป็นต้น เมื่อเกิดการหืนจะทำให้ไขมันและน้ำมันมีกลิ่น และรสชาติเปลี่ยนไป

อย่างไรก็ตาม ไขมันและน้ำมันบางชนิดเมื่อเกิดการหืนแบบไฮโดรไลติกแล้วจะไม่สามารถสังเกตได้ด้วยการดมกลิ่น หรือชิมรส ต้องตรวจวิเคราะห์โดยวิธีทางเคมี คือ วิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ค่าที่ได้เรียกว่าค่าความเป็นกรด (acid value: A.V.)

ค่าความเป็นกรดของไขมัน และน้ำมัน คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิกรัม) ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมันจำนวน 1 กรัมเป็นกลางพอดี ซึ่งนิยมเทียบเป็นร้อยละของกรดโอเลอิก ดังนั้นจึงใช้ค่าความเป็นกรดบ่งชี้ภาวะหรือระดับการหืนของไขมันและน้ำมัน ถ้าค่าความเป็นกรดสูง จะบ่งชี้ว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันอิสระมาก แสดงว่าเกิดการหืนเนื่องจากการหืนแบบไฮโดรไลติกมาก วิธีชะลอการเกิดไฮโดรไลซิสของไขมัน และน้ำมันทำได้โดยเก็บรักษาไขมัน และน้ำมันไว้ในที่อุณหภูมิต่ำหรือในตู้เย็น ทำให้ปราศจากน้ำ และจุลินทรีย์

4.8.4.2 การหืนแบบออกซิเดทีฟ (oxidative rancidity) เป็นการหืนที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (auto - oxidation) ที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ เกิดพันธะเพอร์ออกไซด์ (peroxide linkage) ขึ้นที่หมู่แอลฟาเมทิลีน (α - methylene) ปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลา เมื่อไขมัน และน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนใน โลหะทองแดง และตะกั่วจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนั้นความร้อน และแสงก็มีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยปฏิกิริยาการเกิดพันธะเพอร์-ออกไซด์ ดังสมการ



การเกิดการหืนโดยวิธีออกซิเดชันจะทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันลดลงด้วย และยังทำลายพาวิตามินต่าง ๆ ที่ละลายได้ในไขมัน และน้ำมันอีกด้วย การหืนโดยวิธีดังกล่าวนี้ยังอาจเกิดขึ้นได้โดยมีเอนไซม์ไลพอกซิเดสช่วยเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะเป็นการออกซิเดชันที่เร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์ (enzymatic oxidation)

ไขมัน และน้ำมันที่เกิดการหืนแบบไฮโดรไลติก (oxidative rancidity) จะมีค่าไอโอดีนลดต่ำลง การตรวจวิเคราะห์ว่า ไขมัน และน้ำมันเกิด การหืนแบบไฮโดรไลติก มากน้อยเท่าใดทำได้โดยการหาค่าเพอร์ออกไซด์ (peroxide value: P.V) คือ การหาปริมาณสารเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในน้ำมันหรือไขมันนั้น

ค่าเพอร์ออกไซด์ หมายถึง ปริมาณของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.002 นอร์มัล (มิลลิลิตร) ที่ใช้ในการไตเตรตน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัม หรืออาจหมายถึง จำนวนมิลลิสมมูลของเพอร์ออกไซด์ ออกซิเจน (peroxide oxygen) ที่มีในน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม ถ้าค่าเพอร์ออกไซด์สูงแสดงว่าน้ำมันหรือไขมันเกิดการหืนแบบไฮโดรไลติกมาก และค่า ไอโอดีนที่วิเคราะห์ได้จะเป็นค่าที่ต่ำกว่าความเป็นจริง

การเกิดการหืนแบบออกซิเดทีฟ (oxidative rancidity) ยังทดสอบได้โดยใช้ปฏิกิริยาของคริส (Kreis reaction) ไขมัน หรือน้ำมันที่ถูกออกซิไดส์จะทำปฏิกิริยากับฟลอโรกลูซินอล (phloroglucinol) ในสารละลายที่เป็นกรดจะทำให้เกิดสีแดง

4.8.4.3 การหืนแบบคีโตนิก (ketonic rancidity) เป็นการเกิดปฏิกิริยาแบบที่มีการใช้เอนไซม์ที่โมเลกุลของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ได้เป็นสารประกอบจำพวกคีโตน ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

4.8.5 Reichert Meissl Number (R.M.N.) เป็นการวัดปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้และละลายได้ในน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 4 - 6 อะตอม เช่น กรดบิวทิริก และกรดโพรอิก เป็นต้น

ค่า R.M.N. หมายถึง ปริมาณของสารละลายต่าง เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (มิลลิลิตร) ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันที่ระเหยได้ และละลายได้ในน้ำ ซึ่งกลั่นออกมาจากไขมันหรือน้ำมัน จำนวน 5 กรัม เป็นกลางพอดี ค่า R.M.N. ของไขมัน และน้ำมันชนิดต่าง ๆ

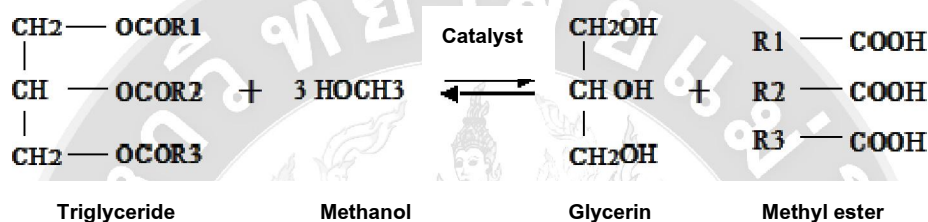
4.8.6 Polenske Number (P.N.) เป็นการวัดปริมาณของกรดไขมันชนิดที่สามารถระเหยได้ และไม่ละลายในน้ำ ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลระหว่าง 8 - 14 อะตอม ได้แก่ กรดคาพริก คพริก ลอริก และไมริสติก ตามลำดับ สำหรับกรดคาพริก และ กรดคาพริก จะสามารถละลายในน้ำได้บ้างเล็กน้อย ดังนั้นอาจพบอยู่ในส่วนที่ละลายได้ในน้ำด้วย ซึ่งจะมีผลต่อค่า R.M.N. และ P.N. ด้วย

ค่า P.N. หมายถึง ปริมาณของสารละลายต่างที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล (มิลลิลิตร) ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันชนิดที่ระเหยได้แต่ไม่ละลายในน้ำ ซึ่งออกมาจากไขมันหรือน้ำมัน จำนวน 5 กรัม เป็นกลางพอดี ค่า P.N. ใช้บ่งชี้ความแตกต่างระหว่างเนย และน้ำมันมะพร้าว ค่า P.N. ของเนยมีค่าประมาณ 1.5 - 3.5 ส่วนของน้ำมันมะพร้าวประมาณ 12 - 18 และ น้ำมันปาล์มเคอร์เนล ประมาณ 8 - 12 ค่า P.N. ของไขมันหรือน้ำมันบางชนิด

4.9 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (biodiesel) คือ ผลผลิตน้ำมันที่ผลิตได้จากการนำน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ หรือ ไขมันจากสัตว์ หรือน้ำมันที่ผ่านการใช้ปรุงอาหาร แล้วมาแปรสภาพ โดยนำไปทำปฏิกิริยาทางเคมีกับแอลกอฮอล์เช่นเมทานอลหรือเอทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาเช่นโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยการเติมเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจาก ไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (mono alkyl ester) ของกรดไขมัน ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid methyl ester : FAMES) หรือเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid ethyl ester) และได้กลีเซอริน (glycerin) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by product) กลไกที่เกิดขึ้นดังแสดงในภาพที่ 8 เนื่องจากเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้นี้มีลักษณะคล้ายน้ำมันดีเซลดังนั้นจึงเรียกเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันนี้ว่าไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลที่กล่าวกันโดยทั่วไปหมายถึงไบโอดีเซลบริสุทธิ์ จะใช้สัญลักษณ์ B100 หมายถึง น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีไบโอดีเซลอย่างเดียว แต่ถ้าหากเป็นไบโอดีเซลผสมจะใช้สัญลักษณ์ BXX หมายถึงน้ำมันเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยไบโอดีเซลร้อยละ XX เช่น B20 หมายถึง น้ำมันเชื้อเพลิงที่ประกอบไปด้วยไบโอดีเซลร้อยละ 20 ผสมกับน้ำมันดีเซลร้อยละ 80 สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ได้โดยไม่เกิดผลกระทบต่อระบบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล แม้จะใช้ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และ/หรือช่วงเวลายาวๆ นอกจากนั้นการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ และเกิดมลพิษทางอากาศน้อยกว่าน้ำมันดีเซล



ภาพที่ 8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชัน

4.9.1 ประเภทของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ตามชนิดของน้ำมันที่นำมาใช้ ดังนี้ คือ

4.9.1.1 ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์

ไบโอดีเซลประเภทนี้เป็นการนำน้ำมันพืชแท้ ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันจากสบู่ดำ หรือน้ำมันที่ได้จากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีรอบการทำงานต่ำโดยไม่ต้องผสม หรือเติมสารเคมีอื่น หรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน ไบโอดีเซลประเภทนี้พบว่ามีปัญหาที่เกี่ยวข้อง กับการสันดาปไม่สมบูรณ์ เครื่องสะดุด มีผลต่อลูกสูบ และวาล์ว มีตะกอนสีขาวติดอยู่ในถังน้ำมัน ไบโอดีเซลดังกล่าวมีความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำทำให้เครื่องยนต์สตาร์ทไม่ติดในสภาพที่มี อากาศเย็น ๆ เนื่องจากคุณสมบัติค่อนข้างแตกต่างจากน้ำมันดีเซลทั่วไปมาก แต่ก็มีข้อดีคือ มีราคาถูกสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ที่มีรอบการทำงานต่ำ แต่ก็ไม่ค่อยนิยมใช้กันมากนัก

4.9.1.2 ไบโอดีเซลแบบลูกผสม

ไบโอดีเซลชนิดนี้จะเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันพืช หรือน้ำมันจากสัตว์ กับ น้ำมันก๊าดน้ำมันดีเซล หรือ ตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น ดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว (coco-diesel) ซึ่งมีการผลิตที่

อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าว กับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซล เป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากไบโอดีเซลประเภทนี้เกิดจากการผสมกันระหว่างน้ำมันพืช และน้ำมันปิโตรเลียม ทำให้สามารถลดปัญหาเรื่องของความหนืดลงได้ แต่พบว่ายังเกิดปัญหาเครื่องยนต์สตาร์ทไม่ติดในสภาพที่อากาศเย็น ๆ นอกจากนั้นยังพบปัญหาการอุดตันของไส้กรองซึ่งจะอุดตันได้เร็วกว่าปกติ แต่สำหรับปัญหาอื่น ๆ ไม่พบ คุณสมบัติส่วนใหญ่ของไบโอดีเซลประเภทนี้จะเหมือนกับน้ำมันดีเซล เครื่องยนต์จะเดินเรียบไม่เกิดปัญหาเรื่องการสะสมเขม่าเหมือนไบโอดีเซลประเภทแรก เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่าย เหมาะสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์ที่มีรอบการทำงานต่ำ หรือเครื่องจักรกลการเกษตร

4.9.1.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

ไบโอดีเซลประเภทนี้จะต้องผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification) คือ การนำเอาน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์ ที่มีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์ดังกล่าวนี้มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ซึ่งสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ ไบโอดีเซลประเภทนี้พบว่า มีข้อดี คือ มีค่าซีเทน (cetane number) หรือ ค่าดัชนีการจุดติดไฟ สูงกว่าน้ำมันดีเซล กล่าวคือ สามารถจุดติดไฟได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้การจุดระเบิดทำได้ดี การสันดาปในเครื่องยนต์สมบูรณ์ คาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ไม่มีควันดำ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีผลดีต่อสิ่งแวดล้อม ความหนืดคงที่ ซึ่งจะขจัดปัญหาเรื่องของความหนืดไปได้

4.9.2 วิธีการผลิตไบโอดีเซล

สำหรับการผลิตไบโอดีเซลจะใช้สารตั้งต้นดังนี้ น้ำมัน เช่น น้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ หรือน้ำมันที่ผ่านการใช้ปรุงอาหาร แอลกอฮอล์เช่น เมทานอล หรือ เอทานอล ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ วิธีการผลิตไบโอดีเซลมีขั้นตอนดังนี้

4.9.2.1. การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจะถูกเตรียมให้เหมาะสมก่อนนำไปผ่านกระบวนการผลิต หากเป็นน้ำมันปาล์มดิบจำเป็นต้องนำไปผ่านกระบวนการแยกยางเหนียว และลดกรดไขมันอิสระให้มีปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก สำหรับน้ำมันที่ใช้ทอดแล้วจะถูกนำไปผ่านกรองแล้วจึงนำไปขจัดน้ำออก

4.9.2.2. การเตรียมสารละลายแอลกอฮอล์

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เมทานอลที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เบสที่นิยมใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยเมทานอลต้องไม่มีน้ำเจือปนเกินกว่าร้อยละ 1 การเตรียมสารละลายกระทำได้โดยการนำเบสปริมาณ 2.5 - 5 ส่วน

ละลายในเมทานอล 100 ส่วนโดยน้ำหนัก ปริมาณของเบสที่ใช้เตรียมเป็นไปตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในวัตถุดิบ หากกรดไขมันอิสระมีปริมาณสูงก็ต้องใช้เบสในสัดส่วนที่สูงขึ้น

4.9.2.3. การทำปฏิกิริยา

น้ำมันที่ถูกขจัดน้ำแล้วจะถูกให้ความร้อนทำให้มีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเติมสารละลายแอลกอฮอล์ลงไปอย่างช้าๆ (ควรเติมให้หมดภายใน 10 นาที) สัดส่วนน้ำมันต่อสารละลายแอลกอฮอล์โดยน้ำหนักเท่ากับ 5 ต่อ 1 ทำการกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างทั่วถึงเป็นเวลาประมาณ 15 นาที ด้วยอัตราการกวนปานกลาง (500 รอบ/นาที) อุณหภูมิในช่วงนี้จะลดลงเหลือประมาณ 65 องศาเซลเซียส การเกิดปฏิกิริยาในช่วงนี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วได้เมทิลเอสเทอร์และกลีเซอริน แต่ปฏิกิริยานี้สามารถผันกลับได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหยุดกวนเพื่อแยกผลผลิตตัวใดตัวหนึ่งออก เมื่อหยุดกวนกลีเซอรินซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่า (ประมาณ 1.26 กรัม/มิลลิลิตร) จะแยกชั้นออกจากชั้นเมทิลเอสเทอร์ โดยแยกตัวตกลงมาที่ก้นถัง ดังนั้นในชั้นเมทิลเอสเทอร์จะเหลือกลีเซอรินอยู่น้อย ปฏิกิริยาการเกิดเมทิลเอสเทอร์จะสามารถดำเนินต่อไปอย่างช้าๆ เมื่อทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 - 4 ชั่วโมง น้ำมันก็จะทำปฏิกิริยาไปได้มากกว่าร้อยละ 95

4.9.2.4. การแยกกลีเซอริน

กลีเซอรินจะถูกถ่ายใส่ภาชนะ ได้โดยการถ่ายออกทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ หรือภาชนะที่ใช้ในการสังเคราะห์

4.9.2.5. การล้างสิ่งปนเปื้อนออก

เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ยังปนเปื้อนด้วยสารอื่นๆ เช่น สบู่ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างเบสที่ใช้ และกรดไขมันอิสระหรือน้ำมัน นอกจากนั้นกลีเซอรินที่ละลายอยู่ในชั้นเมทิลเอสเทอร์ เบสและเมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา รวมทั้งน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด จึงต้องทำการขจัดออกโดยการล้างด้วยน้ำอุ่นหลายๆ ครั้ง ปริมาณน้ำที่ใช้แต่ละครั้งประมาณ 1 ต่อ 4 ของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ เมื่อเติมน้ำเพียงพอแล้วรอให้น้ำแยกชั้นออกจากเมทิลเอสเทอร์โดยใช้ระยะเวลาพอสมควร (ประมาณ 5 - 10 นาที) จึงถ่ายน้ำออก และเติมน้ำอุ่นเพื่อล้างใหม่ การล้างจะกระทำ 4 - 5 ครั้ง และเพิ่มการกวนในกระบวนการล้างครั้งหลังๆ

4.9.2.6. การขจัดน้ำออกขั้นสุดท้าย

เมื่อล้างสิ่งปนเปื้อนออกหมดแล้ว ขั้นตอนสุดท้าย คือ การขจัดน้ำที่ยังคงหลงเหลือในชั้นของเมทิลเอสเทอร์ออก ซึ่งกระทำโดยการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลาอย่างน้อย 20 นาที หรือการกรองด้วย salt filter

4.9.3 ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่

4.9.3.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบควรมีปริมาณไม่สูงเกินกว่าร้อยละ 3 ถ้ามีปริมาณที่สูงกว่าจะทำให้กรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับด่างเกิดเป็นสบู่ ดังนั้นในน้ำมันที่ใช้แล้วจึงจำเป็นต้องลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงให้น้อยกว่าร้อยละ 1 ก่อนที่จะนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อผลิตไบโอดีเซลต่อไป

4.9.3.2 ปริมาณของสารตัวเร่งปฏิกิริยาควรอยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.4 – 2.0 โดยน้ำหนักของน้ำมันที่นำมาผลิตไบโอดีเซล

4.9.3.3 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน ส่วนใหญ่มักใช้อัตราส่วนของเมทานอลหรือเอทานอลต่อน้ำมัน ที่อัตราส่วน 6:1 ถึง 9:1

4.9.3.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับเมทานอลหรือเอทานอล อัตราเร็วในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นไบโอดีเซลจะสูงขึ้นตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

4.9.3.5 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราเร็วในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นไบโอดีเซลจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยทั่วไปมักจะใช้อุณหภูมิที่อยู่ในช่วงประมาณ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เกินจุดเดือด (boiling point) ของเมทานอลหรือเอทานอล

4.9.4 คุณสมบัติของไบโอดีเซล

คุณสมบัติของไบโอดีเซลเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ มีโครงสร้างทางเคมี คือ C_3H_5 เชื่อมต่อกันกับกรดไขมัน ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 อะตอม ทำให้มีคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในน้ำมันนั้น ๆ (กองบรรณาธิการ, 2544)

น้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่คงตัวสามารถถูกออกซิไดซ์ และเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์ได้ที่อุณหภูมิสูง เมื่อเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์แล้ว น้ำมันจะเกิดเป็นสารเหนียวขึ้น โดยทั่วไปค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชจะเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์ ฉะนั้นการเลือกใช้น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง จะเป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์ในเครื่องยนต์ได้ในเบื้องต้น (พิศมัย เจนวนิชปัญญกุล, 2543)

ในแง่ของการนำไบโอดีเซลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล โดยน้ำมันพืชมีค่าความร้อนประมาณร้อยละ 83-85 ของน้ำมันดีเซล แต่มีความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10 เท่า ที่อุณหภูมิต่ำ น้ำมันพืชที่มีความหนืดสูงจะทำให้เกิดเป็นไข เช่น น้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าว สำหรับน้ำมันมะพร้าว จะเริ่มเป็นไขที่อุณหภูมิ 24-26 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณไขถึงร้อยละ 36 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเป็นอุปสรรคต่อการป้อนเชื้อเพลิง

และไม่สามารถใช้งานได้ในพื้นที่และบางฤดูกาลที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนั้นแล้วน้ำมันพีซีมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวได้น้อยมาก (low volatility) ทำให้เมื่อป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้จะจุดระเบิดได้ช้ากว่า และมีกาการคาร์บอนหลงเหลือหลังการเผาไหม้สูงกว่าน้ำมันดีเซล

4.9.5 ข้อดีของไบโอดีเซล (ปิยะ และประพฤติ, 2538)

4.9.5.1 ไบโอดีเซลสามารถเผาไหม้ได้ดีกว่าน้ำมันดีเซลถึงร้อยละ 75 ทำให้ลดปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และเขม่าที่ออกมาจากท่อไอเสีย

4.9.5.2 ไบโอดีเซลไม่ปล่อยสารประกอบของกำมะถัน เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เนื่องจากไบโอดีเซลเป็นตัวหล่อลื่นที่ดีจึงไม่ต้องผสมกำมะถัน ในขณะที่น้ำมันดีเซลจำเป็นต้องผสมกำมะถันลงไปเพื่อเป็นตัวหล่อลื่นในน้ำมันเชื้อเพลิง

4.9.5.3 ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากสิ่งมีชีวิต ไอเสียที่เกิดขึ้นจึงไม่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในชั้นบรรยากาศเหมือนการใช้้ำมันดีเซล ก็จะเป็นการลดปฏิกิริยาเรือนกระจกที่ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น และยังทำให้สารบางตัวของชั้นโอโซนในบรรยากาศลดลงเกือบครึ่งหนึ่งของการใช้น้ำมันดีเซล

4.9.5.4 ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วย

4.9.5.5 กลิ่นไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลไม่น่ารังเกียจ และไม่ทำให้เกิดการระคายเคือง

4.9.5.6 ไบโอดีเซลสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลทุกชนิด อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่า ๆ กับการใช้น้ำมันดีเซลปกติ

4.9.6 ลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

กรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดคุณลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ *
1.	เมทิลเอสเทอร์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Methy Ester, % wt.)	ไม่ต่ำกว่า	96.5	EN 14103
2.	ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (Density at 15 °C kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
3.	ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เซนติสโตกส์ (Viscosity at 40 °C cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	3.5 5.0	ASTM D 445
4.	จุดวาบไฟ องศาเซลเซียส (Flash Point °C)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
5.	กำมะถัน ร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulphur % wt)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 2662
6.	กากถ่าน ร้อยละโดยน้ำหนัก (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon Residue, on 10 % distillation residue, % wt.)	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D 4530
7.	จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D 613
8.	เถ้าซัลเฟต ร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulphated Ash % wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
9.	น้ำ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Water, % wt)	ไม่สูงกว่า	0.050	ASTM D 2709
10.	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด ร้อยละโดยน้ำหนัก (Total Contaminate, % wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0024	ASTM D 5452

