



รายงานการวิจัยเรื่อง  
การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสนุ่นดำเพื่อใช้สังเคราะห์ไบโอดีเซล  
โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

เฉลิมพร      ทองพูน  
หทัยรัตน์      มากดี  
ธนกร      โพธิ์วงศ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)  
ในโครงการวิจัยและพัฒนาวិสาหกิจสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี (EnPUS) และ  
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

มกราคม 2554

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ในโครงการวิจัยและ  
พัฒนาวิสาหกิจสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี (โครงการ EnPUS) และสถาบันวิจัยและพัฒนา  
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณย่อน มากดี ผู้ประกอบการจากวิสาหกิจชุมชนบ้านหนองแก้ว  
ตำบลเนินเพิ่ม อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก ที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดสบูดำในการทำ  
โครงการวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเคมี คณะ  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ความอนุเคราะห์และ  
อำนวยความสะดวก ในการใช้อุปกรณ์และสารเคมี ในการวิจัยครั้งนี้ทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วง  
ไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณนักศึกษาผู้ช่วยวิจัย นางสาวหทัยรัตน์ มากดีและนายธนกร  
โพธิ์วงศ์ ที่ช่วยทำการทดลองและพิมพ์ต้นฉบับงานวิจัย จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เฉลิมพร ทองพูน

มกราคม 2554

|                          |   |           |
|--------------------------|---|-----------|
| งานวิจัยเรื่อง           | การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำเพื่อใช้สังเคราะห์ไบโอดีเซล<br>โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน |           |
| ผู้วิจัย                 | ดร. เฉลิมพร   | ทองพูน    |
|                          | นางสาว หทัยรัตน์  | มากดี     |
|                          | นาย ธนกร  | โพธิ์วงศ์ |
| สาขาที่ทำกรวิจัย         | สาขาวิชาเคมี  |           |
| ทำการวิจัยเสร็จเรียบร้อย | ปี พ.ศ. 2553  |           |

### บทคัดย่อ

ได้ทำการศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำเพื่อนำมาใช้สังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ในการวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ ได้แก่ ปริมาณความชื้นของเปลือกและเนื้อเมล็ด ได้ค่าร้อยละ 8.72 และ 4.04 ตามลำดับ ได้วิเคราะห์ปริมาณเถ้าในส่วนเปลือกและเนื้อเมล็ด ได้ค่าร้อยละ 7.79 และ 4.10 ตามลำดับ และเมื่อทำการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำโดยการใช้ตัวทำละลายเฮกเซนเป็นตัวสกัด พบว่า ได้ปริมาณน้ำมันสบู่ดำสูงถึงร้อยละ 95.81 ได้นำน้ำมันสบู่ดำที่สกัดได้มาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยมี เมทานอล โปเตสเซียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ผลผลิตไบโอดีเซลในรูปของสารประกอบเมทิลเอสเตอร์มีค่าสูงถึงร้อยละ 73.80

|                       |   |                               |
|-----------------------|---|-------------------------------|
| <b>Research Title</b> | Extraction of oil from <i>Jatropha curcas L.</i> seed kernels for synthesis of biodiesel by transesterification process |                               |
| <b>Author</b>         | Dr. Chalernporn<br>Miss Hathairut<br>Mr. Thanakorn  | Thongpoon<br>Makdee<br>Povong |
| <b>Field</b>          | Chemistry   |                               |
| <b>Research Year</b>  | 2010  |                               |

### **Abstract**

The extraction of oil from *Jatropha curcas L.* seed kernels for synthesis of biodiesel by transesterification process were studied. Physical properties of seed *Jatropha curcas L.* were determined such as moisture content of rind and tissue. The moisture content of them were 8.72 % and 4.04 %, respectively. Ash of rind and tissue of seed *Jatropha curcas L.* were investigated and found to be 7.79 % and 4.10 %, respectively. Oil from seed *Jatropha curcas L.* was extracted by immersed in hexane solution, the recovery of *Jatropha* oil was 95.81% (w/w). The transesterification reaction of the oil with methanol using potassium hydroxide and sodium hydroxide as catalyst was studied. The recovered of biodiesel as methylester was 73.80 %.

## สารบัญ

| เรื่อง                                       | หน้า |
|--|------|
| กิตติกรรมประกาศ                              | ข    |
| บทคัดย่อภาษาไทย                              | ค    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                           | ง    |
| สารบัญเรื่อง                                 | จ    |
| สารบัญตารางประกอบ                            | ฉ    |
| สารบัญรูปภาพประกอบ                           | ญ    |
| <b>บทที่ 1 บทนำ</b>                          |      |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาทางวิจัย        | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย              | 2    |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                | 2    |
| 1.4 ระเบียบการทำวิจัย                        | 3    |
| 1.5 ขอบเขตของงานวิจัย                        | 3    |
| 1.6 ระยะเวลาของการวิจัย                      | 3    |
| 1.7 สถานที่ทำการวิจัย                        | 3    |
| 1.8 แผนการดำเนินงาน                          | 4    |
| <b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> |      |
| 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสบู่ดำ             | 5    |
| 2.2 การสกัดน้ำมัน                            | 6    |
| 2.2.1 การบีบน้ำมันจากเมล็ดพืช                | 6    |
| 2.2.2 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย                | 6    |
| 2.2.3 การสกัดโดยใช้เครื่องบีบและตัวทำละลาย   | 6    |
| 2.2.4 ประสิทธิภาพของการสกัดด้วยตัวทำละลาย    | 7    |
| 2.3 พลังงาน                                  | 8    |
| 2.3.1 พลังงานคลื่นรูปหรือพลังงานหมุนเวียน    | 8    |
| 2.3.2 พลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้  | 10   |

สารบัญ (ต่อ)

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 2.4    | น้ำมันเชื้อเพลิง   | 11 |
| 2.4.1  | น้ำมันจากฟอสซิล หรือ น้ำมันปิโตรเลียม  | 11 |
| 2.4.2  | น้ำมันเชื้อเพลิงจากพืช หรือ สัตว์  | 11 |
| 2.4.3  | องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์  | 12 |
| 2.5    | ไตรกลีเซอไรด์  |    |
| 2.5.1  | ไขมันและน้ำมัน   | 15 |
| 2.5.2  | คุณสมบัติโดยทั่วไปของไขมันและน้ำมัน  | 15 |
| 2.5.3  | คุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมัน  | 17 |
| 2.6    | กรดไขมัน   | 18 |
| 2.7    | ความสัมพันธ์ระหว่างกรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ และเอสเทอร์                               | 21 |
| 2.8    | ไบโอดีเซล  | 21 |
| 2.8.1  | ประเภทของไบโอดีเซล   | 20 |
| 2.9    | ปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน  | 22 |
| 2.10   | ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน                              | 23 |
| 2.11   | วิธีการผลิตไบโอดีเซล   | 26 |
| 2.12   | ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน                                      | 28 |
| 2.13   | ขั้นตอนทั่วไปในการผลิตไบโอดีเซล  | 30 |
| 2.14   | การนำไบโอดีเซลไปใช้  | 31 |
| 2.15   | หลักการของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย   | 33 |
| 2.15.1 | เครื่องกลั่นแบบลดความดัน   | 33 |
| 2.15.2 | การวิเคราะห์โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี  | 33 |
| 2.15.3 | การวิเคราะห์โดยเทคนิคทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี                                      | 34 |
| 2.16   | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง  | 39 |
| 2.16.1 | งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทรานสเอสเทอริฟิเคชัน                              | 39 |
| 2.16.2 | งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลไกและจลนพลศาสตร์เคมีของปฏิกิริยา<br>ทรานสเอสเทอริฟิเคชัน | 39 |
| 2.16.3 | งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา                                 | 40 |

**สารบัญ (ต่อ)**

|   |    |
|---|----|
| 2.16.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา                           | 41 |
| 2.16.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบจากความชื้นและกรดไขมันอิสระ                       | 41 |
| 2.16.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราส่วนเชิง โมระหว่างแอลกอฮอล์กับไตรกลีเซอไรด์         | 41 |
| 2.16.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชนิดและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา                    | 42 |
| 2.16.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล                                  | 43 |
| 2.16.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์                                | 43 |
| 2.16.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดน้ำมัน   | 44 |
| <b>บทที่ 3 วิธีการทดลอง</b>   |    |
| 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์   | 45 |
| 3.2 สารเคมี   | 45 |
| 3.3 การเก็บตัวอย่าง   | 46 |
| 3.4 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ   |    |
| 3.4.1 ความชื้น  | 47 |
| 3.4.2 เถ้า  | 48 |
| 3.5 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำและการผลิตไบโอดีเซลโดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน |    |
| 3.3.1 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ   | 49 |
| 3.3.2 การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน                                 | 50 |
| <b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>   |    |
| 4.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ   | 51 |
| 4.1.1 ปริมาณความชื้น  | 51 |
| 4.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า  | 52 |
| 4.2 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำและการผลิตไบโอดีเซลโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน |    |
| 4.2.1 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ   | 53 |
| 4.2.2 น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน                     | 53 |

## สารบัญ (ต่อ)

|   |  |
|---|--|
| 4.3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy | 55   |
| 4.4 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS              | 57   |
| <b>บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง</b>       |  |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง                            | 58   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ                                | 59   |
| <b>บรรณานุกรม</b>                             | <b>60</b>  |
| ภาคผนวก ก                                     | มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล   |
| ภาคผนวก ข                                     | รูปภาพในการวิจัย   |
| ภาคผนวก ค                                     | การนำเสนอผลงานวิจัยโครงการ IRPUS 51  |
| ภาคผนวก ง                                     | การนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏ ครั้งที่ 2 |
| ภาคผนวก จ                                     | บทความวิจัย  |