ตารางที่ 11 ลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ต่อ)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด	วิธีทดสอบ *
11.	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1
12.	ความเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ชั่วโมง (Oxidation Stability at 110 °C, hour)	ไม่ต่ำกว่า	6
13.	ค่าความเป็นกรด มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม (Acid Number mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	0.80
14.	ค่าไอโอดีน กรัมไอโอดีน/100 กรัม (Iodine Value, g Iodine/100 g)	ไม่สูงกว่า	120
15.	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Linolenic Acid Methyl Ester, % wt)	ไม่สูงกว่า	12.0
16.	เมทานอล ร้อยละโดยน้ำหนัก (Methanol, % wt)	ไม่สูงกว่า	0.20
17.	โมโนกลีเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Monoglyceride, % wt)	ไม่สูงกว่า	0.80
18.	ไดกลีเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Diglyceride, % wt)	ไม่สูงกว่า	0.20
19.	ไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Triglyceride, % wt)	ไม่สูงกว่า	0.20
20.	กลีเซอรินอิสระ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Free glycerin, % wt)	ไม่สูงกว่า	0.02
21.	กลีเซอรินทั้งหมด ร้อยละโดยน้ำหนัก (Total glycerin % wt)	ไม่สูงกว่า	0.25

ตารางที่ 11 ลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ต่อ)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด		วิธีทดสอบ *
22.	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียม และโพแทสเซียม) มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Group I metals (Na+K) mg/kg) โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียม และแมกนีเซียม) มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Group II metals (Ca+Mg) mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14108 และ EN 14105 prEN 14105
23.	ฟอสฟอรัส ร้อยละโดยน้ำหนัก (Phosphorus, mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0	ASTM D 4951
24.	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบ จากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

หมายเหตุ * วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดใน
รายละเอียดแนบท้ายนี้

ที่มา : ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 122 ตอนพิเศษ 70 ง หน้า 12

4.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Freeman และ Pryde, 1982 ได้ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนความเข้มข้นของแอลกอฮอล์กับน้ำมันทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ชนิดของแอลกอฮอล์ และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ พบว่า อัตราส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมของชนิดของแอลกอฮอล์ และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็น 4.0 : 1.0 และ 6.0 : 1.0 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 45 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจะให้ผลผลิตไบโอดีเซลปริมาณร้อยละ 90-98 โดยสามารถผลิตเมทิลเอสเทอร์ เอทิลเอสเทอร์ และ โพรพิลเอสเทอร์ได้ประมาณร้อยละ 98, 96 และ 96 ตามลำดับ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยต่ำ และใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาสั้นกว่าการใช้กรดซัลฟูริก

Cvengros และ Povazanec (1996) ได้ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดเรพ (repe seed) โดยใช้น้ำมันดิบ 1000 กิโลกรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6.50 กิโลกรัม และเมทานอล 157 กิโลกรัม อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 70 องศาเซลเซียส ผลลัพธ์ที่ได้ คือ เมทิลเอสเทอร์ ร้อยละ 98.70 ซึ่งสรุปได้ว่าน้ำมันที่จะนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันไม่ควรมีความเป็นกรดสูงกว่าร้อยละ 2 และมีปริมาณน้ำเป็นองค์ประกอบไม่เกินร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก อาจแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นได้ด้วยการเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดต่ำลง เนื่องจากเกิดการสูญเสียเมทิลเอสเทอร์ และทำให้ปริมาณของกลีเซอรอลสูงขึ้น เกิดลักษณะเจลขึ้นในชั้นของเมทิลเอสเทอร์ โดยลักษณะที่เกิดขึ้นจะเป็นการเกิดเป็นสบู่ ซึ่งเป็นสารอิมัลติฟาย เมื่อมีสารดังกล่าวในปริมาณที่มากจะทำให้กลีเซอรอลละลายได้ในชั้นของเมทิลเอสเทอร์มากขึ้น ทำให้การแยกกลีเซอรอลโดยแรงโน้มถ่วงของโลกทำได้ยาก ส่งผลให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

Foidl et al. (1996) ได้ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสนุดำ (*Jatropha curcas*) 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ Cobo Verde และพันธุ์ Nicaragua โดยใช้แอลกอฮอล์ชนิดเมทานอล และเอทานอล และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในการเตรียมเมทิลเอสเทอร์จะใช้น้ำมันดิบ 2000 กรัม ผสมกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 30 กรัม และ เมทานอล 317.70 กรัม อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 75 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 90 นาที ผลลัพธ์ที่ได้ คือ เมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์เป็นร้อยละ 92 และ 84.40 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐานการใช้ไบโอดีเซลหรือเอสเทอร์ของประเทศออสเตรเลีย และเยอรมันพบว่าค่าสีเพนของเมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์สูงเท่ากับ 51 และ 59 ตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถลดค่าความหนืดของลงได้จาก 52 เหลือเพียง 4.84 และ 5.54 เซนติสโตก ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

Hackel et al. (1996) ได้ศึกษาและพัฒนาพืชสนุดำเพื่อนำมาผลิตไบโอดีเซลในประเทศนิการากัว โดยศึกษาการเตรียมดินสำหรับปลูกพืชสนุดำ ศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ของเมล็ดสนุดำ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลผลิตที่คาดว่าจะได้รับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน สนุดำโดยผ่านปฏิกิริยาการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งปฏิกิริยาจะทำได้โดยนำน้ำมันที่ได้จาก เมล็ดสนุดำมาผสมกับสารละลายที่เตรียมไว้ โดยละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และตั้งทิ้งไว้ 5 ชั่วโมง เพื่อให้ กลีเซอรอลแยกชั้นออกมา ผลผลิตที่ได้ คือ เมทิลเอสเทอร์ ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงที่เป็นที่ยอมรับในระดับมาตรฐานของไบโอดีเซล

Preveen et al. (1996) ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากไขมันวัว และน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้เมทานอลซึ่งมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1-1.0 โดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 68-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ เมทิลเอสเทอร์ของไขมันวัว และเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลืองสูงถึงร้อยละ 95 และร้อยละ 98 ตามลำดับ การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของ เมทิลเอสเทอร์ของไขมันสัตว์ และน้ำมันถั่วเหลืองเทียบกับน้ำมันดีเซล คือ ความหนาแน่น ความหนืด และจุดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความขุ่นตัว พบว่าเมทิลเอสเทอร์ของไขมันสัตว์มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.856 ถึง 0.859 กรัมต่อมิลลิเมตร ความหนืดเท่ากับ 3.75 ถึง 3.99 เซนติสโตก และจุดขุ่นตัวเท่ากับ 10 ถึง 12 องศาเซลเซียส สำหรับเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.866 ถึง 0.869 กรัมต่อมิลลิเมตร ความหนืดเท่ากับ 3.70 ถึง 3.90 เซนติสโตก และจุดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความขุ่นตัวเท่ากับ -19 ถึง -15 องศาเซลเซียส

Canakci และ Van (1999) ได้สังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้ว ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงมาก ซึ่งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่างจะทำให้เกิดสบูขึ้นโดยสบูจะเป็นตัวขัดขวางการแยกกลีเซอริน และน้ำมันไบโอดีเซล ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด ซึ่งในการทดลองนี้จะศึกษาปัจจัยที่เหมาะสม ได้แก่ อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ปริมาณน้ำในน้ำมัน และปริมาณของกรดไขมันอิสระที่เป็นองค์ประกอบอยู่ใน น้ำมัน พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันมากขึ้นปริมาณของเอสเทอร์จะเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ปริมาณของเอสเทอร์มากขึ้นด้วย โดยอุณหภูมินั้นจะต้องไม่เกินจุดเดือดของเมทานอล นอกจากนั้นจากการทดลองยังพบว่าเมื่อใช้เวลามากขึ้นจะทำให้ปริมาณเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ส่วนผลของชนิดแอลกอฮอล์ที่ใช้พบว่าเมทานอลจะให้ปริมาณเอสเทอร์มากกว่าการใช้เอทานอล น้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระ และน้ำปนจะทำให้เอสเทอร์ที่ผลิตได้มีปริมาณลดลงโดยเกิดเอสเทอร์น้อยกว่าร้อยละ 90

Ikwaagwu et al. (2000) ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดยางเพื่อที่จะศึกษาปัจจัยทางด้านความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ถ้าใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จะถูกนำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีเพื่อเปรียบเทียบกับเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันจากเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันดีเซล และน้ำมันแฟลกซ์ ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้ศึกษาโดยใช้สัดส่วนของน้ำมันจากเมล็ดยางต่อ เมทานอลเท่ากับ 6:1 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการเกิดเมทิล

เอสเทอร์เท่ากับร้อยละ 1 ของน้ำหนักวัตถุดิบโดยจะให้ปริมาณ เมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 84 และพบว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีคุณสมบัติหลายประการใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ซึ่งได้แก่ ค่าความร้อน ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าซีเทน เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าการทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันยังช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมัน อาทิเช่นช่วยลดความหนืดลง และเพิ่มค่าซีเทนให้มากขึ้น

Crabbe et al. (2001) ได้สังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการสังเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ กรดซัลฟูริก ผลที่ได้จากการศึกษา พบว่าปริมาณเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจะมากขึ้นตามอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยที่อัตราส่วน 40:1 จะให้ปริมาณเอสเทอร์สูงสุด นอกจากนี้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา เวลา และอุณหภูมิ พบว่าปริมาณของเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของน้ำมัน อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม คือ 80 องศาเซลเซียส และ 24 ชั่วโมง ในการศึกษาครั้งนี้เมื่อทดลองใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 8:1 เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นอิมัลชัน ทำให้การแยกเอสเทอร์ และกลีเซอรอลออกจากกันได้ยาก ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดจะมีความเหมาะสมกับน้ำมันพืชมีค่าความเป็นกรดสูง แต่การใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ผลดี เมื่อน้ำมันมีค่าความเป็นกรดต่ำ เนื่องจากปฏิกิริยาดำเนินไปได้เร็วกว่าการใช้กรด

Saka et al. (2001) ได้ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ได้จากเมล็ดแรม โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยศึกษาที่สภาวะของอุณหภูมิ และความดันเหนือจุดวิกฤตของเมทานอล โดยอุณหภูมิที่ใช้ คือ 350 และ 400 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้อยู่ในช่วง 45-65 MPa พบว่าวิธีการนี้ไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ในการศึกษาจะทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลในหลอดทดลองขนาด 5 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันเมล็ดแรมต่อเมทานอลเป็น 1:42 โดยโมล พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 120 วินาที ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ประมาณร้อยละ 98 และเมื่อใช้อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 120 วินาที และได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ประมาณร้อยละ 98 เช่นเดียวกัน ดังนั้นในการทำปฏิกิริยาที่สภาวะเหนือความดัน และอุณหภูมิวิกฤตของเมทานอลจะเป็นวิธีการง่าย ๆ ไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาภายใต้สภาวะดังกล่าวจะสั้นกว่าการใช้เวลาโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันทั่วไป เนื่องจากการทำ

ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ และความดันเหนือจุดวิกฤตนี้จะส่งผลทำให้การละลายของน้ำมันในเมทานอลเกิดขึ้นได้ดี

Mangesh et al. (2006) ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่ได้จากต้นแคนโอล่า (canola) โดยใช้แอลกอฮอล์ชนิดเอทานอล เมทานอล และอัตราส่วนผสมระหว่างเอทานอลกับเมทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน โดยใช้ตัวทำละลายดังกล่าวที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์เท่ากับ 1 ต่อ 6 และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากผลการศึกษาพบว่าส่วนผสมของแอลกอฮอล์จะช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และจะช่วยเพิ่มผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์ด้วย การเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ดังกล่าวจะมีผลในการเพิ่มการละลายของน้ำมันในปฏิกิริยาได้ เอทานอลมีคุณสมบัติในการเป็นตัวทำละลาย และมีจุดสมมูลที่ดีกว่าเมทานอลที่อัตราส่วนโดย โมลของเมทานอลต่อเอทานอลจากการใช้ตัวทำละลายผสมจะมีค่าเท่ากับ 3:3 [MEE (3:3)] ซึ่งจะมีการผลิตเอทิลเอสเทอร์ประมาณร้อยละ 50 เช่นเดียวกับ เมทิลเอสเทอร์ คุณสมบัติทางด้านความเป็นกรด ความหนืด และความหนาแน่นของผลผลิต เอสเทอร์จากปฏิกิริยาทั้งหมด รวมถึงเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจากการผสมกันระหว่างเมทานอลและเอทานอล พบว่าอยู่ในระดับตามมาตรฐานของ ASTM รวมทั้งมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นของเอสเทอร์ที่ดีโดยเรียงลำดับคุณสมบัติในการหล่อลื่นที่ดีตามลำดับได้ดังนี้ คือ เอทิลเอสเทอร์มี คุณสมบัติที่ดีกว่าเอสเทอร์ผสมระหว่างเมทิลเอทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ และเมทิลเอทิลเอสเทอร์มีคุณสมบัติในการหล่อลื่นที่ดีกว่าเมทิลเอสเทอร์

Sarin et al. (2006) ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งที่เดิมเป็นเชื้อเพลิง โดยผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันที่ได้มาจากพืช ซึ่งหาได้ง่าย และมีความเหมาะสมที่จะนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อประยุกต์ใช้ในการขนส่งถ่วงเหลือง และเมล็ดแรว (rape seed) ที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ (feed stock) จะถูกนำมาศึกษาสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในประเทศสหรัฐอเมริกา และกลุ่มประเทศในทวีปยุโรป อย่างไรก็ตามประเทศในแถบเอเชียยังประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำมันสำหรับบริโภค และยังได้มีการสำรวจหา เมล็ดพืชให้น้ำมันชนิดที่ไม่สามารถบริโภคได้ เช่นเดียวกันกับน้ำมันจากพืชสบู่ดำ และพองกาเมีย (pongamia) เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล อย่างไรก็ตามพืชดังกล่าวใช้เวลาน้อยในการเพาะปลูกเพียงไม่กี่ปีก็สามารถที่จะเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ ในขณะที่กลุ่มประเทศในทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ประเทศมาเลเซีย และประเทศไทยมีการผลิตปาล์มน้ำมันในปริมาณมาก จนเกินความต้องการ แต่เนื่องจากน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบหลัก จึงส่ง ผลทำให้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติที่ด้อยในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนั้นยังมี การนำ

น้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์ของกลุ่มประเทศในทวีปเอเชียได้และกลุ่มประเทศในทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยการผสมกับไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันสบู่ดำ จากนั้นจะศึกษาและทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางเคมี เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผสมและสามารถปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้นในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยให้มีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน

Guo และ Leung (2006) ได้ศึกษาลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมเมทอกไซด์โดยสามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่าง ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสาม พบว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะให้ผลดีกว่า ในการทดลองนั้นจะศึกษาถึงอิทธิพลที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งได้แก่ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมัน เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1.1 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วน เมทานอลต่อน้ำมันดิบ ในอัตราส่วน 7 : 1 โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจะให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลมากที่สุด

Rashid และ Anwar (2007) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซล โดยศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดเรพ โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำมันต่อเมทานอล ที่อัตราส่วนระหว่าง 3 : 1 ถึง 21 : 1 และใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 0.25 ถึง 1.50 และใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 35 ถึง 65 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราเร็วในการกวนผสมเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่ผลผลิตไบโอดีเซลที่ 180 ถึง 600 รอบ/นาที และเมื่อผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแล้วก็สามารถไปวิเคราะห์ โดยวิธี GC พบว่าความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 1 อัตราส่วนของน้ำมันต่อเมทานอลที่ 6 : 1 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ 65 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบในการผสม 600 รอบ/นาที เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งให้ผลผลิตไบโอดีเซลได้ถึงร้อยละ 95 - 96

Berchmans และ Hirata (2007) ได้ศึกษาวิธีการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน สบู่ดำ ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระประมาณร้อยละ 15 กรดไขมันอิสระดังกล่าวจะลดลงได้อย่างน้อยร้อยละ 1 เมื่อนำไปผ่านกระบวนการทดลอง 2 กระบวนการ คือ การทดลองวันที่ 1 จะนำเมทานอลรวมกับน้ำมันพืช ในอัตราส่วนร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก และใช้กรดซัลฟิวริก ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก นำไปทำปฏิกิริยาโดยใช้เวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และแยกเมทานอลกับน้ำที่ผสมกัน โดยใช้กรวยแยก และการทดลองขั้นที่ 2 ใช้ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ เมทานอลร้อยละ 0.24 โดยน้ำหนัก และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1.4 โดยน้ำหนัก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการ

ผลิตไบโอดีเซล ซึ่งควบคุมการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส พบว่าผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้มีปริมาณถึงร้อยละ 90

Tiwari et al. (2007) ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำโดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ ซึ่งศึกษาปริมาณเมทานอลที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากการศึกษาพบว่า ใช้เมทานอล ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก จะใช้ กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.43 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 88 นาที การทดลองดังกล่าวเปรียบเทียบกับการใช้เมทานอลร้อยละ 0.16 โดยปริมาตร ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 24 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจะให้ผลผลิตไบโอดีเซลมากถึงร้อยละ 99 ซึ่งไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำได้รับการรับรองมาตรฐานจากยุโรป และอเมริกา

Arzamendi et al. (2007) ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเมทานอลกับน้ำมันดอกทานตะวันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ และคัดเลือกชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่ตรึงบนตัวพองอะลูมินา ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ตรึงบนตัวพองจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่ถูกตรึงไว้บนตัวพอง นอกจากนั้นยังได้ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอล ต่อน้ำมันดอกทานตะวัน อัตราส่วนของปฏิกิริยาต่อเมทานอล และปริมาณการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ลงบนตัวพองผลที่เกิดขึ้น พบว่าการเกิดปฏิกิริยานั้นจะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกตรึงอยู่บนตัวพองแอมมาอะลูมินาแบบแห้งจะทำให้เกิดผลในทางลบต่อการเกิดปฏิกิริยา ประสิทธิภาพในการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกตรึงบนตัวพองอะลูมินา ที่ผ่านการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 393 องศาเคลวิน จะทำให้ผลการทดลองไม่แตกต่างจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์เพียงชนิดเดียว นอกจากนั้นมีการวัดปริมาณไฮเดียมที่ถูกปลดปล่อยออกมาในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ผลปรากฏว่าตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่ตรึงบนตัวพองอะลูมินาจะไม่มีผลคงตัวภายใต้สภาวะของปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน อย่างไรก็ตามควรที่จะมีการศึกษาต่อไปเกี่ยวกับการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีความคงตัวบนตัวพองก่อนนำมาประยุกต์ใช้งาน

บทที่ 2

อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

1. วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมี และวัตถุดิบ ที่ใช้ในการทดลอง

1.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ยี่ห้อ/รุ่น

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance)	ADAM/AAA250L
เครื่องให้ความร้อนแบบแผ่น (hotplate)	VELP Scientifica/ARE
เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (analytical balance)	Adam/AFP2100
เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge)	ORTO ALRESA/LINCE R
เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH-meter)	SARTORIUS/PP-15
กรวยแยก (separatory funnel)	Schott Duran
เครื่องบีบอัดระบบไฮดรอลิก (hydraulic press)	-
เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)	-

1.2 สารเคมี

ยี่ห้อ

โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)	MERCK
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	MERCK
ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalien)	MERCK
เมทานอล (methanol)	MERCK
ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (iso-propyl alcohol)	MERCK
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide)	MERCK
เอทานอล (ethanol)	MERCK
กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid)	MERCK

1.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

สบู่ดำ (*Jatropha Curcas* Linn.) จากจังหวัดเพชรบูรณ์

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ

นำเมล็ดสบู่ดำมาผึ่งแดดให้แห้ง จากนั้นนำมาทุบให้แตก นำเมล็ดที่ผ่านการทุบแล้ว
เข้าเครื่องสกัดแบบไฮดรอลิก นำน้ำมันที่ได้มารองด้วยผ้าขาวบางเพื่อแยกสิ่งสกปรกออก

หลังจากนั้นจะนำน้ำมันที่ได้จากการกรองมาปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกสิ่งปนเปื้อน ตัวอย่างน้ำมันสบู่ดำจะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ และน้ำมันที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการทดลอง

2.2 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบู่ดำ ณ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยา

นำปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ บรรจุน้ำมันสบู่ดำน้ำหนัก 100 กรัม ลงในปิกเกอร์ทั้ง 5 ใบ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที และใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมันที่ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอล ต่อน้ำมันสบู่ดำเท่ากับร้อยละ 20 ซึ่งการเตรียมเมทอกไซด์ทำได้โดยการชั่งปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 กรัม ละลายในเมทานอล 20 กรัม นำปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำ 100 กรัม ไปตั้งบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เทสารละลายเมทอกไซด์ที่ได้ลงในปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำ กวนด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารด้วยความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 30 นาที ด้วยการควบคุมให้มีอุณหภูมิคงที่เมื่อครบตามเวลาจึงถ่ายสารละลายลงสู่กรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง จากนั้นแยกส่วนของกลีเซอรินออก แล้วล้างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ด้วยน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 50 มิลลิลิตร หรือ จนเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีความเป็นกลาง ด้วยการไตเตรทใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มากำจัดความชื้นโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วทำการชั่งเพื่อนำหนักไปโอดีเซล และกลีเซอรินที่ได้