## สารบัญตาราง

| ตาราง   | หน้า |
|---|------|
| ตาราง 1.1 แผนการดำเนินงาน   | 4    |
| ตาราง 2.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบไขมันหลักของน้ำมันพืชต่างๆ                          | 13   |
| ตาราง 2.2 สมบัติบางประการของกรดไขมันและแหล่งที่พบ                                   | 14   |
| ตาราง 2.3 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในน้ำมันชนิดต่างๆ                       | 17   |
| ตาราง 2.4 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล    | 18   |
| ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์ความชื้น ของเปลือกและเนื้อเมล็ดสบู่ดำ                       | 51   |
| ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์เถ้า ของเปลือกและเนื้อเมล็ดสบู่ดำ                           | 52   |
| ตาราง 4.3 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำโดยศึกษาเวลาในการสกัด                          | 53   |
| ตาราง 4.4 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดเมล็ดสบู่ดำด้วยเฮกเซน โดยแช่ไว้เป็นเวลา 7 วัน | 54   |
| ตาราง 4.5 สภาพที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณตัวเร่ง                                    | 54   |
| ตาราง 4.6 ร้อยละของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน    | 54   |
| ตาราง 4.7 เลขคลื่นการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดสเปกโตรสโกปีของน้ำมันสบู่ดำ               | 56   |
| ตาราง 5.1 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ   | 58   |

## สารบัญรูป

| รูป  | หน้า |
|--|------|
| รูป 2.1 ลักษณะลำต้น ใบและผลสบู่ดำ  | 5    |
| รูป 2.2 แผงโซลาเซลล์   | 8    |
| รูป 2.3 เชื้อที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า   | 9    |
| รูป 2.4 กังหันลมที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า  | 9    |
| รูป 2.5 ปฏิกริยาการเกิดไตรกลีเซอไรด์   | 15   |
| รูป 2.6 โครงสร้างของ กรดไมริสติก กรดปาล์มิติก และ กรดเสตีริก                           | 19   |
| รูป 2.7 โครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว                                       | 20   |
| รูป 2.8 โครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน   | 20   |
| รูป 2.9 สมการโดยทั่วไปของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน                                | 22   |
| รูป 2.10 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืช                                    | 23   |
| รูป 2.11 กลไกของตัวเร่งปฏิกิริยากรด ในทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืช                | 24   |
| รูป 2.12 กลไกการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืช | 25   |
| รูป 2.13 ปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชันของอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน                            | 26   |
| รูป 2.14 ปฏิกิริยาของโพแทสเซียมคาร์บอเนตกับแอลกอฮอล์                                   | 26   |
| รูป 2.15 เครื่องกลั่นแบบลดความดัน  | 33   |
| รูป 2.16 องค์ประกอบสำคัญของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี                                     | 34   |
| รูป 2.17 องค์ประกอบของเครื่อง FT-IR  | 38   |
| รูป 3.1 แผนภาพวิธีการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น   | 47   |
| รูป 3.2 แผนภาพวิธีการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า   | 48   |
| รูป 3.3 แผนภาพวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ  | 49   |
| รูป 3.4 แผนภาพการผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน                        | 50   |
| รูป 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่ได้กับเวลาในการแช่ในเฮกเซน                   | 53   |
| รูป 4.2 FT-IR Spectrum ของน้ำมันสบู่ดำ   | 55   |
| รูป 4.3 FT-IR Spectrum ของ Methyl ester Biodiesel น้ำมันสบู่ดำ                         | 55   |
| รูป 4.4 โครมาโทแกรมของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH : KOH ที่ 0.25 : 0.5              | 57   |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหางานวิจัย<sup>111</sup>

ปัจจุบันประเทศไทยได้รับผลกระทบจากการปรับตัวของราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยประเทศไทยต้องนำเข้าน้ำมันประเภทต่างๆ จากต่างประเทศเป็นหลัก โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลที่ต้องใช้ในภาคขนส่งคิดเป็น 46.6% ของปริมาณน้ำมันที่ใช้ภายในประเทศทั้งหมด ซึ่งมีสัดส่วนการใช้สูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ยังต้องมีการเสริมสร้างความมั่นคงในด้านพลังงานของประเทศ จึงทำให้หลายหน่วยงานได้ทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับพลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่อง โดยมีการใช้วัตถุดิบภายในประเทศจากพืชชนิดต่างๆ เช่น ถั่วเหลือง ปาล์ม ทุเรียน เมล็ดดอกทานตะวันและเมล็ดสบู่ดำ เป็นต้น การสกัดน้ำมันจากส่วนต่างๆ ของพืชให้น้ำมันเหล่านี้แล้วนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล เรียกว่า “ไบโอดีเซล (Biodiesel)”

ไบโอดีเซล เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำมันพืชชนิดต่างๆ หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ มาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification process) ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันหรือไขมันให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (monoalkyl ester) โดยการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือด่าง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบเอสเทอร์และได้กลีเซอรอล เป็นผลพลอยได้ (by product) กลีเซอรอล ที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง ผงซักฟอก และอื่นๆ ได้

กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้เตรียม ไบโอดีเซล มีประโยชน์คือ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันในเรื่องของความหนืดและการเพิ่มค่าซีเทน (cetane number) ของผลิตภัณฑ์ ทำให้ได้น้ำมันที่เหมาะสมกับการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล

สบู่ดำจัดเป็นพืชทางเลือกอีกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมัน ไบโอดีเซลได้ เนื่องจากมีน้ำมันในส่วน of เมล็ดซึ่งสามารถนำมาสกัดน้ำมันได้ โดยน้ำมันที่ได้จากเมล็ดสบู่ดำมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ได้มีการทดสอบการใช้น้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำกับเครื่องยนต์พบว่า เครื่องยนต์ให้ค่าสมรรถนะที่ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล นอกจากนี้ปริมาณการปลดปล่อยควันดำในไอเสียยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานและสามารถผสมเข้ากันได้ดีกับน้ำมันดีเซล ได้อีกด้วย

โครงการวิจัยนี้มุ่งที่จะพัฒนาและปรับปรุงการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำเพื่อนำไปสังเคราะห์เป็นไบโอดีเซล โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อให้ได้ร้อยละผลผลิตของน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำที่สูง และให้ได้เมทิลเอสเทอร์ในปริมาณที่สูง มีสมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์ที่เทียบเท่ากับมาตรฐานของน้ำมันดีเซล ดังนั้น โครงการวิจัยเพื่อใช้พลังงานทางเลือกที่มาจากพืชที่ปลูกได้ในท้องถิ่น จะเป็นทางออกแนวทางหนึ่งซึ่งช่วยให้เกษตรกร วิชาหกิจชุมชนและผู้ประกอบการสามารถพึ่งพาตัวเองได้ ในภาวะวิกฤตพลังงานได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อหาสภาวะและวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาวิธีการเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำมัน แอลกอฮอล์ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม
- 1.2.3 เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ โดยให้ได้ร้อยละผลผลิตของเมทิลเอสเทอร์ที่สูง และมีคุณภาพมาตรฐานเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ทราบสภาวะและวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำโดยมีผลผลิตร้อยละที่สูง
- 1.3.2 ทราบสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการเตรียมไบโอดีเซล ได้แก่ อัตราส่วนและสภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำโดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน
- 1.3.3 ทราบสภาวะการสังเคราะห์ที่ทำให้ได้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงและมีคุณภาพมาตรฐานเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล
- 1.3.4 ทราบสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการปรับปรุงวิธีการสังเคราะห์ โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน
- 1.3.5 สามารถนำน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ มาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซล เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ชุมชน และเป็นการลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลให้กับชุมชนได้
- 1.3.6 เป็นฐานข้อมูลสำหรับผู้สนใจศึกษาวิจัยและพัฒนาในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดสบู่ดำ

#### 1.4 ระเบียบการทำวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ
- 1.4.2 ทำการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันสบู่ดำ โดยผ่านกระบวนการทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชัน

#### 1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการวิจัยเรื่องการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำเพื่อใช้สังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นการประสานความร่วมมือระหว่างผู้ประกอบการ (กลุ่มวิสาหกิจชุมชน) อาจารย์และนักศึกษา เพื่อศึกษาถึงปัญหา วิธีการแก้ไขที่ถูกต้อง และหาแนวทางการพัฒนาวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำเพื่อนำไปใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ผู้ทำการวิจัยได้วางขอบเขตของงานที่จะทำไว้ดังต่อไปนี้

- 1.5.1 ศึกษาปัญหาและหาแนวทางที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำให้ได้ร้อยละการผลิตที่สูง
- 1.5.2 ค้นคว้าหาข้อมูล เพื่อนำมาประยุกต์ใช้และพัฒนาวิธีการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยนำวัตถุดิบ (เมล็ดสบู่ดำ) ภายในชุมชนจากกลุ่มวิสาหกิจ ที่ร่วมโครงการมาใช้
- 1.5.3 วางแผนการดำเนินงานและวิเคราะห์ความเป็นไปได้เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพ
- 1.5.4 ดำเนินงานตามลำดับขั้นตอนวิเคราะห์และสรุปผล โดยนำผลผลิตที่ได้เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน
- 1.5.5 เผยแพร่ความรู้และเทคโนโลยีการสกัดน้ำมันและการผลิตไบโอดีเซลจากเมล็ดสบู่ดำ สู่อุปประกอบการและชุมชนในจังหวัดที่สนใจ ซึ่งวิธีที่เผยแพร่นี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการผลิตและพัฒนาไบโอดีเซลได้

#### 1.6 ระยะเวลาของการวิจัย

ทำการวิจัยตั้งแต่เดือน กันยายน พ.ศ. 2550 ถึง เดือน เมษายน พ.ศ. 2551

#### 1.7 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการเคมี ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสบู่ดำ<sup>12)</sup>