2.3 ศึกษาปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

นำปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ บรรจุน้ำมันสบู่ดำน้ำหนัก 100 กรัม ลงในปิกเกอร์ทั้ง 5 ใบ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.2 รอให้อุณหภูมิลดลงที่ 60 องศาเซลเซียส จึงทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยใช้ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมันที่ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำเท่ากับร้อยละ 25 ซึ่งการเตรียมสารละลายเมทอกไซด์ทำได้โดยการชั่งปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัม ละลายในเมทานอล 25 กรัม จากนั้นนำปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำ 100 กรัม ไปตั้งบนเตาให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เทสารละลายเมทอกไซด์ที่ได้ลงในปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารโดยใช้ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 30 นาที

โดยควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 60 องศาเซลเซียส เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดจึงถ่ายสารละลายลงสู่กรวยแยกตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง จึงทำการแยกส่วนของกลีเซอรินออก แล้วล้างเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) ที่ได้ด้วยน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 50 มิลลิลิตร หรือจนเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีความเป็นกลาง โดยการนำไปไตเตรทซึ่งใช้ ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มากำจัดความชื้นโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ทำการชั่งน้ำหนักไบโอดีเซล และกลีเซอรินที่ได้

สำหรับการศึกษาปริมาณของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม จะศึกษาโดยใช้วิธีการและขั้นตอนเช่นเดียวกับการศึกษาปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ข้างต้น โดยเปลี่ยนชนิดของด่างที่ใช้ทำปฏิกิริยาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ การทดลองทำโดยการนำปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ บรรจุน้ำมันสบู่น้ำหนัก 100 กรัม ลงในปิกเกอร์ทั้ง 5 ใบ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.2 รอให้อุณหภูมิลดลงที่ 60 องศาเซลเซียส จึงทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยใช้ปริมาณของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมันที่ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่น้ำหนักเท่ากับร้อยละ 25 ซึ่งการเตรียมสารละลายเมทอกไซด์ทำได้โดยการชั่งปริมาณโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 กรัม ละลายในเมทานอล 25 กรัม จากนั้นนำปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่น้ำหนัก 100 กรัม ไปตั้งบนเตาให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เทสารละลายเมทอกไซด์ที่ได้ลงในปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่น้ำหนัก กวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารโดยใช้ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 30 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 60 องศาเซลเซียส เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดจึงถ่ายสารละลายลงสู่กรวยแยกตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง จึงทำการแยกส่วนของกลีเซอรินออก แล้วล้างเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) ที่ได้ด้วยน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 50 มิลลิลิตร หรือจนเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีความเป็นกลาง โดยการนำไปไตเตรทซึ่งใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มากำจัดความชื้นโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ทำการชั่งน้ำหนักไบโอดีเซล และกลีเซอรินที่ได้

2.4 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

นำปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ บรรจุน้ำมันสบู่ดำน้ำหนัก 100 กรัม ลงในปิกเกอร์ทั้ง 5 ใบ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ตามระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.2 และใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อ น้ำมัน ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอล ต่อ น้ำมันสบู่ดำ เท่ากับร้อยละ 25 ซึ่งการเตรียมสารละลายเมทอกไซด์ เตรียมโดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 ละลายในเมทานอล 25 กรัม นำปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำ 100 กรัม ทั้ง 5 ใบไปตั้งบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เทสารละลายเมทอกไซด์ที่ได้ลงในปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำแต่ละใบ จากนั้นกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารโดยใช้ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมอุณหภูมิในปิกเกอร์แต่ละใบให้คงที่เมื่อครบตามเวลาจึงถ่ายสารละลายลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง จากนั้นแยกกลีเซอรินออกแล้วล้างเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) ที่ได้ด้วยน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 50 มิลลิลิตร หรือ ล้างจนเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีความเป็นกลาง โดยการนำไปไตเตรทและใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นจึงนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มากำจัดความชื้นโดยนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ซึ่งน้ำหนักไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่ได้

สำหรับการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ โดยใช้ต่างไปแต่สโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งจะมีวิธีการและขั้นตอนเช่นเดียวกันกับการใช้ต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีวิธีการทดลองดังต่อไปนี้ นำปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ บรรจุน้ำมันสบู่ดำน้ำหนัก 100 กรัม ลงในปิกเกอร์ทั้ง 5 ใบ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ตามระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.2 และใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อ น้ำมันที่เหมาะสม ที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอล ต่อ น้ำมันสบู่ดำ เท่ากับร้อยละ 25 ซึ่งการเตรียมสารละลายเมทอกไซด์ เตรียมโดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 ละลายในเมทานอล 25 กรัม นำปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำ 100 กรัม ทั้ง 5 ใบไปตั้งบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เทสารละลายเมทอกไซด์ที่ได้ลงในปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำแต่ละใบ จากนั้นกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารโดยใช้ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมอุณหภูมิในปิกเกอร์แต่ละใบให้คงที่เมื่อครบตามเวลาจึงถ่ายสารละลายลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง จากนั้นแยกกลีเซอรินออกแล้ว

ล้างเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) ที่ได้ด้วยน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 50 มิลลิลิตร หรือ ล้างจนเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีความเป็นกลาง โดยการนำไปไตรเตรทและใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มากำจัดความชื้นโดยนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ซึ่งน้ำหนักไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่ได้

2.5 ศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอล ต่อน้ำมันสบู่ดำที่ เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

นำปิ๊กเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ บรรจุน้ำมันสบู่ดำน้ำหนัก 100 กรัม ลงในปิ๊กเกอร์ดังกล่าว นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.2 และใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมันในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 นอกจากนั้นยังได้ศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอล ต่อน้ำมันสบู่ดำที่ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก เตรียมสารละลายเมทอกไซด์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 ละลายในเมทานอล 5, 10, 15, 20 และ 25 กรัม นำปิ๊กเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำ 100 กรัม ไปตั้งบนเตาให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.4 เทสารละลายเมทอกไซด์ที่ได้ลงในปิ๊กเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำในแต่ละใบจนครบทั้ง 5 ใบ จากนั้นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารละลายโดยใช้ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมอุณหภูมิของสารละลายให้คงที่ เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดจึงถ่ายสารละลายลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง จากนั้นแยกส่วนของกลีเซอรินออก แล้วล้างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ด้วยน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 50 มิลลิลิตร หรือจนเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีความเป็นกลาง ด้วยการไตรเตรทโดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มากำจัดความชื้นโดยนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ซึ่งน้ำหนักไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่ได้

การศึกษ้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอล ต่อน้ำมันสบู่ดำที่ เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งจะศึกษาโดยใช้ต่างไปแต่สเติมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน จะมีวิธีการและขั้นตอนเช่นเดียวกันกับการศึกษาโดยใช้ต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะทำให้การทดลองดังนี้ บรรจุน้ำมันสบู่ดำน้ำหนัก 100 กรัม ลงในปิ๊กเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.2 และใช้ปริมาณโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมันสบู่ดำในปริมาณที่เหมาะสม

ที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 ศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสนปูดำ ที่ร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก เตรียมสารละลายเมทอกไซด์โดยการชั่ง ไปผสมเชื่อมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 ละลายในเมทานอล 5, 10, 15, 20 และ 25 กรัม นำปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสนปูดำ 100 กรัม ไปตั้งบนเตาให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.4 เทสารละลายเมทอกไซด์ที่ได้ลงในปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสนปูดำในแต่ละใบจนครบทั้งหมด 5 ใบ กวนด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารละลาย โดยใช้ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมอุณหภูมิของสารละลายให้คงที่ เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดจึงถ่ายสารละลายลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง จากนั้นแยกส่วนของกลีเซอรินออก แล้วล้างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ด้วยน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 50 มิลลิลิตร หรือจนเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีความเป็นกลาง ด้วยการไตเตรทโดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มากำจัดความชื้นโดยนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ซึ่งน้ำหนักไบโอดีเซล และกลีเซอรินที่ได้

2.6 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

ซึ่งและบรรจุน้ำมันสนปูดำน้ำหนัก 100 กรัม ลงในปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.2 และใช้ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อ น้ำมันสนปูดำที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอล ต่อ น้ำมันสนปูดำที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.5 ซึ่งการเตรียมสารละลายเมทอกไซด์ทำได้โดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 ละลายในเมทานอลปริมาณที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองในข้อ 2.5 นำปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสนปูดำ 100 กรัม แต่ละใบไปตั้งบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.4 เทสารละลายเมทอกไซด์ที่ได้ลงในปิกเกอร์แต่ละใบที่บรรจุน้ำมันสนปูดำ จากนั้นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารโดยใช้ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิสารละลายในแต่ละปิกเกอร์ให้คงที่ เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดจึงถ่ายสารละลายลงในกรวยแยกตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นแยกส่วนของกลีเซอรินออก แล้วล้างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ด้วยน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 50 มิลลิลิตร หรือล้างจนเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีความเป็นกลาง โดยการไตเตรทใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะถูกกำจัดความชื้น

โดยนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนักไบโอดีเซล และกลีเซอรินที่ได้

สำหรับการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะมีวิธีการและขั้นตอนเช่นเดียวกันกับการศึกษาโดยใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะทำการทดลองดังนี้ คือ ชั่งและบรรจุน้ำมันสบู่ดำน้ำหนัก 100 กรัม ลงในปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.2 และใช้ปริมาณของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมันสบู่ดำที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอล ต่อ น้ำมันสบู่ดำที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.5 ซึ่งการเตรียมสารละลายเมทอกไซด์ทำได้โดยการชั่งโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณที่เหมาะสม ที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 ละลายในเมทานอลปริมาณที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองในข้อ 2.5 นำปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำ 100 กรัม แต่ละใบไปตั้งบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.4 เทสารละลายเมทอกไซด์ที่ได้ลงในปิกเกอร์แต่ละใบที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำ กวนด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสารโดยใช้ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิสารละลายในแต่ละปิกเกอร์ให้คงที่ เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดจึงถ่ายสารละลายลงในกรวยแยกตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นแยกส่วนของกลีเซอรินออก แล้วล้างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ด้วยน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 50 มิลลิลิตร หรือล้างจนเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีความเป็นกลาง โดยการไตรเอทิลที่ใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จะถูกกำจัดความชื้นโดยนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนักไบโอดีเซล และกลีเซอรินที่ได้

2.7 ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลต้นแบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

ชั่ง และบรรจุน้ำมันสบู่ดำน้ำหนัก 100 กรัม ลงในปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ นำปิกเกอร์แต่ละใบไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.2 และใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมันสบู่ดำที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.5 เตรียมเมทอกไซด์โดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 ละลายในเมทานอลปริมาณที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองในข้อ 2.5 นำปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำ 100 กรัม แต่ละใบไปตั้งบนเตาให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.4 จากนั้นเทสารละลายเมทอกไซด์ที่ได้

ลงในปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่นำมาด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสาร โดยใช้ความเร็วระดับ 1 ตามระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.6 ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ เมื่อครบตามระยะเวลาจึงถ่ายสารละลายลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง จากนั้นแยกส่วนของกลีเซอรินออก แล้วล้างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ด้วยน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 50 มิลลิลิตร หรือล้างจนเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีความเป็นกลาง ด้วยการไตเตรทโดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มากำจัดความชื้นโดยนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ซึ่งน้ำหนักไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่ได้

สำหรับการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลต้นแบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โดยใช้ต่างไปแต่สเต็มไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะมีวิธีการและขั้นตอนเช่นเดียวกันกับการศึกษาโดยใช้ต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ วิธีการทดลองดังนี้ ชั่ง และบรรจุน้ำมันสบู่ดำน้ำหนัก 100 กรัม ลงในปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ นำปิกเกอร์แต่ละใบไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.2 และใช้ปริมาณโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมันสบู่ดำที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 นอกจากนั้นยังศึกษาการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอล ต่อน้ำมันสบู่ดำที่เหมาะสม ที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.5 และเตรียมสารละลายเมทอกไซด์ โดยการชั่งโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.3 ละลายในเมทานอลปริมาณที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองในข้อ 2.5 นำปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำจำนวน 100 กรัม แต่ละใบไปตั้งบนเตาให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.4 จากนั้นเทสารละลายเมทอกไซด์ที่ได้ลงในปิกเกอร์ที่บรรจุน้ำมันสบู่ดำด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสาร โดยใช้ความเร็วระดับ 1 ตามระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.6 ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ เมื่อครบตามระยะเวลาจึงถ่ายสารละลายลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ 8 ชั่วโมง จากนั้นแยกส่วนของกลีเซอรินออก แล้วล้างเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ด้วยน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 50 มิลลิลิตร หรือล้างจนเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีความเป็นกลางด้วยการไตเตรทโดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นนำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มากำจัดความชื้นโดยนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ซึ่งน้ำหนักไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่ได้

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบที่ได้จากการทดลองภายใต้สภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จำนวน 2 ตัวอย่างจะถูกนำเสนอ หอปฏิบัติการเคมี วิศวกรรมศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อวิเคราะห์

คุณลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ซึ่งคุณภาพ และคุณลักษณะของไบโอดีเซลที่ดีจะต้องเป็นไปตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548



บทที่ 3

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล (Results and Discussion)

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ โดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งแบ่งการทดลองออกได้เป็นดังนี้ คือ การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันสบู่ดำ ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบู่ดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อผลิตไบโอดีเซล ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับการผลิตไบโอดีเซล และศึกษาการผลิตไบโอดีเซลต้นแบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันสบู่ดำตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันสบู่ดำ ซึ่งกรดไขมันในน้ำมันมีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันสบู่ดำ

ชนิดของกรดไขมันในตัวอย่างน้ำมันสบู่ดำ	ผลการทดสอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
1. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid)	
1.1 กรดปาล์มิติก (Palmitic acid; C16:0)	14.73
1.2 กรดเฮปทาดีคานอิก (Heptadecanoic acid; C17:0)	0.08
1.3 กรดสเตียริก (Stearic acid; C18:0)	6.60
1.4 กรดอาราชีดิก (Arachidic acid; C20:0)	0.18

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน
สบู่ดำ (ต่อ)

ชนิดของกรดไขมันในตัวอย่างน้ำมันสบู่ดำ	ผลการทดสอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
2.กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid)	
2.1 กรดปาล์มิโตเลอิก (Palmitoleic acid; C16:1)	0.84
2.2 กรดโอเลอิก (Oleic acid; C18:1n9c)	41.30
3.กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid)	
3.1 กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid; C18:2n6c)	35.92
3.2 กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid; C18:3n3)	0.16

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างน้ำมันสบู่ดำ ที่นำมาใช้ในการทดลอง พบว่าประกอบไปด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัว คือ กรดปาล์มิติกในปริมาณร้อยละ 14.73 กรดสเตียริกในปริมาณร้อยละ 0.08 กรดสเทียริกในปริมาณร้อยละ 6.60 และกรดลอริกในปริมาณร้อยละ 0.18 ส่วนกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวประกอบด้วยกรดปาล์มิโตเลอิก และกรดโอเลอิก ในปริมาณร้อยละ 0.84 และ 41.30 ตามลำดับ และนอกจากนั้นตัวอย่างน้ำมันสบู่ดำยังประกอบไปด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน คือ กรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิก ในปริมาณร้อยละ 35.92 และ 0.16 ตามลำดับ ตัวอย่างน้ำมันสบู่ดำที่ใช้ในการศึกษาทดลองครั้งนี้พบกรดโอเลอิกในปริมาณสูงสุด คือ ร้อยละ 41.30 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Foidl et al. (1996) พบว่าปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันสบู่ดำสายพันธุ์ Caboverde ประกอบด้วยกรดโอเลอิกในปริมาณสูงสุดเช่นเดียวกันโดยพบในปริมาณร้อยละ 44.70 ดังนั้นในตัวอย่างน้ำมันสบู่ดำที่ใช้ในการศึกษาทดลองครั้งนี้ และในน้ำมันสบู่ดำสายพันธุ์ Caboverde จะมีปริมาณกรดโอเลอิกเป็นองค์ประกอบหลัก (Foidl et al., 1996) ในขณะที่น้ำมันสบู่ดำสายพันธุ์ Nicaragua จะมีกรดลิโนเลอิกในปริมาณสูงถึงร้อยละ 43.20 (Foidl et al., 1996)

2. ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบูดำ ณ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบูดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยศึกษาที่ระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ดังนี้ คือ ร้อยละ 46.94, 49.46, 49.99, 50.25 และ 50.13 ตามลำดับ ผลที่ได้ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการศึกษาที่ระยะเวลาต่างๆ ในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบูดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

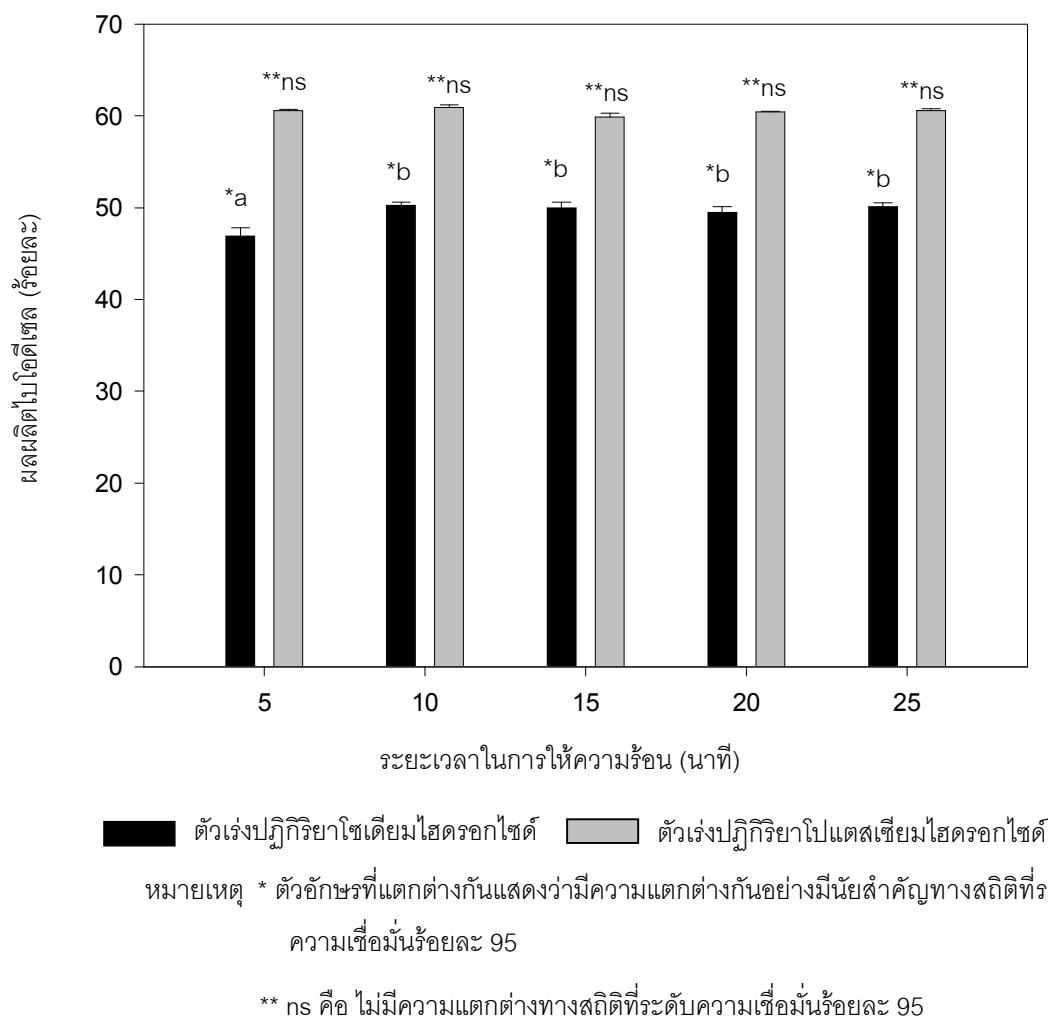
ระยะเวลาในการให้ความร้อน (นาที)	ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล (ร้อยละ)	
	ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์	ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์
5	46.94 ± 0.84 ^a	60.57 ± 0.17 ^{ns}
10	50.25 ± 0.35 ^b	60.95 ± 0.22 ^{ns}
15	49.99 ± 0.63 ^b	59.91 ± 0.39 ^{ns}
20	49.46 ± 0.66 ^b	60.42 ± 0.09 ^{ns}
25	50.13 ± 0.43 ^b	60.55 ± 0.22 ^{ns}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การทดลองระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบูดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ผลการทดลองที่ได้สามารถแบ่งกลุ่มของระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบูดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 5 นาที ได้ผลผลิตร้อยละ 46.94 กลุ่มที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 10, 15, 20 และ 25 นาที ได้ผลผลิตร้อยละ 50.25, 49.99, 49.46 และ 50.13 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากระยะเวลา 10, 15, 20 และ 25 นาที พบว่าค่าที่ได้จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 1 คือที่ระยะเวลา 5 นาที พบว่าค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และที่ระยะเวลา 10 นาที

จะได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด คือ 50.25 ในขณะที่การทดลองระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสนูปด้าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไปแตสเทียมไฮดรอกไซด์ผลการทดลองพบว่าปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที คือ ร้อยละ 60.57, 60.95, 59.91, 60.42 และ 60.55 ตามลำดับ ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากระยะเวลาดังกล่าวจะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าที่ระยะเวลา 10 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด คือ ร้อยละ 60.95 ผลการทดลองดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสนูปด้า ณ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด

ดังนั้นจากผลการทดลองข้างต้นจึงเลือกระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสนูปดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 10 นาที เนื่องจากสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ในปริมาณสูงสุด ทั้งนี้ที่ระยะเวลา 10 นาที จะเป็นการประหยัดเวลา และพลังงานที่ใช้ในการกำจัด ความชื้นหรือปริมาณน้ำ และกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมันสนูปดำ ได้ การใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนน้อยกว่า 10 นาที จะไม่สามารถกำจัดความชื้นออกจากน้ำมันสนูปดำได้หมด ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้มีปริมาณต่ำ **ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์ และคณะ, 2007** ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ได้จากเมล็ดยางพารา โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน ซึ่งนำน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดยางพารามาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อไล่ความชื้นหรือปริมาณน้ำ จากนั้นทำการลดปริมาณหรือกำจัดกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมัน ผลปรากฏว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลได้สูงสุดร้อยละ 89 ระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่น้ำมันเมล็ดยางพารา ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จากการศึกษาของประชาสันติ ไตรยสุทธิ์ และคณะ จะน้อยกว่าระยะเวลาที่ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากน้ำมันสนูปดำที่นำมาศึกษาจะมีความชื้น และปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่า ส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาในการกำจัดความชื้น และกรดไขมันอิสระนานกว่า

3. ผลการศึกษาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ปริมาณร้อยละ 0.5 พบว่าไม่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ เนื่องจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณดังกล่าวไม่เพียงพอที่จะเร่งปฏิกิริยา จากนั้นจึงได้ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองที่ระดับร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, และ 2.5 พบว่าได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลดังนี้ คือ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, และ 2.5 จะได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ร้อยละ 38.07, 51.54, 42.04 และ 37.68 ตามลำดับ สำหรับการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าว จะได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ร้อยละ 46.68, 68.40, 48.12 และ 44.26 ตามลำดับ ผลที่ได้ **ดังตารางที่ 14**

ตารางที่ 14 ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่าง ๆ

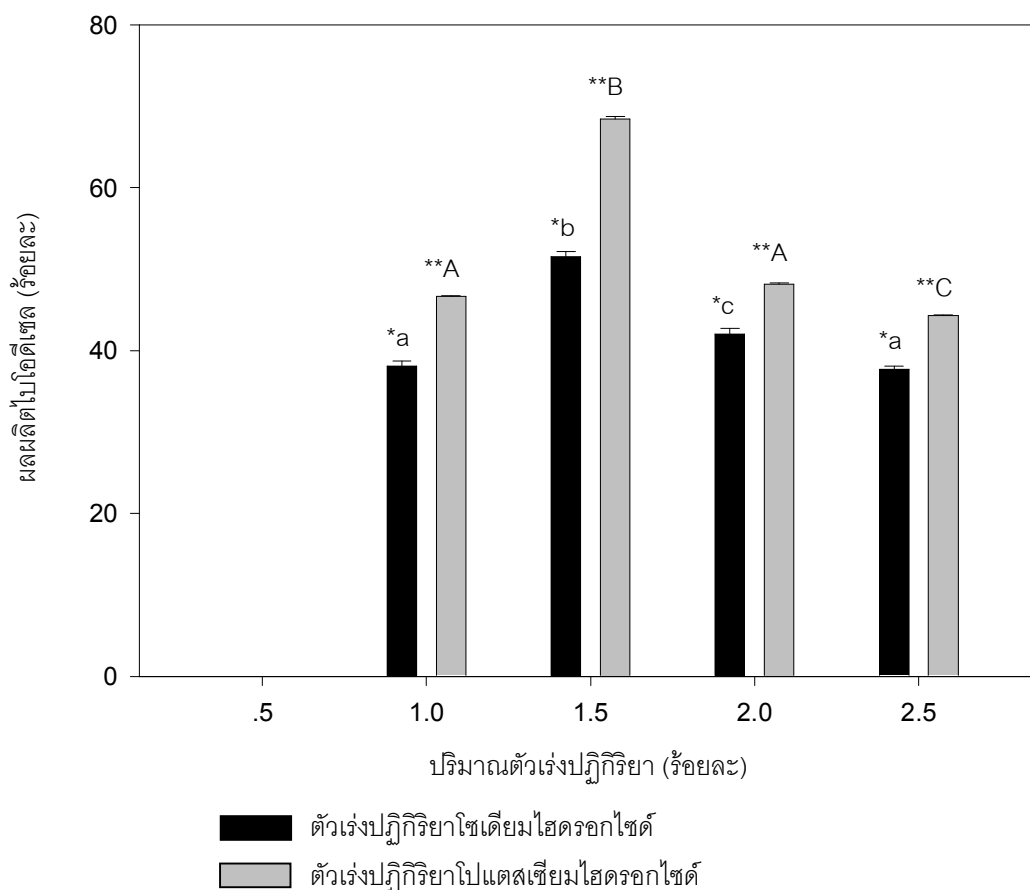
ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละ)	ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล (ร้อยละ)	
	ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์	ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์
0.5	ไม่เกิดไบโอดีเซล	ไม่เกิดไบโอดีเซล
1.0	38.07 ± 0.62^a	46.68 ± 0.09^A
1.5	51.54 ± 0.61^b	68.40 ± 0.33^B
2.0	42.04 ± 0.69^c	48.12 ± 0.19^A
2.5	37.68 ± 0.40^a	44.26 ± 0.10^C

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดลองเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์จะสามารถแบ่งปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณของไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.0 และ 2.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ได้ผลผลิตไบโอดีเซลเท่ากับร้อยละ 38.07 และ 37.68 ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยปริมาณของไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ได้ผลผลิตเท่ากับร้อยละ 51.54 และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยปริมาณของไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ได้ผลผลิตเท่ากับร้อยละ 42.04 ดังนั้นผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่ระดับร้อยละ 1.0 และ 2.5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในขณะเดียวกันเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่ระดับร้อยละ 1.5 และ 2.0 จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก จะสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ในปริมาณสูงถึงร้อยละ 51.54

ในขณะที่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์จะสามารถแบ่งปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมออกได้เป็น 3 กลุ่ม เช่นเดียวกัน คือ กลุ่มที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.0 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ได้ผลผลิตไบโอดีเซลเท่ากับร้อยละ 46.68 และ 48.12 ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยปริมาณของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ได้ผลผลิตไบโอดีเซลเท่ากับร้อยละ 68.40 และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยปริมาณของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก

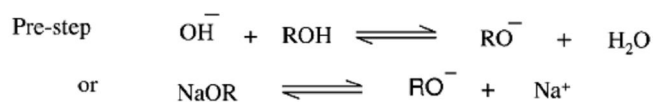
ได้ผลผลิตเท่ากับร้อยละ 44.26 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับร้อยละ 1.0 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ จะไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.5 และ 2.5 ค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก จะมีความเหมาะสมเนื่องจากสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ในปริมาณ สูงสุดถึงร้อยละ 68.40 ผลการทดลองดังภาพที่ 10



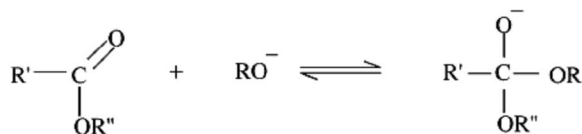
หมายเหตุ *, ** ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาพที่ 10 แผนภูมิเปรียบเทียบผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

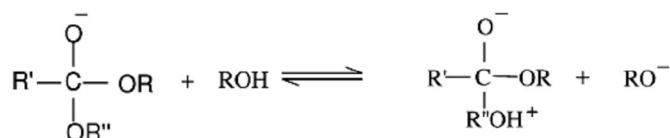
กลไกในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์จะเกิดขึ้นโดยในขั้นตอนแรกของปฏิกิริยาจะเกิดการชนกันระหว่างอัลคอกไซด์ไอออน (alkoxide ion) กับตำแหน่งคาร์บอนิลคาร์บอน (carbonyl carbon) ของโมเลกุล ไตรกลีเซอไรด์ส่งผลทำให้เกิดสารตัวกลาง (intermediate) ที่มีโครงสร้างแบบเตตระฮีดรอล (tetrahedral) จากนั้นในขั้นตอนที่สองของปฏิกิริยาสารตัวกลางดังกล่าวจะเข้าทำปฏิกิริยากับ แอลกอฮอล์แล้วเกิดการสร้างอัลคอกไซด์ไอออน ขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยาสารตัวกลางที่มี โครงสร้างแบบเตตระฮีดรอลจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่เกิดโครงสร้างของเอสเทอร์ และไดกลีเซอไรด์ (Ma and Hanna, 1999) กลไกที่เกิดขึ้นดังแสดงในภาพที่ 9 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีค่าที่เหมาะสมเพียงค่าหนึ่งเท่านั้น หากใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาใน ปริมาณที่มากเกินไป หรือน้อยจนเกินไปจะไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันให้ เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ส่งผลทำให้ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้มีปริมาณต่ำ หรือบางครั้งจะไม่เกิด ผลผลิตทันทีไบโอดีเซล และยังทำให้เกิดสบูขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยา (Dorado et al., 2002) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงร้อยละ 0.5 – 1.0 โดยน้ำหนัก (Barnwal และ Sharma, 2005; Srivastava และ Prasad, 2000) ส่วนใหญ่ตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์จะถูกนำไปใช้ในการเร่งปฏิกิริยาที่ระดับความเข้มข้นระหว่าง ร้อยละ 0.4 – 2.0 โดยน้ำหนัก (Tomasevic และ Marinkovic, 2003) การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจะส่งผลในการลดปริมาณผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ นอกจากนั้นการใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสูงๆ จะทำให้เกิดสบู และทำให้สารตัวเร่งที่จะเข้าทำปฏิกิริยามีความหนืดสูงขึ้นส่งผลทำให้ได้ผลผลิตไบโอดีเซลในปริมาณต่ำ (Dorado et al., 2004) นอกจากนั้น Ikwaagwu และคณะ, 2000 ได้รายงานเกี่ยวกับการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัด ได้จากเมล็ดยาง โดยศึกษาความเข้มข้น ของตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม และ สัดส่วนของน้ำมันจากเมล็ดยาง ต่อ เมทานอลเท่ากับ 6:1 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จะถูกนำไปศึกษา คุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางเคมี เพื่อเปรียบเทียบกับเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมัน เมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันดีเซล และ น้ำมันแฟลกซ์ ผลที่ได้พบว่าความเข้มข้นของไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการเกิดเมทิลเอสเทอร์เท่ากับร้อยละ 1 ของน้ำหนักวัตถุดิบ โดยจะ ให้ปริมาณผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ ร้อยละ 84 Ma, Clements และ Hanna (1998) ได้รายงานผล การทดลองการเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างไซเดียมไฮดรอกไซด์และไซเดียมเมทอกไซด์ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ผลในการเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมเมทอกไซด์



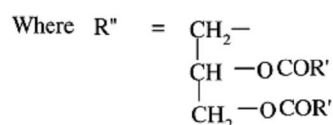
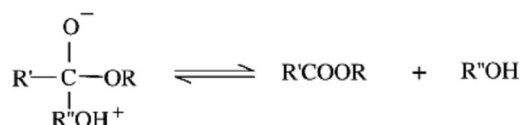
Step. 1.



Step. 2.



Step. 3.



$\text{R}' = \text{Carbon chain of fatty acid}$

$\text{R} = \text{Alkyl group of alcohol}$

ภาพที่ 11 กลไกการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของตัวเร่งปฏิกิริยาด่าง

4. ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสุบุดำโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

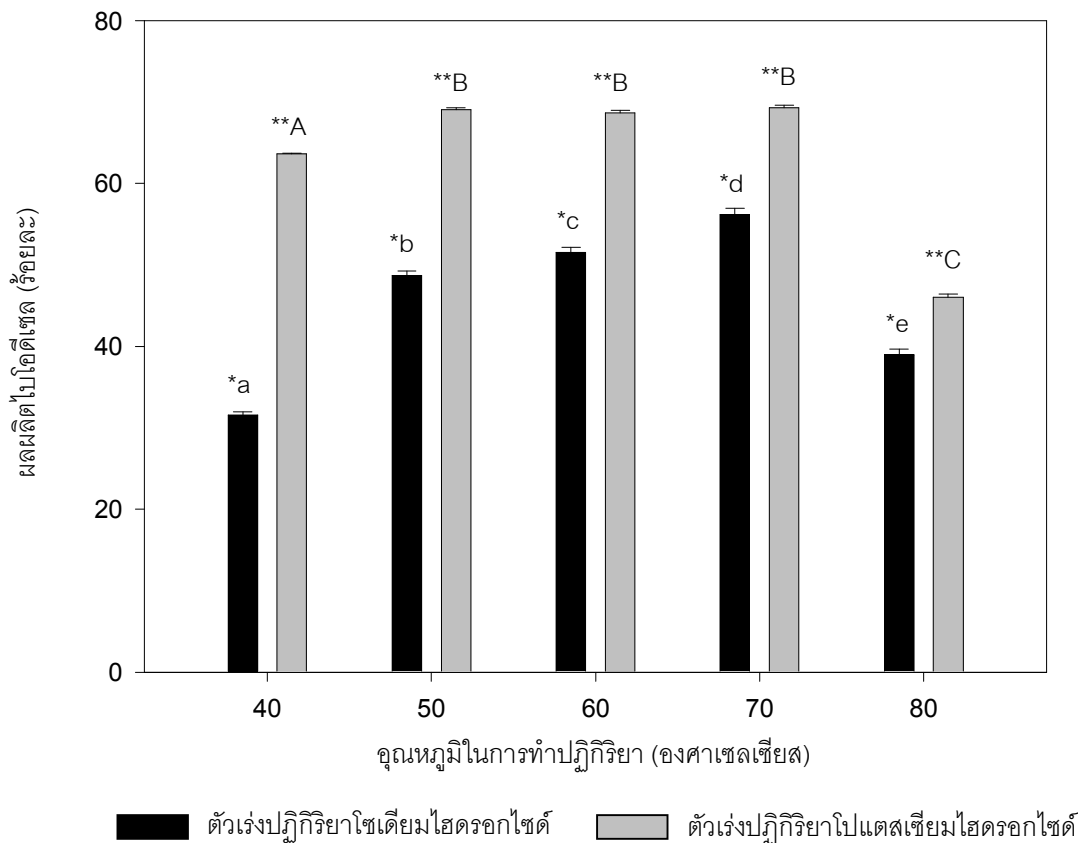
การศึกษาคูณหภูมิต่างๆ ในการทำปฏิกิริยาจะดำเนินการศึกษาที่อุณหภูมิระดับ 40, 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลดังนี้ คือ ร้อยละ 31.59, 48.67, 51.54, 56.19 และ 38.95 ตามลำดับ ผลที่ได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอร์ิฟิเคชันที่ระดับต่าง ๆ

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล (ร้อยละ)	
	ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์	ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์
40	31.60 ± 0.35^a	63.61 ± 0.11^A
50	48.67 ± 0.61^b	69.07 ± 0.22^B
60	51.54 ± 0.61^c	68.66 ± 0.32^B
70	56.19 ± 0.77^d	69.28 ± 0.30^B
80	38.95 ± 0.69^e	46.06 ± 0.34^C

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดลองอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล ร้อยละ 31.60, 48.67, 51.54, 56.19 และ 38.95 ตามลำดับ ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากอุณหภูมิดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงที่สุด คือ ร้อยละ 51.54 ในขณะที่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ซึ่งกลุ่มที่ 1 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้ผลผลิตร้อยละ 63.61 กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ได้ผลผลิตร้อยละ 69.07, 68.66 และ 69.28 ตามลำดับ กลุ่มที่ 3 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ได้ผลผลิตร้อยละ 46.06 ในกลุ่มที่ 2 ที่อุณหภูมิ 50, 60, และ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 1 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และกลุ่มที่ 3 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดลองดังภาพที่ 12



หมายเหตุ *, ** ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาพที่ 12 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทราเนอโรซิฟิเคชัน

ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากที่สุด คือ 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากสามารถผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ในปริมาณสูงที่สุด คือ ร้อยละ 56.19 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์ และ ร้อยละ 69.28 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Cvengro and Povaz (1996) ได้อธิบายการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากน้ำมันเมล็ดเรพโดยใช้เมทานอลที่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ 70 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นยังมีนักวิจัยได้รายงานเกี่ยวกับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งพบว่าจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 25 – 120 องศาเซลเซียส (Ma และ Hanna, 1999; Fukuda, Kondo และ Noda, 2001; Barnwal และ Sharma, 2005; Zhang et al., 2003; Freedman, Pryde และ Mounts, 1984; Nouredini และ Zhu, 1997; Freedman, Butterfield และ Pryde, 1986; Mittelbach และ Tratnigg, 1990) นอกจากนั้นพบว่าผลการทดลองที่ดังกล่าวยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Cvengros และ Povazanec ในปี ค.ศ.1996 ซึ่ง

ได้รายงานเกี่ยวกับการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดเรพ (repe seed) โดยใช้ไฮเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเมทานอล และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 70 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) ที่ร้อยละ 98.70 อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ จึงทำให้ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้มีปริมาณสูง นอกจากนั้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสูงกว่าจุดเดือดของเมทานอลอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงเนื่องจากเมทานอลที่ใช้ทำปฏิกิริยาจะเกิดการระเหยก่อนการทำปฏิกิริยาจึงส่งผลให้ได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลต่ำ (Cvengros และ Povazanec, 1996)

5. ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

การศึกษ้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำ ที่อัตราส่วน 10 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัมไขมันสบู่ดำ) พบว่าจะไม่เกิดผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเมทานอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีสัดส่วนที่น้อยจนเกินไป จึงทำให้เกิดเฉพาะกลีเซอรอลเท่านั้น แต่ที่ระดับอัตราส่วน 15 : 100, 20 : 100, 25 : 100 และ 30 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัมไขมันสบู่ดำ) ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ ดังนี้ คือ ร้อยละ 43.87, 53.21, 56.19 และ 42.03 ตามลำดับ ผลที่ได้ดังตารางที่ 16

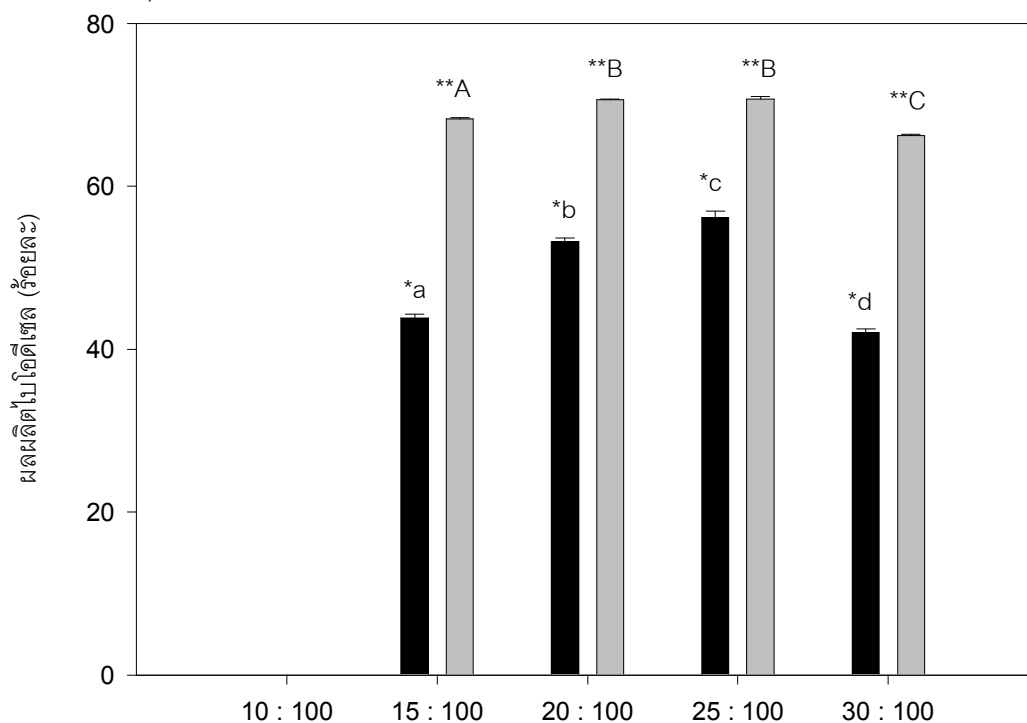
ตารางที่ 16 ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากการศึกษ้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง เมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำ (กรัมเมทานอล : กรัมไขมันสบู่ดำ)	ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล (ร้อยละ)	
	ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์	ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์
10 : 100	ไม่เกิดไบโอดีเซล	ไม่เกิดไบโอดีเซล
15 : 100	43.87 ± 0.44 ^a	68.24 ± 0.16 ^A
20 : 100	53.21 ± 0.45 ^b	70.67 ± 0.08 ^B
25 : 100	56.19 ± 0.77 ^c	70.71 ± 0.35 ^B
30 : 100	42.03 ± 0.47 ^d	66.25 ± 0.15 ^C

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดลองการหาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำที่เหมาะสมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 10 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัม น้ำมันสบูดำ) พบว่าจะไม่เกิดผลผลิตไบโอดีเซล และที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำที่ 15 : 100, 20 : 100, 25 : 100 และ 30 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัม น้ำมันสบูดำ) ได้ผลผลิตไบโอดีเซล ร้อยละ 43.87, 53.21, 56.19 และ 42.03 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวที่ได้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำ 25 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัม น้ำมันสบูดำ) จะให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด คือ ร้อยละ 56.19 ในขณะที่การหาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำที่เหมาะสมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราส่วน 10 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัม น้ำมันสบูดำ) พบว่าจะไม่เกิดผลผลิตไบโอดีเซลเช่นเดียวกัน แต่ที่อัตราส่วน 15 : 100, 20 : 100, 25 : 100 และ 30 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัม น้ำมันสบูดำ) ซึ่งจะสามารถแบ่งกลุ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำที่เหมาะสมออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำที่ 15 : 100 ได้ผลผลิตไบโอดีเซลร้อยละ 68.24 กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำ 20 : 100 และ 25 : 100 ได้ผลผลิตไบโอดีเซล ร้อยละ 70.67 และ 70.71 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกลุ่มที่ 3 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำ 30 : 100 ได้ผลผลิตไบโอดีเซลร้อยละ 66.25 ซึ่งเมื่อนำผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ทั้ง 3 กลุ่มมาเปรียบเทียบกันพบว่าค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำที่ 25 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัม น้ำมันสบูดำ) ให้ผลผลิตไบโอดีเซลได้สูงสุด คือ ร้อยละ 70.71 ดังนั้นผลการทดลองการหาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำ ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ และตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ ที่อัตราส่วน 25:100 (กรัมเมทานอล : กรัม น้ำมันสบูดำ) เพราะสามารถให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลได้สูงสุด ผลการทดลองดังภาพที่ 13 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อัตราส่วนดังกล่าวเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ในขณะที่เดียวกันการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อ น้ำมันสบูดำในสัดส่วนที่ไม่ เหมาะสม จะส่งผลทำให้ไม่เกิดผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล จากรายงานวิจัยของ **Foidl และคณะ, 1996** ได้ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบูดำ (*Jatropha curcas*) 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ Coboverde และพันธุ์ Nicaragua โดยใช้เมทานอล และเอทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในการเตรียมเมทิลเอสเทอร์จะใช้น้ำมันดิบ 100 กรัม ผสมกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 กรัม และเมทานอล 15.55 กรัม อุณหภูมิ

ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 75 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 90 นาที ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ และเอทิลเอสเทอร์ ที่ได้ คือ ร้อยละ 92 และ 84.40 ตามลำดับ การใช้เมทานอลเพื่อเตรียมเมทิลเอสเทอร์ หรือผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้เอทานอล ซึ่งการผลิตในระดับอุตสาหกรรมการใช้ เอทานอลในการผลิต ไบโอดีเซลจะส่งผลทำให้น้ำเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตในปริมาณ สูง (Korus et al., 1993) เกิดผลิตภัณฑ์สบู่ขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (Chowdhury และ Mukherji, 1954) ตลอดจนพบว่าเกิดความยุ่งยากในการแยกกลีเซอรอลออกจากผลิตภัณฑ์ (Wright et al., 1944) และเกิดปัญหาในการทำผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์ (Kusy, 1982) นอกจากนั้น Zhou, Konar และ Boocock (2003) ยังได้รายงานเกี่ยวกับผลการใช้เอทานอล และเมทานอลในการผลิตไบโอดีเซลพบว่าในระหว่างกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะเกิดอิมัลชันขึ้นซึ่งการใช้เมทานอลในการผลิตอิมัลชันที่เกิดขึ้นในชั้นของกลีเซอรอล และ ไบโอดีเซลจะสามารถสลายตัวได้ง่าย และรวดเร็ว ในขณะที่การใช้เอทานอลในการผลิตอิมัลชันที่เกิดขึ้นจะมีความคงตัวสูงส่งผลให้เกิดความยุ่งยากในการแยกและทำบริสุทธิ์ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล



อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำ (กรัมเมทานอล : กรัมน้ำมันสบู่ดำ)

■ ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ ■ ตัวเร่งปฏิกิริยาไปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

หมายเหตุ *, ** ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่

ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาพที่ 13 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตไอดีเซลที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน สบู่ดำที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

6. ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยจะศึกษาที่ระยะเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที ได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลแสดงผลที่ได้ดังตารางที่ 17

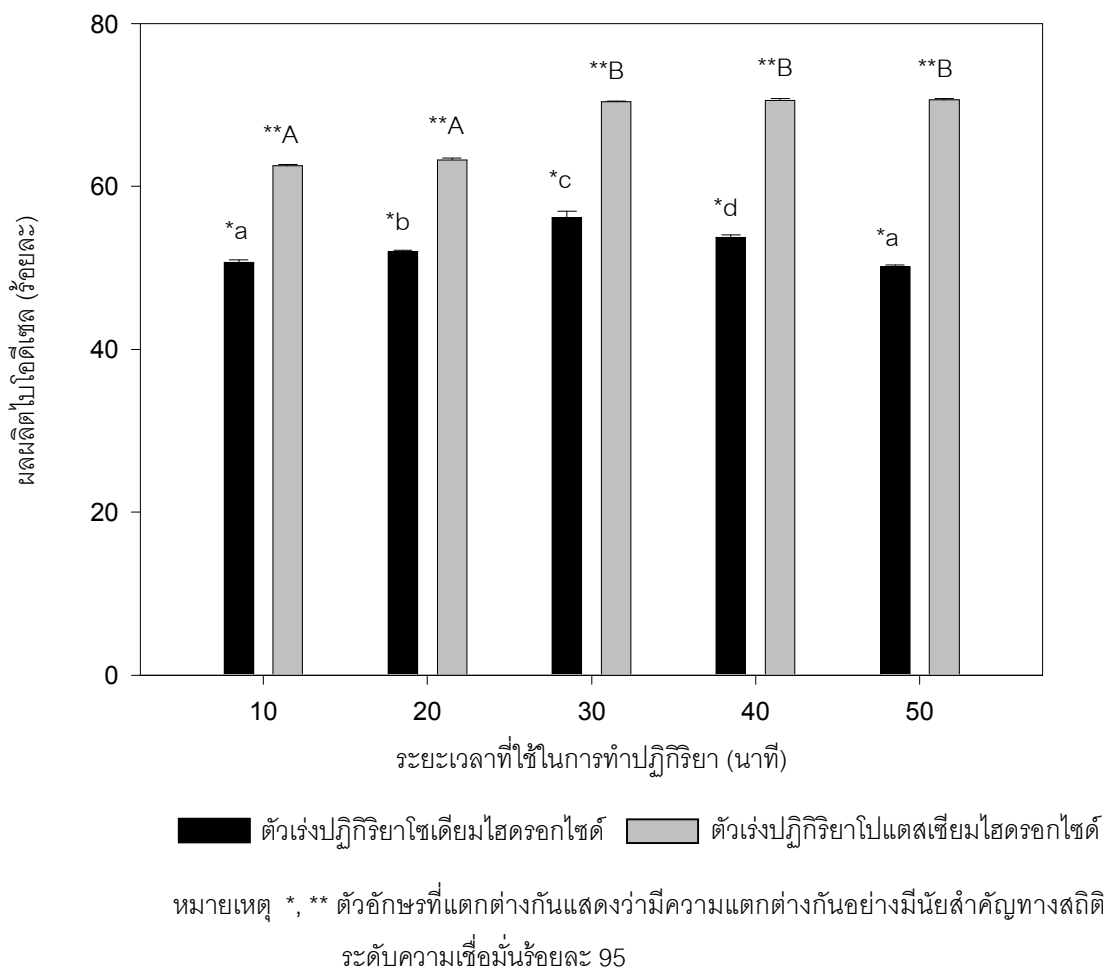
ตารางที่ 17 ปริมาณผลผลิตไอดีเซลที่ได้จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล (ร้อยละ)	
	ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์	ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์
10	50.67 ± 0.27^a	62.56 ± 0.17^A
20	51.97 ± 0.22^b	63.27 ± 0.19^A
30	56.19 ± 0.77^c	70.36 ± 0.10^B
40	53.74 ± 0.29^d	70.57 ± 0.26^B
50	50.11 ± 0.23^a	70.61 ± 0.22^B

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ ในงานวิจัยครั้งนี้จะศึกษาที่ระยะเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที ได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ร้อยละ 50.67, 51.97, 56.19, 53.74 และ 50.11 ตามลำดับจากผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จะสามารถจัดกลุ่มของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 10 และ 50 นาที ได้ผลผลิตไบโอดีเซลร้อยละ 50.67 และ 50.11 ค่าที่ได้จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่มที่ 2 ระยะเวลา 20 นาที ได้ผลผลิตร้อยละ 51.97 กลุ่มที่ 3 ระยะเวลา 30 นาที ได้ผลผลิตร้อยละ 56.19 กลุ่มที่ 4 ระยะเวลา 40 นาที ได้ผลผลิตร้อยละ 53.74 เมื่อนำค่าปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้แต่ละกลุ่มมาเปรียบเทียบกันพบว่าค่าปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระยะเวลา 30 นาที จะมีความเหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากสามารถให้ผลผลิตไบโอดีเซลได้

สูงที่สุดคือร้อยละ 56.19 ในขณะที่ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์โดยศึกษาที่ระยะเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที ได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ร้อยละ 62.56, 63.27, 70.36, 70.57 และ 70.61 ตามลำดับ จากผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ดังกล่าวจะสามารถจัดกลุ่มของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 10 และ 20 นาที ได้ผลผลิตไบโอดีเซล ร้อยละ 62.56 และ 63.27 ตามลำดับ ค่าที่ได้จะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่มที่ 2 ระยะเวลา 30, 40 และ 50 นาที ได้ผลผลิตไบโอดีเซล ร้อยละ 70.36, 70.57 และ 70.6 ตามลำดับ ค่าที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับพบว่า จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อนำผลผลิตไบโอดีเซลกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มาเปรียบเทียบกับพบว่าค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ จะอยู่ที่ช่วง 30–50 นาที เนื่องจากสามารถให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลได้สูงที่สุดผลการทดลองดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับผลิตไบโอดีเซล

ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ จะพิจารณาเลือกใช้ที่ระยะเวลา 30 นาที เนื่องจากสามารถให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลได้สูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Foidl และคณะ (1996) ที่เตรียมไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันสุบุดำโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 30 นาที นอกจากนั้นประชาชนติ ไตรยสุทธิ และคณะ (2007) ได้รายงานการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจาก น้ำมันเมล็ดยางพารา โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา และใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือ 30 นาที เช่นเดียวกัน พบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลได้สูงสุดถึงร้อยละ 89 นอกจากนั้น Ma และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของระยะเวลาที่มีต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากไขมันสัตว์โดยใช้เมทานอล ซึ่งพบว่าในช่วงแรกปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ช้าทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงที่เมทานอลเกิดการกระจายตัว และเข้ารวมตัวกับไขมันสัตว์ หลังจากนั้นปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้เร็วมากที่ช่วงเวลา 1 – 5 นาที และปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์เมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที

7. ผลการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลต้นแบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

การศึกษากการผลิตไบโอดีเซลต้นแบบจำนวน 2 สูตร คือ สูตร MJUP-B1 และ สูตร MJUP-B2 ซึ่งทั้งสองสูตรจะศึกษาภายใต้สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตดังนี้ คือ ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการให้ความร้อนแก่น้ำมันสุบุดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอร์ฟิเคชัน อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสุบุดำ ที่เหมาะสม และระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยไบโอดีเซลสูตร MJUP-B1 จะผลิตภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังนี้ คือระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสุบุดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่ 10 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซลที่ร้อยละ 1.5 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 70 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง เมทานอลต่อน้ำมันสุบุดำ คือ 25 : 100 และระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ 30 นาที จากผลการศึกษาพบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B1 ได้ในปริมาณสูงสุด คือ ร้อยละ 56.23

สำหรับไบโอดีเซลสูตร MJUP-B2 จะผลิตภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังนี้ คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบูดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่ 10 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซลที่ร้อยละ 1.5 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 70 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง เมทานอลต่อ น้ำมันสบูดำ คือ 25 : 100 และระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ 30 นาที จากผลการศึกษพบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B1 ได้ในปริมาณสูงสุด คือ ร้อยละ 70.51 จากนั้นผลิตภัณท์ไบโอดีเซลต้นแบบ MJUP-B1 และ MJUP-B2 ที่ผลิตได้จะถูกนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 ณ ห้องปฏิบัติการเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่าผลิตภัณท์ไบโอดีเซลต้นแบบ MJUP-B1 จะมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงถึงร้อยละ 97.30 และเป็นไปตามค่ามาตรฐานของไบโอดีเซลตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 ในขณะที่ผลิตภัณท์ไบโอดีเซลต้นแบบ MJUP-B2 จะมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ร้อยละ 92.60 ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานของไบโอดีเซลตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 สำหรับค่าการวิเคราะห์ต่างๆ ของไบโอดีเซลต้นแบบ MJUP-B1 และ MJUP-B2 แสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 และผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณท์ไบโอดีเซลต้นแบบ MJUP-B1 และ MJUP-B2 จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ลำดับที่	ค่าที่วิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์		
		ไบโอดีเซล ^a มาตรฐาน	ไบโอดีเซล ^b ต้นแบบ MJUP-B1	ไบโอดีเซล ^c ต้นแบบ MJUP-B2
1.	เมทิลเอสเทอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่ต่ำกว่า 96.5	97.30	92.60
2.	ความหนาแน่นที่ 15 °C (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ไม่ต่ำกว่า 860 และ ไม่สูงกว่า 900	879.30	881.10
3.	ความหนืดจลน์ที่ 40 °C (เซนติสโตกส์)	ไม่ต่ำกว่า 3.5 และ ไม่สูงกว่า 5.0	4.33	4.71

4.	จุดวาบไฟ (°C)	ไม่ต่ำกว่า 120	178.00	174.50
5.	กากถ่าน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.30	น้อยกว่า 0.10	น้อยกว่า 0.10
6.	เถ้าซิลิเกต (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.02	น้อยกว่า 0.02	น้อยกว่า 0.02

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 และผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบ MJUP-B1 และ MJUP-B2 จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ต่อ)

ลำดับที่	ค่าที่วิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์		
		ไบโอดีเซล ^a มาตรฐาน	ไบโอดีเซล ^b ต้นแบบ MJUP-B1	ไบโอดีเซล ^c ต้นแบบ MJUP-B2
7.	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.0024	0.0006	0.0022
8.	การกัดกร่อนแผ่นทองแดงที่ 50 °C 3 ชั่วโมง	ไม่สูงกว่า หมายเลข 1	1 a	1a
9.	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน ณ 110 °C (ชั่วโมง)	ไม่ต่ำกว่า 6	5.40	3.50
10.	ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม)	ไม่สูงกว่า 0.50	0.18	0.17
11.	ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีน/100 กรัม)	ไม่สูงกว่า 120	98.40	97.4
12.	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 12.0	0.08	0.30
13.	เมทานอล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.20	น้อยกว่า 0.01	น้อยกว่า 0.01
14.	โมโนกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.80	0.40	0.65
15.	ไดกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.20	น้อยกว่า 0.1	0.61
16.	ไตรกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.20	น้อยกว่า 0.1	2.40

17.	กลีเซอรินอิสระ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.02	น้อยกว่า 0.01	น้อยกว่า 0.01
-----	--------------------------------------	-----------------	---------------	---------------

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 และผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบ MJUP-B1 และ MJUP-B2 จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ต่อ)

ลำดับที่	ค่าที่วิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์		
		ไบโอดีเซล ^ก มาตรฐาน	ไบโอดีเซล ^ข ต้นแบบ MJUP-B1	ไบโอดีเซล ^ค ต้นแบบ MJUP-B2
18.	กลีเซอรินทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.25	น้อยกว่า 0.14	น้อยกว่า 0.51
19.	เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่ได้กำหนด	น้อยกว่า 0.01	น้อยกว่า 0.01
20.	จุดชุน (°C)	ไม่ได้กำหนด	3.00	3.00
21.	จุดไหลเท (°C)	ไม่ได้กำหนด	3.00	3.00
22.	ค่าความร้อนการเผาไหม้แบบgross (แคลอรี/กรัม)	ไม่ได้กำหนด	9530.00	9518.00

จากผลการวิเคราะห์คุณลักษณะ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B1 และ สูตร MJUP-B2 จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่าผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B1 มีค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ที่ 5.40 ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ต้องไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง สำหรับค่าการวิเคราะห์อื่นๆ ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B1 มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 (ผลดังตารางที่ 18) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B2 นั้นพบว่า มีค่าเมทิลเอสเทอร์ ร้อยละ 92.60 ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดค่าเมทิลเอสเทอร์ต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 96.5 ส่วนค่า

เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ 110 องศาเซลเซียส จะมีค่าเท่ากับ 3.50 ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ต้องไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง สำหรับค่าไดกลีเซอไรด์ ค่าไตรกลีเซอไรด์ และค่ากลีเซอริน ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B2 ที่ได้มีค่าไม่เป็นไปตามมาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548



บทที่ 3

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล (Results and Discussion)

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ โดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งแบ่งการทดลองออกได้เป็นดังนี้ คือ การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันสบู่ดำ ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบู่ดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อผลิตไบโอดีเซล ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับการผลิตไบโอดีเซล และศึกษาการผลิตไบโอดีเซลต้นแบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันสบู่ดำตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันสบู่ดำ ซึ่งกรดไขมันในน้ำมันมีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันสบู่ดำ

ชนิดของกรดไขมันในตัวอย่างน้ำมันสบู่ดำ	ผลการทดสอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
1. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid)	
1.1 กรดปาล์มิติก (Palmitic acid; C16:0)	14.73
1.2 กรดเฮปทาดีคานอิก (Heptadecanoic acid; C17:0)	0.08
1.3 กรดสเตียริก (Stearic acid; C18:0)	6.60
1.4 กรดอาราชีดิก (Arachidic acid; C20:0)	0.18

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน
สบู่ดำ (ต่อ)

ชนิดของกรดไขมันในตัวอย่างน้ำมันสบู่ดำ	ผลการทดสอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
2.กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid)	
2.1 กรดปาล์มิโตเลอิก (Palmitoleic acid; C16:1)	0.84
2.2 กรดโอเลอิก (Oleic acid; C18:1n9c)	41.30
3.กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid)	
3.1 กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid; C18:2n6c)	35.92
3.2 กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid; C18:3n3)	0.16

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างน้ำมันสบู่ดำ ที่นำมาใช้ในการทดลอง พบว่าประกอบไปด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัว คือ กรดปาล์มิติกในปริมาณร้อยละ 14.73 กรดสเตียริกในปริมาณร้อยละ 0.08 กรดสเทียริกในปริมาณร้อยละ 6.60 และกรดลอริกในปริมาณร้อยละ 0.18 ส่วนกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวประกอบด้วยกรดปาล์มิโตเลอิก และกรดโอเลอิก ในปริมาณร้อยละ 0.84 และ 41.30 ตามลำดับ และนอกจากนั้นตัวอย่างน้ำมันสบู่ดำยังประกอบไปด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน คือ กรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิก ในปริมาณร้อยละ 35.92 และ 0.16 ตามลำดับ ตัวอย่างน้ำมันสบู่ดำที่ใช้ในการศึกษาทดลองครั้งนี้พบกรดโอเลอิกในปริมาณสูงสุด คือ ร้อยละ 41.30 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Foidl et al. (1996) พบว่าปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันสบู่ดำสายพันธุ์ Caboverde ประกอบด้วยกรดโอเลอิกในปริมาณสูงสุดเช่นเดียวกันโดยพบในปริมาณร้อยละ 44.70 ดังนั้นในตัวอย่างน้ำมันสบู่ดำที่ใช้ในการศึกษาทดลองครั้งนี้ และในน้ำมันสบู่ดำสายพันธุ์ Caboverde จะมีปริมาณกรดโอเลอิกเป็นองค์ประกอบหลัก (Foidl et al., 1996) ในขณะที่น้ำมันสบู่ดำสายพันธุ์ Nicaragua จะมีกรดลิโนเลอิกในปริมาณสูงถึงร้อยละ 43.20 (Foidl et al., 1996)

2. ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบูดำ ณ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบูดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยศึกษาที่ระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ดังนี้ คือ ร้อยละ 46.94, 49.46, 49.99, 50.25 และ 50.13 ตามลำดับ ผลที่ได้ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการศึกษาที่ระยะเวลาต่างๆ ในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบูดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

ระยะเวลาในการให้ความร้อน (นาที)	ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล (ร้อยละ)	
	ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์	ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์
5	46.94 ± 0.84 ^a	60.57 ± 0.17 ^{ns}
10	50.25 ± 0.35 ^b	60.95 ± 0.22 ^{ns}
15	49.99 ± 0.63 ^b	59.91 ± 0.39 ^{ns}
20	49.46 ± 0.66 ^b	60.42 ± 0.09 ^{ns}
25	50.13 ± 0.43 ^b	60.55 ± 0.22 ^{ns}

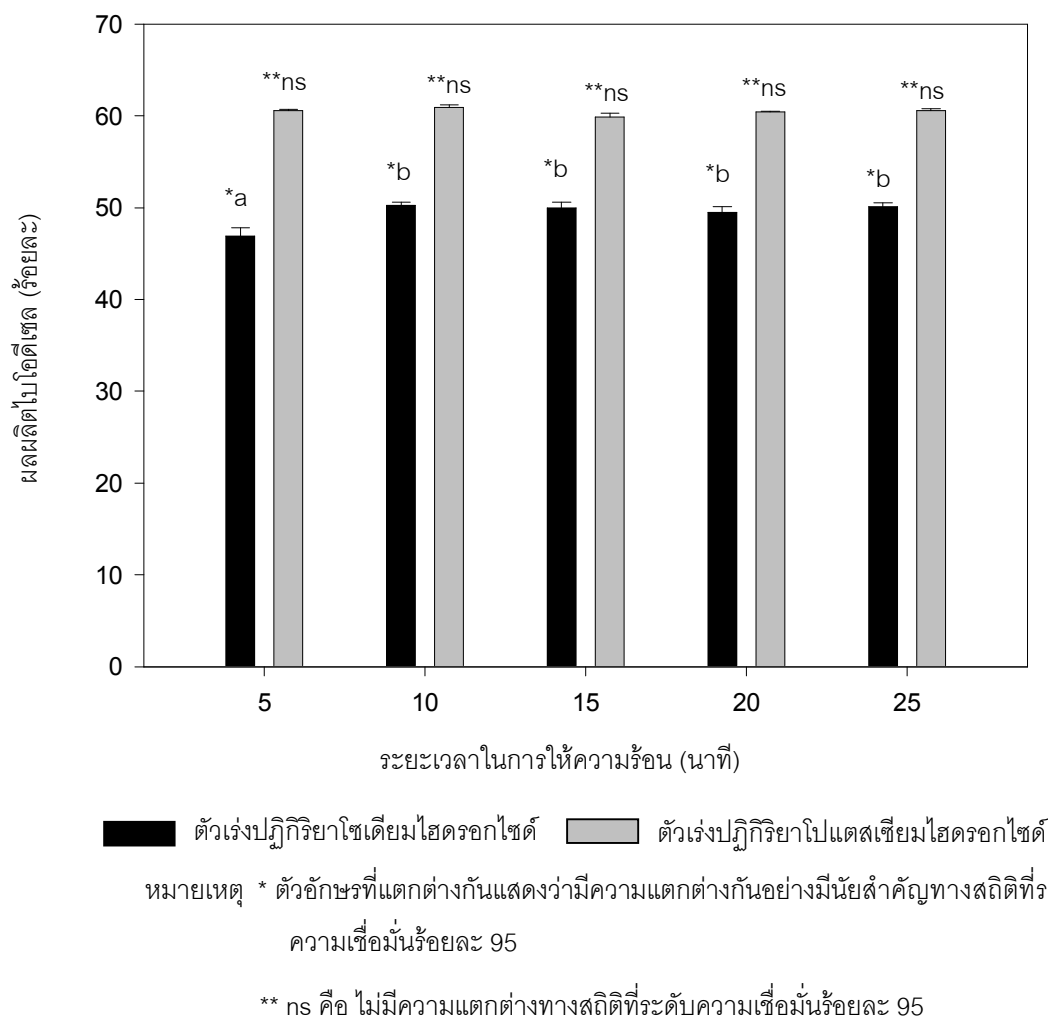
หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การทดลองระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบูดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ผลการทดลองที่ได้สามารถแบ่งกลุ่มของระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบูดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 5 นาที ได้ผลผลิตร้อยละ 46.94 กลุ่มที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 10, 15, 20 และ 25 นาที ได้ผลผลิตร้อยละ 50.25, 49.99, 49.46 และ 50.13 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากระยะเวลา 10, 15, 20 และ 25 นาที พบว่าค่าที่ได้จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 1 คือที่ระยะเวลา 5 นาที พบว่าค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และที่ระยะเวลา 10 นาที

จะได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด คือ 50.25 ในขณะที่การทดลองระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสนูปด้าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไปแตสเทียมไฮดรอกไซด์ผลการทดลองพบว่าปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที คือ ร้อยละ 60.57, 60.95, 59.91, 60.42 และ 60.55 ตามลำดับ ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากระยะเวลาดังกล่าวจะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าที่ระยะเวลา 10 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด คือ ร้อยละ 60.95 ผลการทดลองดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสนูปด้า ณ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ชนิด

ดังนั้นจากผลการทดลองข้างต้นจึงเลือกระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสนูปดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 10 นาที เนื่องจากสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ในปริมาณสูงสุด ทั้งนี้ที่ระยะเวลา 10 นาที จะเป็นการประหยัดเวลา และพลังงานที่ใช้ในการกำจัด ความชื้นหรือปริมาณน้ำ และกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมันสนูปดำ ได้ การใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนน้อยกว่า 10 นาที จะไม่สามารถกำจัดความชื้นออกจากน้ำมันสนูปดำได้หมด ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้มีปริมาณต่ำ **ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์ และคณะ, 2007** ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ได้จากเมล็ดยางพารา โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน ซึ่งนำน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดยางพารามาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อไล่ความชื้นหรือปริมาณน้ำ จากนั้นทำการลดปริมาณหรือกำจัดกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมัน ผลปรากฏว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลได้สูงสุดร้อยละ 89 ระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่น้ำมันเมล็ดยางพารา ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จากการศึกษาของประชาสันติ ไตรยสุทธิ์ และคณะ จะน้อยกว่าระยะเวลาที่ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากน้ำมันสนูปดำที่นำมาศึกษาจะมีความชื้น และปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่า ส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลาในการกำจัดความชื้น และกรดไขมันอิสระนานกว่า

3. ผลการศึกษาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

จากการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ปริมาณร้อยละ 0.5 พบว่าไม่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้ เนื่องจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณดังกล่าวไม่เพียงพอที่จะเร่งปฏิกิริยา จากนั้นจึงได้ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองที่ระดับร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, และ 2.5 พบว่าได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลดังนี้ คือ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, และ 2.5 จะได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ร้อยละ 38.07, 51.54, 42.04 และ 37.68 ตามลำดับ สำหรับการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าว จะได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ร้อยละ 46.68, 68.40, 48.12 และ 44.26 ตามลำดับ ผลที่ได้ **ดังตารางที่ 14**

ตารางที่ 14 ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่ระดับต่าง ๆ

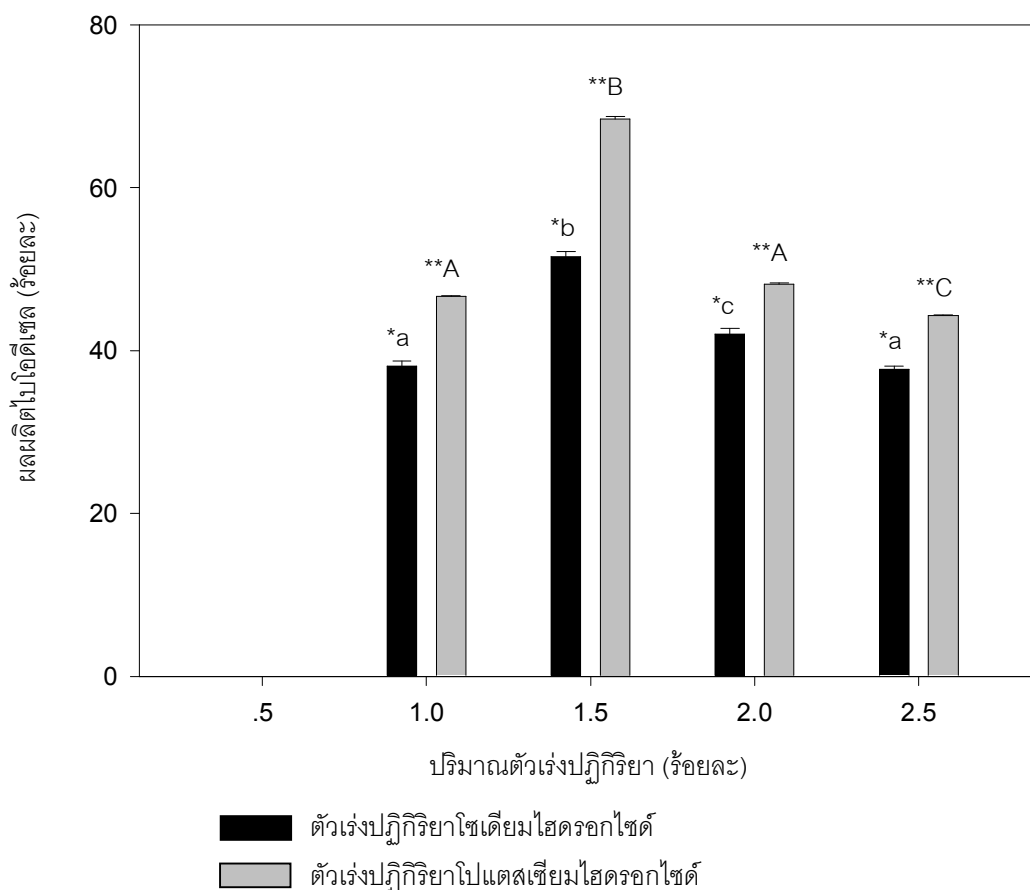
ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละ)	ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล (ร้อยละ)	
	ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์	ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์
0.5	ไม่เกิดไบโอดีเซล	ไม่เกิดไบโอดีเซล
1.0	38.07 ± 0.62^a	46.68 ± 0.09^A
1.5	51.54 ± 0.61^b	68.40 ± 0.33^B
2.0	42.04 ± 0.69^c	48.12 ± 0.19^A
2.5	37.68 ± 0.40^a	44.26 ± 0.10^C

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดลองเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์จะสามารถแบ่งปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณของไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.0 และ 2.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ได้ผลผลิตไบโอดีเซลเท่ากับร้อยละ 38.07 และ 37.68 ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยปริมาณของไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ได้ผลผลิตเท่ากับร้อยละ 51.54 และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยปริมาณของไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ได้ผลผลิตเท่ากับร้อยละ 42.04 ดังนั้นผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่ระดับร้อยละ 1.0 และ 2.5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในขณะเดียวกันเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่ระดับร้อยละ 1.5 และ 2.0 จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก จะสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ในปริมาณสูงถึงร้อยละ 51.54

ในขณะที่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์จะสามารถแบ่งปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมออกได้เป็น 3 กลุ่ม เช่นเดียวกัน คือ กลุ่มที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.0 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ได้ผลผลิตไบโอดีเซลเท่ากับร้อยละ 46.68 และ 48.12 ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยปริมาณของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ได้ผลผลิตไบโอดีเซลเท่ากับร้อยละ 68.40 และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยปริมาณของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก

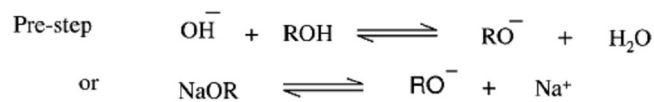
ได้ผลผลิตเท่ากับร้อยละ 44.26 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ระดับร้อยละ 1.0 และ 2.0 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ จะไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.5 และ 2.5 ค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก จะมีความเหมาะสมเนื่องจากสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ในปริมาณ สูงสุดถึงร้อยละ 68.40 ผลการทดลองดังภาพที่ 10



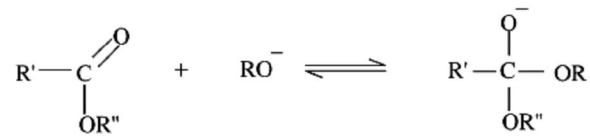
หมายเหตุ *, ** ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาพที่ 10 แผนภูมิเปรียบเทียบผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

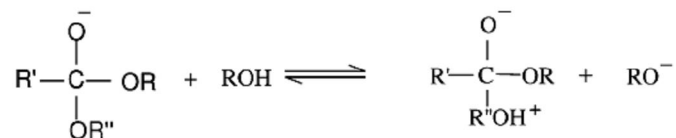
กลไกในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์จะเกิดขึ้นโดยในขั้นตอนแรกของปฏิกิริยาจะเกิดการชนกันระหว่างอัลคอกไซด์ไอออน (alkoxide ion) กับตำแหน่งคาร์บอนิลคาร์บอน (carbonyl carbon) ของโมเลกุล ไตรกลีเซอไรด์ส่งผลทำให้เกิดสารตัวกลาง (intermediate) ที่มีโครงสร้างแบบเตตระฮีดรอล (tetrahedral) จากนั้นในขั้นตอนที่สองของปฏิกิริยาสารตัวกลางดังกล่าวจะเข้าทำปฏิกิริยากับ แอลกอฮอล์แล้วเกิดการสร้างอัลคอกไซด์ไอออน ขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยาสารตัวกลางที่มี โครงสร้างแบบเตตระฮีดรอลจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่เกิดโครงสร้างของเอสเทอร์ และไดกลีเซอไรด์ (Ma and Hanna, 1999) กลไกที่เกิดขึ้นดังแสดงในภาพที่ 9 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีค่าที่เหมาะสมเพียงค่าหนึ่งเท่านั้น หากใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาใน ปริมาณที่มากเกินไป หรือน้อยจนเกินไปจะไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันให้ เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ส่งผลทำให้ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้มีปริมาณต่ำ หรือบางครั้งจะไม่เกิด ผลผลิตทันทีไบโอดีเซล และยังทำให้เกิดสบูขึ้นระหว่างการเกิดปฏิกิริยา (Dorado et al., 2002) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงร้อยละ 0.5 – 1.0 โดยน้ำหนัก (Barnwal และ Sharma, 2005; Srivastava และ Prasad, 2000) ส่วนใหญ่ตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์จะถูกนำไปใช้ในการเร่งปฏิกิริยาที่ระดับความเข้มข้นระหว่าง ร้อยละ 0.4 – 2.0 โดยน้ำหนัก (Tomasevic และ Marinkovic, 2003) การเพิ่มปริมาณความ เข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจะส่งผลในการลดปริมาณผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ นอกจากนั้นการใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นสูงๆ จะทำให้เกิดสบู และทำให้สารตัวเร่งที่จะเข้าทำปฏิกิริยามีความ หนืดสูงขึ้นส่งผลทำให้ได้ผลผลิตไบโอดีเซลในปริมาณต่ำ (Dorado et al., 2004) นอกจากนั้น Ikwaagwu และคณะ, 2000 ได้รายงานเกี่ยวกับการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัด ได้จากเมล็ดยาง โดยศึกษาความเข้มข้น ของตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม และ สัดส่วนของน้ำมันจากเมล็ดยาง ต่อ เมทานอลเท่ากับ 6:1 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จะถูกนำไปศึกษา คุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางเคมี เพื่อเปรียบเทียบกับเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมัน เมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันดีเซล และ น้ำมันแฟลกซ์ ผลที่ได้พบว่าความเข้มข้นของไซเดียม ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการเกิดเมทิลเอสเทอร์เท่ากับร้อยละ 1 ของน้ำหนักวัตถุดิบ โดยจะ ให้ปริมาณผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ ร้อยละ 84 Ma, Clements และ Hanna (1998) ได้รายงานผล การทดลองการเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างไซเดียมไฮดรอกไซด์และไซเดียมเมทอกไซด์ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ผลในการเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาไซเดียม เมทอกไซด์



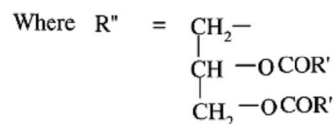
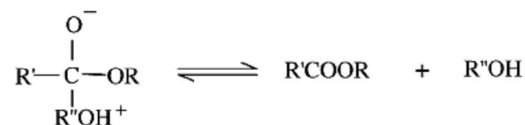
Step. 1.



Step. 2.



Step. 3.



$\text{R}' = \text{Carbon chain of fatty acid}$

$\text{R} = \text{Alkyl group of alcohol}$

ภาพที่ 11 กลไกการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของตัวเร่งปฏิกิริยาด่าง

4. ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสุบุดำโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

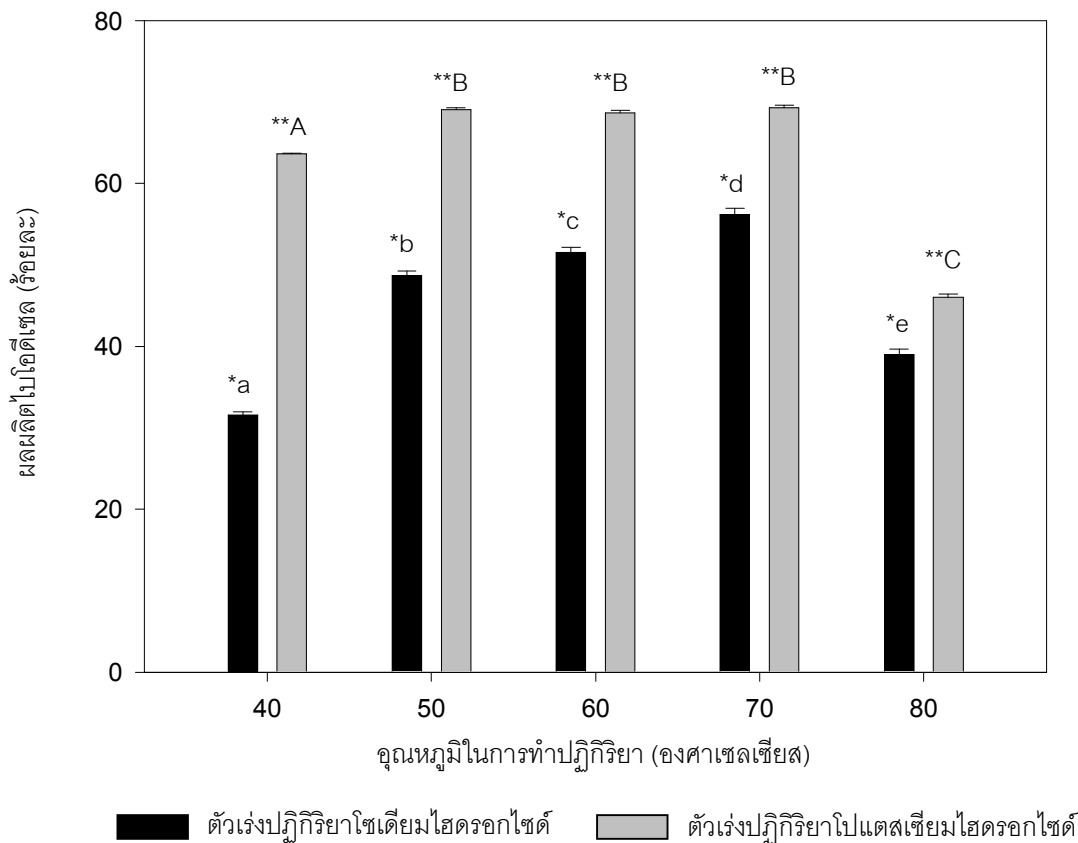
การศึกษาคูณหภูมิต่างๆที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาจะดำเนินการศึกษาที่อุณหภูมิระดับ 40, 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลดังนี้ คือ ร้อยละ 31.59, 48.67, 51.54, 56.19 และ 38.95 ตามลำดับ ผลที่ได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอร์ฟิเคชันที่ระดับต่าง ๆ

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)	ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล (ร้อยละ)	
	ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์	ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์
40	31.60 ± 0.35^a	63.61 ± 0.11^A
50	48.67 ± 0.61^b	69.07 ± 0.22^B
60	51.54 ± 0.61^c	68.66 ± 0.32^B
70	56.19 ± 0.77^d	69.28 ± 0.30^B
80	38.95 ± 0.69^e	46.06 ± 0.34^C

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดลองอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล ร้อยละ 31.60, 48.67, 51.54, 56.19 และ 38.95 ตามลำดับ ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากอุณหภูมิดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงที่สุด คือ ร้อยละ 56.19 ในขณะที่การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ซึ่งกลุ่มที่ 1 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้ผลผลิตร้อยละ 63.61 กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ได้ผลผลิตร้อยละ 69.07, 68.66 และ 69.28 ตามลำดับ กลุ่มที่ 3 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ได้ผลผลิตร้อยละ 46.06 ในกลุ่มที่ 2 ที่อุณหภูมิ 50, 60, และ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 1 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และกลุ่มที่ 3 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดลองดังภาพที่ 12



หมายเหตุ *, ** ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาพที่ 12 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ได้จากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทราเนอโรซิฟิเคชัน

ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากที่สุด คือ 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากสามารถผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ในปริมาณสูงที่สุด คือ ร้อยละ 56.19 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์ และ ร้อยละ 69.28 จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Cvengro and Povaz (1996) ได้อธิบายการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากน้ำมันเมล็ดเรพโดยใช้เมทานอลที่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ 70 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นยังมีนักวิจัยได้รายงานเกี่ยวกับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งพบว่าจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 25 – 120 องศาเซลเซียส (Ma และ Hanna, 1999; Fukuda, Kondo และ Noda, 2001; Barnwal และ Sharma, 2005; Zhang et al., 2003; Freedman, Pryde และ Mounts, 1984; Nouredini และ Zhu, 1997; Freedman, Butterfield และ Pryde, 1986; Mittelbach และ Tratnigg, 1990) นอกจากนั้นพบว่าผลการทดลองที่ดังกล่าวยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Cvengros และ Povazanec ในปี ค.ศ.1996 ซึ่ง

ได้รายงานเกี่ยวกับการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดเรพ (repe seed) โดยใช้ไฮเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้เป็นเมทานอล และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 70 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) ที่ร้อยละ 98.70 อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ จึงทำให้ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้มีปริมาณสูง นอกจากนั้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสูงกว่าจุดเดือดของเมทานอลอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงเนื่องจากเมทานอลที่ใช้ทำปฏิกิริยาจะเกิดการระเหยก่อนการทำปฏิกิริยาจึงส่งผลให้ได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลต่ำ (Cvengros และ Povazanec, 1996)

5. ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

การศึกษ้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำ ที่อัตราส่วน 10 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัมไขมันสบู่ดำ) พบว่าจะไม่เกิดผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเมทานอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีสัดส่วนที่น้อยจนเกินไป จึงทำให้เกิดเฉพาะกลีเซอรอลเท่านั้น แต่ที่ระดับอัตราส่วน 15 : 100, 20 : 100, 25 : 100 และ 30 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัมไขมันสบู่ดำ) ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ ดังนี้ คือ ร้อยละ 43.87, 53.21, 56.19 และ 42.03 ตามลำดับ ผลที่ได้ดังตารางที่ 16

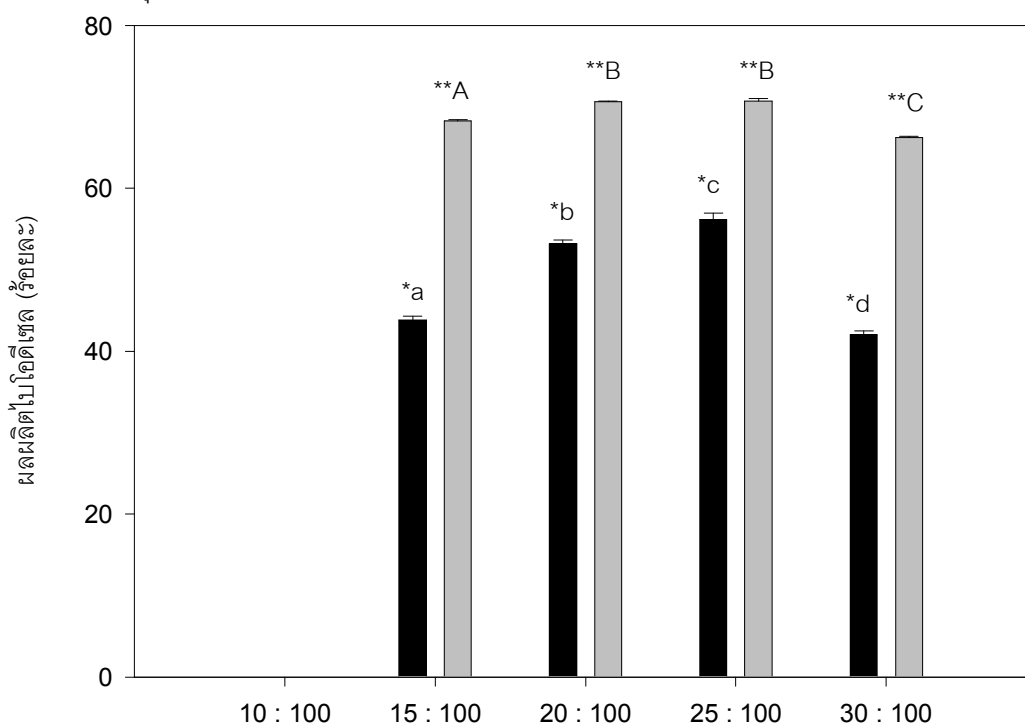
ตารางที่ 16 ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากการศึกษ้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง เมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำ (กรัมเมทานอล : กรัมไขมันสบู่ดำ)	ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล (ร้อยละ)	
	ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียม ไฮดรอกไซด์	ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียม ไฮดรอกไซด์
10 : 100	ไม่เกิดไบโอดีเซล	ไม่เกิดไบโอดีเซล
15 : 100	43.87 ± 0.44 ^a	68.24 ± 0.16 ^A
20 : 100	53.21 ± 0.45 ^b	70.67 ± 0.08 ^B
25 : 100	56.19 ± 0.77 ^c	70.71 ± 0.35 ^B
30 : 100	42.03 ± 0.47 ^d	66.25 ± 0.15 ^C