สบู่ดำ (Physic nut) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* Linn สบู่ดำเป็นพืชพื้นเมืองของอเมริกากลาง อยู่ในวงศ์เดียวกับยางพารา สบู่แดง และเปล้าน้อย ในประเทศไทยชาวโปรตุเกสนำเข้ามาตอนปลายสมัยกรุงศรีอยุธยา เพื่อรับซื้อเมล็ดกลับไปบีบเอาน้ำมันสำหรับทำสบู่ เพราะมีฟองอันเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัว โดยในสมัยนั้นยังไม่ได้ค้นพบสารเคมีทำให้เกิดฟอง ดังนั้นชาวบ้านทางภาคกลางจึงเรียก สบู่ดำ เนื่องจากเปลือกเมล็ดมีสีดำ ภาคเหนือ เรียก มะหุ้งฮั่ว ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เรียก มะเข่า ชาวนครศรีธรรมราช เรียก สีหลอด ภาคใต้ เรียกหงเทศ ภาษายาวิทางภาคใต้เรียก ยาเคาะ



รูป 2.1 ลักษณะลำต้น ใบ และผลสบู่ดำ

ลักษณะสบู่ดำเป็นไม้พุ่มยืนต้น ขนาดกลาง สูง 2–7 เมตร อายุยืนไม่น้อยกว่า 20 ปี ลำต้นและยอดคล้ายละหุ่งแต่ไม่มีขน ลำต้นเกลี้ยงเกลารอบอ้วน เนื้อไม้ไม่มีแก่น ใบคล้ายใบฝ้าย ใบพุดตาน แต่หนากว่า ใบหยักคล้ายใบละหุ่งแต่หยักขึ้น ออกดอกเป็นช่อพวงที่ข้อส่วนปลายของยอด ผลกลมรีเล็กน้อย เมื่อดิบสีเขียวอ่อน เวลาแก่สีเหลืองสดแล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม ในผลหนึ่งมี 1–3 เมล็ด เปลือกเมล็ดสีดำ เนื้อในสีขาว ในเมล็ดสบู่ดำมีสารพิษเรียกว่า Curcin หากบริโภคเข้าไปทำให้มีอาการท้องเสีย ในภาคสบู่ดำมีธาตุอาหารใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ การใช้ประโยชน์สบู่ดำสามารถใช้เป็นยาสมุนไพรกลางบ้าน โดยใช้ยางจากก้านใบป้ายรักษาโรคปากนกกระจอก มีสรรพคุณในการห้ามเลือดและแก้ปวดฟันได้ รวมทั้งผสมน้ำมันมารดาควาดป้ายลิ้นเด็กที่ฝ้าขาวหรือคอกเป็นตุ่ม และใช้ส่วนของลำต้นมาตัดเป็นท่อนๆ ต้มให้เด็กกินแก้โรคซางหรือตาขโมย หรือแช่น้ำอาบแก้โรคพุพอง นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำมันสบู่ดำใส่ผมเพื่อบำรุงรากผมด้วย

## 2.1 การสกัดน้ำมัน<sup>131</sup>

การสกัดน้ำมัน แบ่งออกได้เป็น 3 วิธี

**2.1.1 การบีบน้ำมันจากเมล็ดพืช** เป็นวิธีการผลิตที่ใช้เครื่องจักรบีบเอาน้ำมันออกจากเมล็ดโดยตรง ลักษณะการบีบแบ่งได้เป็น

**2.1.1.1 การสกัดด้วยระบบอัดเกลียว (Expeller หรือ Screw press)** เป็นกระบวนการที่ต้องการกระทำต่อเนื่องตั้งแต่ขั้นตอนการบีบเมล็ดพืชให้แตกจนอัดน้ำมันออกมา จะได้น้ำมันประมาณ 25 – 30 % มีน้ำมันตกค้างอยู่ในกาก 10 – 15 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วของการหมุนสกรู ถ้าสกรูหมุนเร็วมากจะอัดเมล็ดพืชได้ปริมาณมาก แต่จะมีน้ำมันหลงเหลืออยู่ในกากมากตามไปด้วย

**2.1.1.2 การสกัดด้วยระบบไฮดรอลิก (Hydraulic press)** วิธีนี้ใช้แรงงานมากในการป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องจักรตามขั้นตอนการบีบครั้งหนึ่งต้องเอากากออกทีหนึ่งซึ่งเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง จะได้น้ำมันประมาณ 25 – 30 % มีน้ำมันตกค้างในกาก 10 – 15 %

**2.1.2 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (Solvent extraction)** นับเป็นวิธีที่ทันสมัยที่สุดและมีประสิทธิภาพสูง การสกัดน้ำมันโดยวิธีนี้ใช้เคมีภัณฑ์จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น เฮกเซน ปิโตรเลียมอีเทอร์ ซึ่งมีประสิทธิภาพ จะได้น้ำมัน 34.69 % จากเมล็ดรวมเปลือก และ 54.68 % จากเนื้อเมล็ด ในการสกัดโดยตัวทำละลายมีหลายวิธีด้วยกัน คือ

**2.1.2.1 แบบแช่ (Immersion)** เป็นการสกัดโดยนำเมล็ดพืชที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบแล้วแช่ในตัวทำละลายตามระยะเวลาที่กำหนด เมื่อน้ำมันถูกสกัดออกมาจะผสมอยู่กับตัวทำละลาย หลังจากนั้นก็ใช้ความร้อนทำให้ตัวทำละลายระเหยเหลือแต่น้ำมันดิบออกมา

**2.1.2.2 แบบผสมระหว่างการแช่และการซึมผ่าน (Immersion percolation)** คือ การพ่นตัวทำละลายแล้วทิ้งให้เมล็ดพืชแช่อยู่ในตัวทำละลายตามกำหนดเวลา แล้วจึงแยกน้ำมันดิบออกมาด้วยวิธีระเหยโดยใช้ความร้อน

**2.1.3 การสกัดโดยใช้เครื่องบีบและตัวทำละลาย (Prepress – solvent extraction)** เป็นการสกัดน้ำมันด้วยเครื่องบีบแล้วนำกากที่เหลือไปสกัดด้วยตัวทำละลายเพื่อเก็บน้ำมันที่เหลืออยู่กับกากปกติใช้พืชที่มีน้ำมันในปริมาณสูง



## 2.1.4 ประสิทธิภาพของการสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายจะมีประสิทธิภาพสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังนี้

- 2.1.4.1** ปริมาณของตัวทำละลาย ถ้ามีปริมาณมากย่อมสกัดน้ำมันออกมาได้มากและเหลือน้ำมันอยู่ในกากน้อย แต่อย่างไรก็ตามถ้าใช้ในปริมาณมากก็ต้องใช้เวลาตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในการแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมันมากและปริมาณการสูญเสียตัวทำละลายเนื่องจากการระเหยออกมามากด้วย
- 2.1.4.2** ชนิดของตัวทำละลาย มีหลายชนิดแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป หลักในการเลือกชนิดของตัวทำละลายมีดังนี้ คือ
1. จะต้องละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี
  2. ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด
  3. ไม่ละลายสิ่งเจือปนหรือสารที่ไม่ต้องการ
  4. เมื่อสกัดแล้วควรแยกออกจากสารที่ถูกสกัดได้ง่าย
  5. ไม่เป็นพิษและไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อน
  6. ราคาถูกและหาได้ง่าย

ในการเลือกใช้ชนิดของตัวทำละลายในการสกัดน้ำมันจากพืช ต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของเมล็ดพืช โดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้เฮกซ์นอร์มอลเฮกเซน(normal hexane) เพราะมีความเหมาะสมหลายประการ การสกัดน้ำมันด้วยระบบไฮดรอลิก และการสกัดด้วยระบบอัดเกลียว ต้องนำเมล็ดมาทุบพอแตก แล้วนำไปเพิ่มความร้อน โดยการนำไปตากแดด หรือหนึ่ง หรือนำมาเข้าตู้อบ ก่อนนำเข้าเครื่องสกัด เพื่อให้การสกัดน้ำมันกระทำได้ง่ายขึ้น น้ำมันที่ได้จากการสกัดจะต้องนำไปกรองสิ่งสกปรกออก หรือทิ้งให้ตกตะกอน ก่อนนำไปใช้งาน

- 2.1.4.3** อุณหภูมิในการสกัด การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพของการสกัดด้วยตัวทำละลายในเมล็ดพืชบางชนิด เช่น เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน พวกันท์ และ เรพซิด พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของตัวทำละลายแล้วประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมันจะดี โดยอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เหมาะกับเมล็ดพืชเกือบทุกชนิด
- 2.1.4.4** ขนาดและความหนาของแผ่นเมล็ดพืช การบีบเมล็ดให้แตกและอัดเป็นแผ่นจะทำให้ตัวทำละลายแทรกซึมไปสัมผัสได้อย่างทั่วถึง หากเมล็ดพืชถูกอัดให้เป็นแผ่นแน่นจนเกินไปจะเป็นอุปสรรคต่อการเข้าถึงของตัวทำละลาย
- 2.1.4.5** ความชื้นของเมล็ดพืชและตัวทำละลาย ปกติความชื้นของเมล็ดพืชไม่ควรเกินร้อยละ 10 และตัวทำละลายต้องไม่มีน้ำผสมอยู่

**2.1.4.6** เวลาที่ใช้ในการสกัด ต้องใช้เวลาในการสกัดนานพอสมควรการสกัดจึงจะได้ผลจากการทดลองพวกเมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน พวกนั้น จะพบว่า ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มากที่สุดในช่วง 30 นาทีแรก ส่วนน้ำมันรำข้าวจะสกัดได้ในระหว่าง 15 - 20 นาทีแรก เมื่อใช้เวลาในการสกัดมากขึ้น ปริมาณน้ำมันจะค่อนข้างคงที่ค่าหนึ่ง และเมื่อทำการสกัดน้ำมันไปเรื่อยๆ พบว่า ปริมาณน้ำมันจะค่อยลดลงจนกระทั่งเหลือปริมาณน้ำมันร้อยละ 1 ของน้ำมันเริ่มต้น