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดลองการหาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำที่เหมาะสมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 10 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัม น้ำมันสบูดำ) พบว่าจะไม่เกิดผลผลิตไบโอดีเซล และที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำที่ 15 : 100, 20 : 100, 25 : 100 และ 30 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัม น้ำมันสบูดำ) ได้ผลผลิตไบโอดีเซล ร้อยละ 43.87, 53.21, 56.19 และ 42.03 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวที่ได้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำ 25 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัม น้ำมันสบูดำ) จะให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด คือ ร้อยละ 56.19 ในขณะที่การหาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำที่เหมาะสมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราส่วน 10 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัม น้ำมันสบูดำ) พบว่าจะไม่เกิดผลผลิตไบโอดีเซลเช่นเดียวกัน แต่ที่อัตราส่วน 15 : 100, 20 : 100, 25 : 100 และ 30 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัม น้ำมันสบูดำ) ซึ่งจะสามารถแบ่งกลุ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำที่เหมาะสมออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำที่ 15 : 100 ได้ผลผลิตไบโอดีเซลร้อยละ 68.24 กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำ 20 : 100 และ 25 : 100 ได้ผลผลิตไบโอดีเซล ร้อยละ 70.67 และ 70.71 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกลุ่มที่ 3 อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำ 30 : 100 ได้ผลผลิตไบโอดีเซลร้อยละ 66.25 ซึ่งเมื่อนำผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ทั้ง 3 กลุ่มมาเปรียบเทียบกันพบว่าค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำที่ 25 : 100 (กรัมเมทานอล : กรัม น้ำมันสบูดำ) ให้ผลผลิตไบโอดีเซลได้สูงสุด คือ ร้อยละ 70.71 ดังนั้นผลการทดลองการหาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำ ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ และตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ ที่อัตราส่วน 25:100 (กรัมเมทานอล : กรัม น้ำมันสบูดำ) เพราะสามารถให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลได้สูงสุด ผลการทดลองดังภาพที่ 13 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อัตราส่วนดังกล่าวเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ในขณะที่เดียวกันการใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อ น้ำมันสบูดำในสัดส่วนที่ไม่ เหมาะสม จะส่งผลทำให้ไม่เกิดผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล จากรายงานวิจัยของ **Foidl และคณะ, 1996** ได้ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบูดำ (*Jatropha curcas*) 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ Coboverde และพันธุ์ Nicaragua โดยใช้เมทานอล และเอทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในการเตรียมเมทิลเอสเทอร์จะใช้น้ำมันดิบ 100 กรัม ผสมกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 กรัม และเมทานอล 15.55 กรัม อุณหภูมิ

ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 75 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 90 นาที ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ และ เอทิลเอสเทอร์ ที่ได้ คือ ร้อยละ 92 และ 84.40 ตามลำดับ การใช้เมทานอลเพื่อเตรียมเมทิลเอสเทอร์ หรือผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้เอทานอล ซึ่งการผลิตในระดับอุตสาหกรรมการใช้ เอทานอลในการผลิต ไบโอดีเซลจะส่งผลทำให้น้ำเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตในปริมาณ สูง (Korus et al., 1993) เกิดผลิตภัณฑ์สบู่ขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (Chowdhury และ Mukherji, 1954) ตลอดจนพบว่าการเกิดความยุ่งยากในการแยกกลีเซอรอลออกจากผลิตภัณฑ์ (Wright et al., 1944) และเกิดปัญหาในการทำให้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์ (Kusy, 1982) นอกจากนั้น Zhou, Konar และ Boocock (2003) ยังได้รายงานเกี่ยวกับผลการใช้เอทานอล และเมทานอลในการผลิตไบโอดีเซลพบว่าในระหว่างกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะเกิดอิมัลชันขึ้นซึ่งการใช้เมทานอลในการผลิตอิมัลชันที่เกิดขึ้นในชั้นของกลีเซอรอล และ ไบโอดีเซลจะสามารถสลายตัวได้ง่าย และรวดเร็ว ในขณะที่การใช้เอทานอลในการผลิตอิมัลชันที่เกิดขึ้นจะมีความคงตัวสูงส่งผลให้เกิดความยุ่งยากในการแยกและทำบริสุทธิ์ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล



อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำ (กรัมเมทานอล : กรัมน้ำมันสบู่ดำ)

■ ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ ■ ตัวเร่งปฏิกิริยาไปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

หมายเหตุ *, ** ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่

ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาพที่ 13 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตไอดีเซลที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน สบู่ดำที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

6. ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยจะศึกษาที่ระยะเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที ได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลแสดงผลที่ได้ดังตารางที่ 17

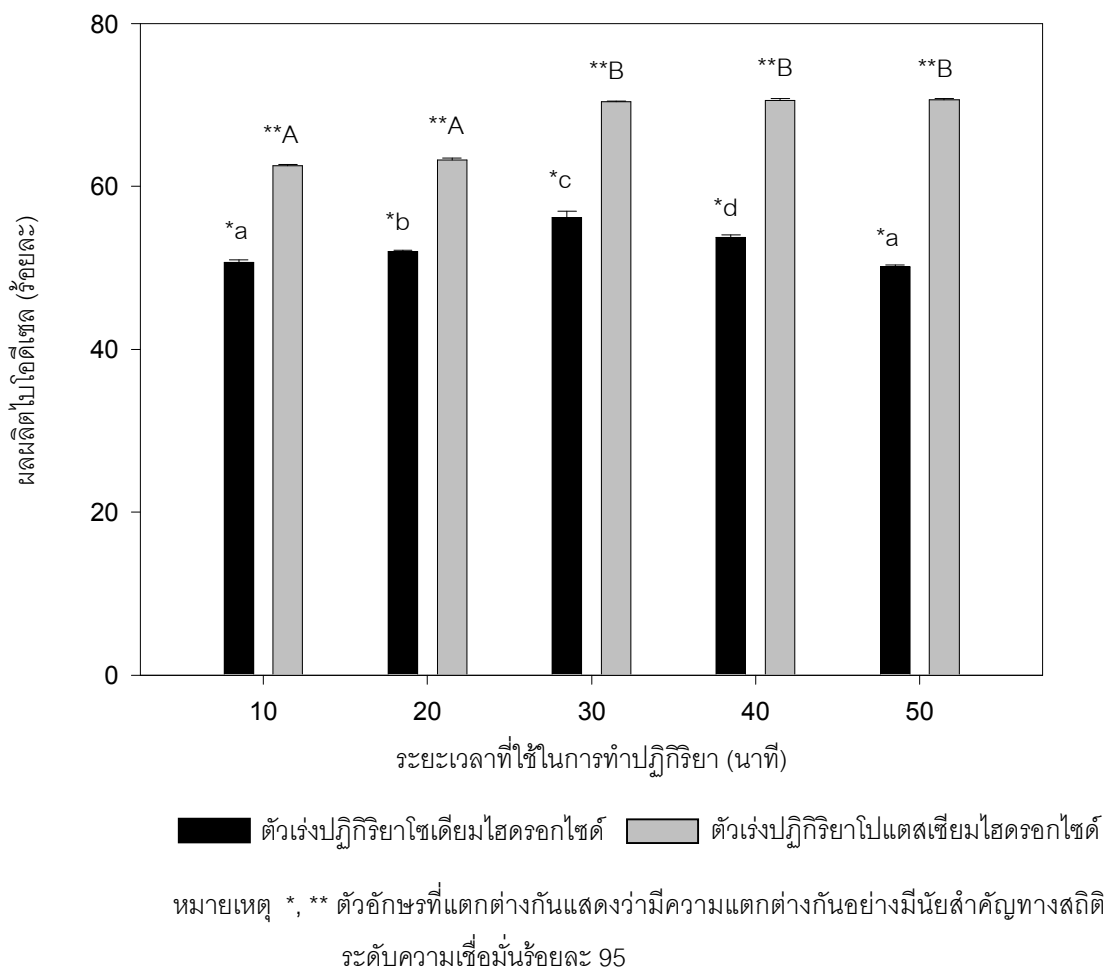
ตารางที่ 17 ปริมาณผลผลิตไอดีเซลที่ได้จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา สำหรับการผลิตไบโอดีเซล

ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล (ร้อยละ)	
	ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์	ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์
10	50.67 ± 0.27^a	62.56 ± 0.17^A
20	51.97 ± 0.22^b	63.27 ± 0.19^A
30	56.19 ± 0.77^c	70.36 ± 0.10^B
40	53.74 ± 0.29^d	70.57 ± 0.26^B
50	50.11 ± 0.23^a	70.61 ± 0.22^B

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ ในงานวิจัยครั้งนี้จะศึกษาที่ระยะเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที ได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ร้อยละ 50.67, 51.97, 56.19, 53.74 และ 50.11 ตามลำดับจากผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จะสามารถจัดกลุ่มของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 10 และ 50 นาที ได้ผลผลิตไบโอดีเซลร้อยละ 50.67 และ 50.11 ค่าที่ได้จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่มที่ 2 ระยะเวลา 20 นาที ได้ผลผลิตร้อยละ 51.97 กลุ่มที่ 3 ระยะเวลา 30 นาที ได้ผลผลิตร้อยละ 56.19 กลุ่มที่ 4 ระยะเวลา 40 นาที ได้ผลผลิตร้อยละ 53.74 เมื่อนำค่าปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้แต่ละกลุ่มมาเปรียบเทียบกันพบว่าค่าปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ระยะเวลา 30 นาที จะมีความเหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากสามารถให้ผลผลิตไบโอดีเซลได้

สูงที่สุดคือร้อยละ 56.19 ในขณะที่ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์ เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์โดยศึกษาที่ระยะเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที ได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ร้อยละ 62.56, 63.27, 70.36, 70.57 และ 70.61 ตามลำดับ จากผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ดังกล่าวจะสามารถจัดกลุ่มของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 10 และ 20 นาที ได้ผลผลิตไบโอดีเซล ร้อยละ 62.56 และ 63.27 ตามลำดับ ค่าที่ได้จะไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่มที่ 2 ระยะเวลา 30, 40 และ 50 นาที ได้ผลผลิตไบโอดีเซล ร้อยละ 70.36, 70.57 และ 70.6 ตามลำดับ ค่าที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับพบว่า จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อนำผลผลิตไบโอดีเซลกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มาเปรียบเทียบกับพบว่าค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ จะอยู่ที่ช่วง 30–50 นาที เนื่องจากสามารถให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลได้สูงที่สุดผลการทดลองดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับผลิตไบโอดีเซล

ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ จะพิจารณาเลือกใช้ที่ระยะเวลา 30 นาที เนื่องจากสามารถให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลได้สูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Foidl และคณะ (1996) ที่เตรียมไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันสุบุดำโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 30 นาที นอกจากนั้นประชาชนติ ไตรยสุทธิ และคณะ (2007) ได้รายงานการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจาก น้ำมันเมล็ดยางพารา โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา และใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือ 30 นาที เช่นเดียวกัน พบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลได้สูงสุดถึงร้อยละ 89 นอกจากนั้น Ma และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของระยะเวลาที่มีต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากไขมันสัตว์โดยใช้เมทานอล ซึ่งพบว่าในช่วงแรกปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ช้าทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงที่เมทานอลเกิดการกระจายตัว และเข้ารวมตัวกับไขมันสัตว์ หลังจากนั้นปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้เร็วมากที่ช่วงเวลา 1 – 5 นาที และปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์เมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที

7. ผลการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลต้นแบบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

การศึกษการผลิตไบโอดีเซลต้นแบบจำนวน 2 สูตร คือ สูตร MJUP-B1 และ สูตร MJUP-B2 ซึ่งทั้งสองสูตรจะศึกษาภายใต้สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตดังนี้ คือ ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการให้ความร้อนแก่น้ำมันสุบุดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสุบุดำ ที่เหมาะสม และระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยไบโอดีเซลสูตร MJUP-B1 จะผลิตภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังนี้ คือระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสุบุดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่ 10 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซลที่ร้อยละ 1.5 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 70 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง เมทานอลต่อน้ำมันสุบุดำ คือ 25 : 100 และระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ 30 นาที จากผลการศึกษาพบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B1 ได้ในปริมาณสูงสุด คือ ร้อยละ 56.23

สำหรับไบโอดีเซลสูตร MJUP-B2 จะผลิตภายใต้สภาวะที่เหมาะสมดังนี้ คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบูดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่ 10 นาที ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซลที่ร้อยละ 1.5 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 70 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่าง เมทานอลต่อ น้ำมันสบูดำ คือ 25 : 100 และระยะเวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ 30 นาที จากผลการศึกษาพบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B1 ได้ในปริมาณสูงสุด คือ ร้อยละ 70.51 จากนั้นผลิตภัณท์ไบโอดีเซลต้นแบบ MJUP-B1 และ MJUP-B2 ที่ผลิตได้จะถูกนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 ณ ห้องปฏิบัติการเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่าผลิตภัณท์ไบโอดีเซลต้นแบบ MJUP-B1 จะมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงถึงร้อยละ 97.30 และเป็นไปตามค่ามาตรฐานของไบโอดีเซลตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 ในขณะที่ผลิตภัณท์ไบโอดีเซลต้นแบบ MJUP-B2 จะมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ร้อยละ 92.60 ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานของไบโอดีเซลตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 สำหรับค่าการวิเคราะห์ต่างๆ ของไบโอดีเซลต้นแบบ MJUP-B1 และ MJUP-B2 แสดงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 และผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณท์ไบโอดีเซลต้นแบบ MJUP-B1 และ MJUP-B2 จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ลำดับที่	ค่าที่วิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์		
		ไบโอดีเซล ^a มาตรฐาน	ไบโอดีเซล ^b ต้นแบบ MJUP-B1	ไบโอดีเซล ^c ต้นแบบ MJUP-B2
1.	เมทิลเอสเทอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่ต่ำกว่า 96.5	97.30	92.60
2.	ความหนาแน่นที่ 15 °C (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ไม่ต่ำกว่า 860 และ ไม่สูงกว่า 900	879.30	881.10
3.	ความหนืดจลน์ที่ 40 °C (เซนติสโตกส์)	ไม่ต่ำกว่า 3.5 และ ไม่สูงกว่า 5.0	4.33	4.71

4.	จุดวาบไฟ (°C)	ไม่ต่ำกว่า 120	178.00	174.50
5.	กากถ่าน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.30	น้อยกว่า 0.10	น้อยกว่า 0.10
6.	เถ้าซิลิเกต (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.02	น้อยกว่า 0.02	น้อยกว่า 0.02

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 และผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบ MJUP-B1 และ MJUP-B2 จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ต่อ)

ลำดับที่	ค่าที่วิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์		
		ไบโอดีเซล ^a มาตรฐาน	ไบโอดีเซล ^b ต้นแบบ MJUP-B1	ไบโอดีเซล ^c ต้นแบบ MJUP-B2
7.	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.0024	0.0006	0.0022
8.	การกัดกร่อนแผ่นทองแดงที่ 50 °C 3 ชั่วโมง	ไม่สูงกว่า หมายเลข 1	1 a	1a
9.	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน ณ 110 °C (ชั่วโมง)	ไม่ต่ำกว่า 6	5.40	3.50
10.	ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม)	ไม่สูงกว่า 0.50	0.18	0.17
11.	ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีน/100 กรัม)	ไม่สูงกว่า 120	98.40	97.4
12.	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 12.0	0.08	0.30
13.	เมทานอล (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.20	น้อยกว่า 0.01	น้อยกว่า 0.01
14.	โมโนกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.80	0.40	0.65
15.	ไดกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.20	น้อยกว่า 0.1	0.61
16.	ไตรกลีเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.20	น้อยกว่า 0.1	2.40

17.	กลีเซอรินอิสระ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.02	น้อยกว่า 0.01	น้อยกว่า 0.01
-----	--------------------------------------	-----------------	---------------	---------------

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 และผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบ MJUP-B1 และ MJUP-B2 จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ต่อ)

ลำดับที่	ค่าที่วิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์		
		ไบโอดีเซล ^ก มาตรฐาน	ไบโอดีเซล ^ข ต้นแบบ MJUP-B1	ไบโอดีเซล ^ค ต้นแบบ MJUP-B2
18.	กลีเซอรินทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.25	น้อยกว่า 0.14	น้อยกว่า 0.51
19.	เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่ได้กำหนด	น้อยกว่า 0.01	น้อยกว่า 0.01
20.	จุดชุน (°C)	ไม่ได้กำหนด	3.00	3.00
21.	จุดไหลเท (°C)	ไม่ได้กำหนด	3.00	3.00
22.	ค่าความร้อนการเผาไหม้แบบgross (แคลอรี/กรัม)	ไม่ได้กำหนด	9530.00	9518.00

จากผลการวิเคราะห์คุณลักษณะ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B1 และ สูตร MJUP-B2 จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่าผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B1 มีค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ที่ 5.40 ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ต้องไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง สำหรับค่าการวิเคราะห์อื่นๆ ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B1 มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 (ผลดังตารางที่ 18) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B2 นั้นพบว่า มีค่าเมทิลเอสเทอร์ ร้อยละ 92.60 ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดค่าเมทิลเอสเทอร์ต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 96.5 ส่วนค่า

เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ 110 องศาเซลเซียส จะมีค่าเท่ากับ 3.50 ชั่วโมง ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดค่าเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ต้องไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง สำหรับค่าไดกลีเซอไรด์ ค่าไตรกลีเซอไรด์ และค่ากลีเซอริน ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B2 ที่ได้มีค่าไม่เป็นไปตามมาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548



บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง (Summary)

น้ำมันสบู่ดำ (*Jatropha Curcas* Linn.) จะมีองค์ประกอบของกรดไขมัน กรดไขมันอิสระ ฟอสโฟลิปิด สเตอรอล น้ำ สารให้กลิ่น และสารชนิดอื่นๆ น้ำมันสบู่ดำดังกล่าวบางครั้งไม่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์บางชนิดได้โดยตรง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำมาทำการปรับปรุงคุณสมบัติ โดยอาศัยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันทั้งนี้เพื่อผลิตไบโอดีเซล ซึ่งไบโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์โมโนอัลคิลเอสเทอร์ (monoalkyl esters) ของกรดไขมันสายโซ่ยาว (long chain fatty acids) ที่ได้จากน้ำมันพืช หรือไขมันจากสัตว์ เพื่อนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล ไบโอดีเซลประกอบด้วยเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันซึ่งเตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชกับเมทานอลโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยาดังกล่าวบางครั้งเรียกว่าปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิส (alcoholysis) ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะสามารถช่วยลดความหนืดของไตรกลีเซอไรด์ นอกจากนั้นในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันยังอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นด่างอาทิเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

ดังนั้นการศึกษาประสิทธิภาพของสารเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่มีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จึงมีความสำคัญ ซึ่งในขั้นต้นของการศึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่งน้ำมันสบู่ดำจากจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งผ่านการสกัดน้ำมันโดยใช้เครื่องสกัดแบบไฮดรอลิค ผลการทดลองที่ได้พบว่าน้ำมัน สบู่ดำที่นำมาใช้ในการทดลองจะมีกรดโอเลอิกในปริมาณสูงสุด และเป็นองค์ประกอบหลัก จากนั้นนำน้ำมันสบู่ดำที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบู่ดำก่อนนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งที่อุณหภูมิดังกล่าว การนำน้ำมันสบู่ดำไปให้ความร้อนที่ระยะเวลา 10 นาที จะมีความเหมาะสม นอกจากนั้นจากการศึกษาพบว่าปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 1.5 จะให้ผลผลิตไบโอดีเซลในปริมาณสูงที่สุด ดังนั้นปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซล อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อการผลิตไบโอดีเซลนั้นพบว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะมีความเหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซล นอกจากนั้นผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบู่ดำ อัตราส่วนดังกล่าวจะมีความเหมาะสมที่ 25 ต่อ 100 (กรัมเมทานอล ต่อ กรัมน้ำมันสบู่ดำ) การผลิตไบโอดีเซลภายใต้ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ 30 นาที เมื่อทราบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลแล้วจะนำผลที่ได้ไปศึกษาการ

ผลิตไบโอดีเซลต้นแบบจำนวน 2 สูตร คือ สูตร MJUP-B1 และ สูตร MJUP-B2 ผลที่ได้พบว่า ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบสูตร MJUP-B1 ที่ได้มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงสุดที่ร้อยละ 97.30 และมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรมฯ ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548

ผลของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จึงสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่น้ำมันสบูดำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสที่ 10 นาที จะมีความเหมาะสม ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาจะเหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซลที่ร้อยละ 1.5 โดยใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ 70 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันสบูดำที่ 25 ต่อ 100 (กรัมเมทานอลต่อกรัมน้ำมันสบูดำ) และระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าสารเร่งปฏิกิริยาไปแตสเซียมไฮดรอกไซด์จะให้ผลผลิตไบโอดีเซลในปริมาณที่สูงกว่าการใช้สารเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์ แต่ในขณะเดียวกัน ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต้นแบบที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาไปแตสเซียมไฮดรอกไซด์นั้น จะมีค่าเมทิลเอสเทอร์น้อยกว่าค่ามาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรมฯ ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 ดังนั้นสารเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมไฮดรอกไซด์จึงมีประสิทธิภาพต่อการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของกรมฯ เพื่อการผลิตไบโอดีเซลได้ดีกว่าสารเร่งปฏิกิริยาไปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

เอกสารอ้างอิง (References of Literature cited)

- กรมทรัพยากรธรณี. 2547. น้ำมันไบโอดีเซล. โลกพลังงาน. 78(22): 42-45
- กรมธุรกิจพลังงาน. 2548. กำหนดลักษณะ และคุณภาพของน้ำมันดีเซล (ฉบับที่ 3). [ออนไลน์].
แหล่งข้อมูล : <http://www.bta.excise.go.th/biodiesel.htm>. (วันที่ค้นข้อมูล : 20
กรกฎาคม 2550)
- กรมวิชาการเกษตร. 2544. ข้อมูลเบื้องต้นสบู่ดำ. สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. เอกสาร
โรเนียว. หน้า. 4
- กรมวิชาการเกษตร. 2549. พืชทดแทนพลังงาน. ข้อมูลวิชาการในสมุดบันทึกประจำปี 2549 กรม
วิชาการเกษตร. 18 หน้า.69
- กองบริการอุตสาหกรรม. 2535. การสกัดน้ำมันจากเมล็ดทานตะวัน. อุตสาหกรรม. 3: 18-23.
- การใช้ประโยชน์จากต้นสบู่ดำ. 2549. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : <http://www.thaijatropa.com>
(วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)
- การใช้ประโยชน์จากสบู่ดำ : น้ำมันสบู่ดำ. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : <http://www.doa.go.th/fieldcrops/phanut/util/001.htm>. (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)
- การใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสีธรรมชาติสำหรับย้อมเส้นใยธรรมชาติ. 2550. [ออนไลน์]. แหล่ง
ข้อมูล : <http://www.maxpaages.com/Jatropha/Utilization of Jatropha>. (วันที่ค้น
ข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)
- การใช้สบู่ดำเป็นอาหารสัตว์. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : <http://www.fao.org/docrep/x540Ze11.htm>. (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)
- เกสร พะลัง. 2526. เคมีอินทรีย์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช. หน้า. 278
- โครงสร้างทางเคมี DHPB ของ Jatropha curcas. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล :
: <http://images.google.co.th/imgres?imgurl=http://www1.mod.go.th/>
(วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)
- จเร สดากกร. 2528. การศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์ และการจำแนกพันธุ์สบู่ดำ
กองพฤกษศาสตร์และวิจัยพืช กรมวิชาการเกษตร.
- ชำนาญ จัตรแก้ว. 2547. “สบู่ดำ” พลังงานชีวภาพทางเลือกราคาถูกในอนาคต. โครงการปลูก
สวนป่า “สบู่ดำ” เพื่อพัฒนาพลังงานทดแทน
- นิธิยา รัตนูปนพนธ์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมัน และน้ำมัน. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

- ประกาศิต คุณพระศิลา. 2550. การผลิตไบโอดีเซลจากถั่วเหลืองโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตร และสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตมหาวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ประชาสันติ ไตรยสุทธิ, และคณะ. 2549. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพารา โดยวิธีกรด-เอสเตอริฟิเคชัน และต่าง-ทรานเอสเตอริฟิเคชัน. [ออนไลน์] สาระสังเขปจาก : <http://www.rei.chula.ac.th/enett/proceedind/PDF%20papers/enett2550-118revised.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550).
- ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. 2528. ชีวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาสารคาม: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. หน้า. 22
- ประโยชน์ของการปลูกสบู่ดำ. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : <http://botaisical.com/site/coiumn-poudhia/4-jatropha.html> (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550).
- ปิยะ ศรีรักษา และประพจน์ พรหมสมบูรณ์. 2528. ไบโอดีเซล: พลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลของประเทศไทย. วารสารศูนย์บางพระ. 38(4): 57-61
- ปวย อุ๋นใจ และสยาม ภพลือชัย. 2544. ไบโอดีเซลเชื้อเพลิงแห่งยุคสมัย. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : <http://www.maxpaages.com/Jatropha/Utilization of Jatropha>. (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)
- เมล็ดสบู่ดำบด. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : <http://www.navy.mi.th./dockyard/biodiesel.html> (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)
- พิศมัย เจนวนิชปัญกุล. 2543. ไบโอดีเซล: พลังงานทางเลือก. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp? (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)
- ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และอรทัย คุ่มใหญ่โต. 2542. รายงานฉบับสมบูรณ์การศึกษาแนวทางในการผลิต และการใช้น้ำมันผ่านกรรมวิธีจากวัตถุดิบหนอนไหม (ดักแด้) เพื่อการบริโภค (ปีที่ 2). ในหน่วยวิจัย และพัฒนาผลิตภัณฑ์พื้นฐานบ้าน สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ลักษณะช่อดอกสบู่ดำ. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : <http://images.google.co.th/imgres/imgres?imgurl> (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)
- ลักษณะต้นสบู่ดำ. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : <http://images.google.co.th/imgres/imgres?imgurl> (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)

- ลักษณะผลสบู่ดำ. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : [http://images.google.co.th/imgres!\[\]\(d7f8159416db2cfb6fd5234e5c362d63_img.jpg\)](http://images.google.co.th/imgres/imgres?imgurl) /imgres?imgurl (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)
- ลักษณะใบสบู่ดำ. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : [http://images.google.co.th/imgres!\[\]\(2bed72d377e1bf402dc4a1ca1293c1f9_img.jpg\)](http://images.google.co.th/imgres/imgres?imgurl) /imgres?imgurl (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)
- ลักษณะเมล็ดสบู่ดำ. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : [http://images.google.co.th!\[\]\(8146f48ac95d69841fb4b87d55845d75_img.jpg\)](http://images.google.co.th/imgres/imgres?imgurl) /imgres/imgres?imgurl (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)
- ลักษณะทางพฤกษศาสตร์. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : [http://www.doa.go.th!\[\]\(efb388dc11f31778b0b3d28ac7492fe7_img.jpg\)](http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/botany.html) /palm/linkTechnical/botany.html (วันที่ค้นข้อมูล : 28 กันยายน 2550)
- ลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน. 2548. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 122 ตอนพิเศษ 70 ง. หน้า. 12
- วิชัย กนกพิทยาพร และอุดมชัย จินะดิษฐ์. 2549. การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันสบู่ดำเป็นเชื้อเพลิง. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, นครราชสีมา
- ระพีพันธุ์ ภาสบุตร. 2544. สบู่ดำ. วิศวกรการเกษตร 7 กองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร
- ระพีพันธุ์ ภาสบุตร. 2544. สบู่ดำพลังงานทดแทน. วิศวกรการเกษตร 7 กองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร
- ระพีพันธุ์ ภาสบุตร. 2546. ประวัติสบู่ดำพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลและเบนซิน. เอกสารโรเนียว
- ระพีพันธุ์ ภาสบุตร และสุขสันต์ สิทธิผลไพบูลย์. 2546. ประวัติสบู่ดำพลังงานทดแทน. เกษตรก้าวหน้า. หน้า. 16
- รังษี เจริญสถาพร และอมรรักษ์ คิดใจเดียว. 2548. การใช้ประโยชน์จากสบู่ดำ : นอกจากน้ำมัน. เอกสารในการประชุมเสวนากิจกรรมวิจัยสบู่ดำ. กรมวิชาการเกษตร. วันที่ 29 มิถุนายน 2548. ณ สถาบันวิจัยพืชไร่. หน้า. 8
- ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพทางการเกษตรจังหวัดพิษณุโลก. 2548. น้ำมันสบู่ดำพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : [http://www.aopdmo2.doae.go.th!\[\]\(01334d57cac1d89ef8fb3ecf04d10071_img.jpg\)](http://www.aopdmo2.doae.go.th/black%20oil%201.htm) /black%20oil%201.htm. (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)
- สบู่ดำพืชพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล. 2550. [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล : [http://www.kaset-online.com/plant.asp.htm!\[\]\(e09d1a25bb352d86b2eccedea512d8bf_img.jpg\)](http://www.kaset-online.com/plant.asp.htm). (วันที่ค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2550)

สมยศ พิชิตพร และสมศักดิ์ ศรีสมบูรณ์. 2548. ความหวังในเรื่องการปรับปรุงพันธุ์สับปะรดในอนาคต.

เอกสารประกอบการบรรยายในสัมมนาวิชาการปรับปรุงพันธุ์และขยายพันธุ์พืช. หน้า 52-57. วันที่ 15-16 ธันวาคม 2548. ณ โรงแรมมารวยการ์เด็น กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ ศรีสมบูรณ์ และชาญวิทย์ ม่วงมิตร. 2549. การปลูกสับปะรด. หน้า 26-43. ในเอกสารวิชาการ สับปะรดพืชพลังงาน. หจก. พันธุ์ พับบลิชซิ่ง กรุงเทพฯ. หน้า. 118

สมศักดิ์ ศรีสมบูรณ์ และสมยศ พิชิตพร. 2548. การปรับปรุงพันธุ์สับปะรด. เอกสารในการประชุมเสนอ กิจกรรมวิจัยสับปะรด. กรมวิชาการเกษตร. วันที่ 29 มิถุนายน 2548. ณ สถาบันวิจัยพืชไร่. หน้า. 6

อนุวัฒน์ จันทรสวรรณ สุพจน์ กิตติบุญญา และเถลิงศักดิ์ วีระวุฒิ. 2548. แมลงศัตรูสับปะรด.

เอกสารในการประชุมเสนอกิจกรรมวิจัยสับปะรด. กรมวิชาการเกษตร. วันที่ 29 มิถุนายน 2548. ณ สถาบันวิจัยพืชไร่. หน้า. 5

อมรรักษ์ คิดใจเดียว และรังษี เจริญสถาพร. 2548. โรคพืชของสับปะรด. เอกสารในการประชุมเสนอ กิจกรรมวิจัยสับปะรด. กรมวิชาการเกษตร. วันที่ 29 มิถุนายน 2548. ณ สถาบันวิจัยพืชไร่. หน้า. 5

อรดา สถาพร. 2546. การศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดแมคคาเดเมีย. เชียงใหม่ : บัณฑิต มหาวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อัญญา ยอดเรือนวงศ์. 2545. คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชดิบโดย กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. บัณฑิตมหาวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Chang, S. (1967). Processing of fish oil. In ประกาศิต คุณพระศิลา. 2550. การผลิตไบโอดีเซลจากถั่วเหลืองโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน. เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. บัณฑิตมหาวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

Hamilton, R.J. 1980. Fats and Oil Chemistry and technology. England: Applied Science Publishers. In ประกาศิต คุณพระศิลา. 2550. การผลิตไบโอดีเซลจาก ถั่วเหลืองโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน. เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. บัณฑิตมหาวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

- John Han, Hson, L.A. 1998. Recovery, refining, couverting and stabilizing edible fats and oil. In ประกาศิต คุณพระศิลา. 2550. การผลิตไบโอดีเซลจากถั่วเหลืองโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน. เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. บัณฑิตมหาวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- Pigott, G.M. 1967. Production of fish oil. In ประกาศิต คุณพระศิลา. 2550. การผลิตไบโอดีเซลจากถั่วเหลืองโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน. เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. บัณฑิตมหาวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- Achten, W. M. J.; L. Verchot; Y. J. Franken; E. Mathijs; V. P. Singh; R. Aerts; B. Muys. 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use. Biomass and Bioen. 32: 1063–1084.
- Altiparmak, D.; A. Keskin; A. Koca; M. Guru. 2007. Alternative fuel properties of tall oil fatty acid methyl ester–diesel fuel blends. Bioresour. Technol. 98: 241–246.
- Arzamendi, I. 2007. Synthesis of biodiesel with heterogeneous NaOH/alumina catalysts: Comparison with homogeneous NaOH. [Online]. (Access date : 20 July 2007)
- Azam, M. M.; A. Waris; and N. M. Nahar. 2005. Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India. Biomass and Bioen. 29: 293–302.
- Barnwal, B. K.; and M. P. Sharma. 2005. Prospects of Biodiesel production from vegetable oils in India. Renew Sust Energy Rev. 9(4):363–78.
- Barnwal, B. K.; M. P. Sharma. 2005. Prospects of Biodiesel production from vegetable oils in India. Renew Sust. Energy Rev. 9(4):363–78.
- Basha, S. A.; K. R. Gopal; S. Jebaraj. 2009. A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance. Renew. Sustain. Ener. Rev. 13: 1628–1634.
- Canakci, M. 2007. The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. Bioresour. Technol. 98: 183–190.

- Canoira, L.; R. Alcantara; M. J. Garcia-Martinez; J. Carrasco. 2006. Biodiesel from Jojoba oil-wax: Transesterification with methanol and properties as a fuel. *Biomass and Bioenergy*. 30: 76–81.
- Cvengro, J.; and A. F. Povaz. 1996. Production and treatment of rapeseed oilmethyl esters as alternative fuels for diesel engines. *Bioresour. Technol.* 55: 145–50.
- Dorado, M. P.; E. Ballesteros; F. J. Lopez; M. Mittelbach. 2004. Optimization of alkali-catalyzed transesterification of *Brassica carinata* oil for biodiesel production. *Energ. Fuel*. 18 (1), 77–83.
- Dorado, M. P.; E. Ballesteros; J. A. Almeida; C. Schellet; H. P. Lohrlein; R. Krause. 2002. An alkali-catalyzed transesterification process for high free fatty acid oils. *Trans ASAE*. 45(3):525–529.
- Felizardo, P.; M. J. N. Correia; I. Raposo; J. F. Mendes; R. Berkemeier; J. M. Bordado. Production of biodiesel from waste frying oils. *Waste Manage*. 26: 487–494.
- Foidl, N.; G. Foidl; M. Sanchez; M. Mittelbach; and S. Hackel. 1996. *Jatropha Curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua. *Bioresour. Technol.* 58: 77–82.
- Freedman, B.; E. H. Pryde; and T. L. Mounts. 1984. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *JAOCS*. 61(10):1638–43.
- Freedman, B.; R. Butterfield ; and E. Pryde. 1986. Transesterification kinetics of soybean oil. *JAOCS*. 63(10):1375 – 1380.
- Fukuda, H.; A. Kondo; and H. Noda. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *J. Biosci. Bioeng*. 92(5):405–16.
- Gao, B.; E. Su; J. Lin; Z. Jiang; Y. Ma; D. Wei. 2009. Development of recombinant *Escherichia coli* whole-cell biocatalyst expressing a novel alkaline lipase-coding gene from *Proteus* sp. for biodiesel production. *J. Biotechnol.* 139: 169–175.
- Goodrum, J. W.; and A. M. Eitcman. 1996. Physical properties of low molecular weight triglycerides for the development of bio-diesel fuel models. *Bioresour. Technol.* 56: 55–60.

- Haas, M. J.; A. J. McAloon; W. C. Yee; and T. A. Foglia. 2006. A process model to estimate biodiesel production costs. *Bioresour. Technol.* 97: 671–678.
- Hazar, H. 2009. Effects of biodiesel on a low heat loss diesel engine. *Renew. Ener.* 34: 1533–1537
- Jitputti, J.; B. Kitiyanan; P. Rangsunvigit; K. Bunyakiat; L. Attanatho; P. Jenvanitpanjakul. 2006. Transesterification of crude palm kernel oil and crude coconut oil by different solid catalysts. *Chem. Engineer. J.* 116: 61–66.
- Kaieda, M.; T. Samukawa; T. Matsumoto; K. Ban; A. Kondo; Y. Shimada, H. Noda, F. Nomoto; K. Ohtsuka; E. Izumoto; and H. Fukuda. 1999. Biodiesel Fuel Production from Plant Oil Catalyzed by *Rhizopus oryzae* Lipase in a Water-Containing System without an organic solvent. *J. Biosci. Bioeng.* 88: 627–631.
- Korbitz, W. 1999. Biodiesel production in Europe and North America, an encouraging prospect. *Renew. Ener.* 16: 1078–1083.
- Leung, D. Y. C.; Y. Guo. 2006. Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production. *Fuel Process. Technol.* 87: 883–890.
- Liu, Y.; L. Wang. 2009. Biodiesel production from rapeseed deodorizer distillate in a packed column reactor. *Chem. Engin. Process.* 48: 1152–1156.
- Ma, F.; and M. A. Hanna. 1999. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technol.* 70:1–15.
- Ma, F.; and M. A. Hanna. 1999. Biodiesel production: a review. *Bioresour. Technol.* 70:1–15.
- Ma, F.; L. D. Clements; M. A. Hanna. 1998. The effect of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow. *Trans ASAE.* 41(5):1261–1264.
- Ma, F.; L. D. Clements; M. A. Hanna. 1999. The effect of mixing on transesterification of beef tallow. *Bioresour. Technol.* 69:289–293.
- Mangesh, G. 2006. [Transesterification of canola oil in mixed methanol/ethanol system and use of esters as lubricity additive.](#) [Online]. (Access date : 20 July 2007)
- Meher, L.C.; V. S. S. Dharmagadda; S. N. Naik. 2006. Optimization of alkali-catalyzed transesterification of *Pongamia pinnata* oil for production of biodiesel. *Bioresour. Technol.* 97: 1392–1397.

- Mittelbach, M.; and B. Tratnigg. 1990. Kinetics of alkaline catalyzed methanolysis of sunflower oil. *Fat Sci Technol.* 92(4):145–148.
- Muniyappa, P. R.; S. C. Brammer; and H. Nouredini. 1996. Improved conversion of plant oils and animal fats into biodiesel and co-product. *Bioresour. Technol.* 56: 19-24.
- Nabi, M. N.; M. S. Akhter; M. M. Z. Shahadat. 2006. Improvement of engine emissions with conventional diesel fuel and diesel–biodiesel blends. *Bioresour. Technol.* 97: 372–378.
- Nouredini, H.; and D. Zhu. 1997. Kinetics of transesterification of soybean oil. *JAOCS.* 74(11):1457–63.
- Pramanik, K. 2003. Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Renew. Ener.* 28: 239–248.
- Rakesh, S. and Meeta, S. 2006. Jatropha–Palm biodiesel blends: An optimum mix for Asia. [Online]. (Access date : 20 July 2007)
- Sahoo, P. K.; L. M. Das; M. K. G. Babu; S. N. Naik. 2007. Biodiesel development from high acid value polanga seed oil and performance evaluation in a CI engine. *Fuel.* 86: 448–454.
- Sahoo, P. K.; L. M. Das; M. K. G. Babu; S. N. Naik. Biodiesel development from high acid value polanga seed oil and performance evaluation in a CI engine. *Fuel* 86: 448–454.
- Samukawa, T; M. Kaieda; T. Matsumoto; K. Ban; A. Kondo; Y. Shimada; H. Noda; and H. Fukuda. Pretreatment of Immobilized *Candida antarctica* Lipase for Biodiesel Fuel Production from Plant Oil. *J. Biosci. Bioeng.* 90: 180-183.
- Sarin, R.; R. Kumar; B. Srivastav; S. K. Puri; D. K. Tuli; R. K. Malhotra; A. Kumar. 2009. Biodiesel surrogates: Achieving performance demands. *Bioresour. Technol.* 100: 3022–3028.
- Srivastava, A.; and R. Prasad. 2000. Triglycerides-based diesel fuels. *Renew Sust Energy Rev.* 4:111–33.

- Sujatha, M.; T. P. Reddy; M. J. Mahasi. 2008. Role of biotechnological interventions in the improvement of castor (*Ricinus communis* L.) and *Jatropha curcas* L. Biotechnol. Advan. 26: 424–435.
- Tomasevic, A. V.; and S. S. Marinkovic. Methanolysis of used frying oils. Fuel Process Technol. 81:1–6.
- Veljkovic, V. B.; O. S. Stamenkovic; Z. B. Todorovic; M. L. Lazic; D. U. Skala. 2009. Kinetics of sunflower oil methanolysis catalyzed by calcium oxide. Fuel. 88: 1554–1562.
- Wang, Y.; S. Ou; P. Liu; Z. Zhang. 2007. Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed process. Ener. Conver. Manage. 48: 184–188.
- Xie, W.; H. Li. 2006. Alumina-supported potassium iodide as a heterogeneous catalyst for biodiesel production from soybean oil. J. Molecular Catalysis A: Chemical 255: 1–9.
- Xie, W.; X. Huang; H. Li. 2007. Soybean oil methyl esters preparation using NaX zeolites loaded with KOH as a heterogeneous catalyst. Bioresour. Technol. 98: 936–939.
- Xie, W.; H. Peng; L. Chen. 2006. Transesterification of soybean oil catalyzed by potassium loaded on alumina as a solid-base catalyst. App. Catalys. A: General 300: 67–74.
- Xue, F; X. Zhang; H. Luo; T. Tan. 2006. A new method for preparing raw material for biodiesel production. Process Biochem. 41: 1699–1702.
- Zabeti, M.; W. M. A. W. Daud; and M. K. Aroua. 2009. Activity of solid catalysts for biodiesel production: A review. Fuel Process. Technol. 90: 770–777.
- Zhang, Y.; M. A. Dube; D. D. McLean; and M. Kates. 2005. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. Bioresource Technol. 89:1–16.
- Zheng, S.; M. Kates; M. A. Dube; and D. D. McLean. 2006. Acid-catalyzed production of biodiesel from waste frying oil. Biomass and Bioen. 30: 267–272.
- Zhou, W.; S. K. Konar; D. G. V. Boocock. 2003. Ethyl esters from the single-phase base-catalyzed ethanolysis of vegetable oils. J. Am. Oil Chem. Soc. 80(4):367–371.