## 2.2 พลังงาน <sup>14)</sup>

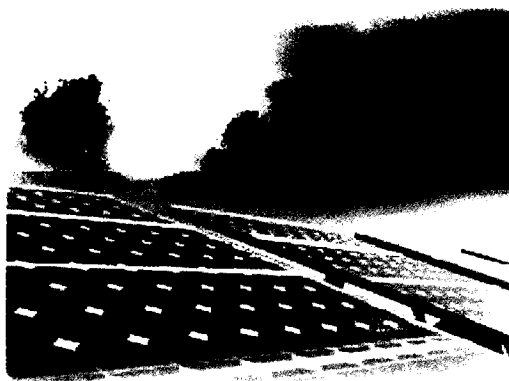
รูปแบบพลังงานในโลกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

### 2.2.1 พลังงานค้ำรูปหรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy)

พลังงานลักษณะนี้ถือได้ว่าเป็นพลังงานที่ใช้ไปแล้ว สามารถรีไซเคิลพลังงานกลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้งหนึ่ง เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลมและพลังงานชีวมวล

#### 2.2.1.1 พลังงานแสงอาทิตย์

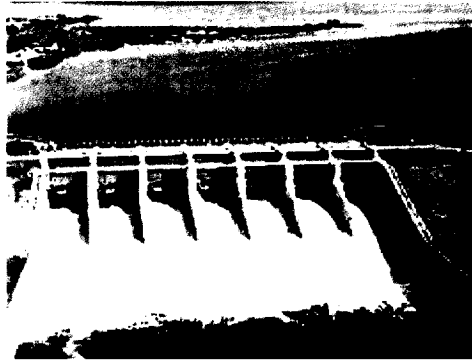
พลังงานแสงอาทิตย์ คือ พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ โดยพลังงานแสงอาทิตย์นี้จัดเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่มากมาย โดยในปัจจุบัน ได้มีการศึกษาวิธีการนำแหล่งพลังงานนี้มาใช้ให้เป็นประโยชน์ คือ การนำแผงโซลาเซลล์ เพื่อรับพลังงานความร้อน จากแสงอาทิตย์มาแล้ว โซลาเซลล์จะทำการเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้มาอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า



รูป 2.2 แผงโซลาเซลล์<sup>15)</sup>

### 2.2.1.2 พลังงานน้ำ

พลังงานน้ำ ได้มาจากการใช้แรงดันน้ำมาช่วยในการขับเคลื่อนไดนาโมเพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าโดยหลักการคือเมื่อน้ำมาขับเคลื่อนไดนาโมจะทำให้ไดนาโมหมุนแล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าซึ่งส่วนมาก คือ จะทำเป็นเขื่อนเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นข้อดีของพลังงานน้ำอีกอย่าง โดยน้ำจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ใช้แล้วไม่หมด น้ำนี้เมื่อใช้ปั่นไฟแล้วยังเอาไปใช้ในการเกษตรได้และเมื่อระเหยกลายเป็นไอ ก็รวมตัวกันเป็นเมฆและกลายเป็นฝนตกกลับลงมาเป็นน้ำในเขื่อนให้ใช้ปั่นไฟได้อีก



รูป 2.3 เขื่อนที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า<sup>[6]</sup>

### 2.2.1.3 พลังงานลม

พลังงานลมจัดเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำแหล่งพลังงานนี้มาใช้ได้ โดยอาศัยหลักการคล้ายกับการผลิตกระแสไฟฟ้าของเขื่อนแต่จะเปลี่ยนเป็นกังหันลม เพื่อใช้ในการรับพลังงานลมในการขับเคลื่อนไดนาโมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยประเทศที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ประเทศเนเธอร์แลนด์ เป็นต้น



รูป 2.4 กังหันลมที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า<sup>[6]</sup>

#### 2.2.1.4 พลังงานชีวมวล (Biomass)

ชีวมวล (Biomass) จัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญอย่างหนึ่ง ปัจจุบันได้มีการศึกษากันวิจัย อย่างกว้างขวาง พลังงานชีวมวลผลิตได้จากพืชและสัตว์ สามารถแบ่งตามแหล่งที่มาได้ ดังนี้

1. พืชผลทางการเกษตร (Agricultural crops) เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่างหวาน ที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต แป้ง และน้ำตาล รวมถึงพืชน้ำมันต่างๆ ที่สามารถนำน้ำมันมาใช้เป็นพลังงานได้
2. เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural residues) เช่น ฟางข้าว เศษลำต้นข้าวโพด ชังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง
3. ไม้และเศษไม้ (Wood and Wood residues) เช่น ไม้โตเร็ว ยูคาลิปตัส กระถินณรงค์ เศษไม้ จากโรงงานผลิตเครื่องเรือนและ โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ เป็นต้น
4. ของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน (Waste streams) เช่น กากน้ำตาลและขานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล แกลบจากโรงสีข้าว ขี้เถ้าจากโรงงานแปรรูปไม้ เส้นใยปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมัน ปาล์ม นอกจากนี้ยังรวมถึงขยะอินทรีย์ชุมชน น้ำมันบริโภคใช้แล้วจากพืชและสัตว์ และน้ำเสียจากชุมชนหรืออุตสาหกรรมเกษตรที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ด้วย

#### 2.2.2 พลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Non-Renewable energy)

พลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Non-Renewable energy) คือ แหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน และถ่านหิน โดยแหล่งพลังงานทั้ง 3 นี้ใช้ระยะเวลาในการเกิดหลายปี ซึ่งสามารถเกิดได้จากการทับถมกันของซากพืช ซากสัตว์ เป็นเวลาหลายล้านปี ซึ่งถ้าหมดไปแล้วก็ไม่สามารถที่จะรอให้มันเกิดขึ้นมาอีกได้ เพราะฉะนั้นเราจึงต้องคิดหาแหล่งพลังงานอื่นเพื่อนำมาใช้แทนแหล่งพลังงานเหล่านี้ ซึ่งในปัจจุบันนั้น ได้มีการผลิต Biodiesel เพื่อที่จะนำมาใช้แทนน้ำมันที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

## 2.3 น้ำมันเชื้อเพลิง<sup>14,71</sup>

น้ำมันเชื้อเพลิงแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

### 2.3.1 น้ำมันจากฟอสซิล หรือ น้ำมันปิโตรเลียม

น้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิล หรือน้ำมันปิโตรเลียมซึ่งสูบขึ้นมาจากใต้ดินแล้วนำมาผ่านกระบวนการกลั่นโดยใช้ความดันและความร้อนสูง ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ออกมา เช่น แก๊ส ปิโตรเลียมเหลว น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันเครื่องบิน น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และยางมะตอย เป็นต้น ซึ่งใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ และวัตถุดิบที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม น้ำมันที่ได้ นักธรณีวิทยาคาดการณ์ว่า หากไม่มีการสำรวจเพิ่มเติม พลังงานฟอสซิลสำรองของโลกที่มีอยู่อย่างจำกัดก็จะหมดลงไปไปอีกไม่กี่สิบปีข้างหน้า ในขณะที่น้ำมันเชื้อเพลิงกำลังลดจำนวนลง แต่ปริมาณความต้องการของมนุษย์กลับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ทั่วโลกค้นหาพลังงาน ที่สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันจากฟอสซิลนี้ได้ ซึ่งหนึ่งในทางออกที่พบ ก็คือ น้ำมันจากพืช นั่นเอง

### 2.3.2 น้ำมันเชื้อเพลิงจากพืช หรือ สัตว์

น้ำมันจากพืช หรือสัตว์ เป็นน้ำมันที่ใช้สำหรับการบริโภค ซึ่งค้นพบว่า มีพืชอยู่หลายชนิดด้วยกันที่สามารถให้น้ำมัน ได้อีกทั้งยังสามารถนำน้ำมันไปใช้ ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ใช้ทาสิ่น้ำมันผสมสี ทำยารักษาโรค เครื่องสำอาง สบู่ ผงซักฟอก หนังกเทียม พลาสติก และยังสามารถใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงหรือน้ำมันหล่อลื่นได้อีกด้วย

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากพืช ได้จากการสกัดจากพืชน้ำมันโดยตรง เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง มะพร้าว ปาล์ม น้ำมัน งา ละหุ่ง เมล็ดทานตะวัน เป็นต้น ยังสามารถได้จากพืชที่ให้แป้ง และน้ำตาล เช่น มันสำปะหลัง ฝักข้าวโพด อ้อย ข้าวฟ่างหวาน ชานอ้อย กากน้ำตาล ฟางข้าว เป็นต้น โดยการนำมาย่อยสลายแป้งและน้ำตาล ผ่านกระบวนการจนได้เอทานอล ซึ่งถ้าสามารถทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์ ถึงร้อยละ 99.5 ก็สามารถนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันฟอสซิล เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ได้เช่นกัน

น้ำมันที่ได้จากพืชน้ำมันและจากสัตว์นั้น ส่วนใหญ่นำมาบริโภค เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันงา น้ำมันหมู เป็นต้น แต่ก็มีพืชน้ำมันบางชนิดที่ไม่สามารถนำมาบริโภคได้ เช่น น้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันจากเมล็ดละหุ่ง เพราะว่ามีสารพิษปนอยู่ ซึ่งน้ำมันจากพืชและสัตว์เหล่านี้ล้วนสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ได้ทั้งสิ้น [4]

เพราะฉะนั้น จึงถือได้ว่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่สกัดได้จากพืช ไม่ว่าจะโดยตรงจากพืชน้ำมัน หรือทางอ้อม โดยการผลิตให้เป็นเอทานอลจากพืชชนิดที่ให้แป้งและน้ำตาล เป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันจากฟอสซิลได้และไม่มีวันหมด เพราะวัตถุดิบล้วนเป็นผลผลิตทางการเกษตรอีกทั้งยังเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่สร้างมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

### 2.3.3 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์

โดยทั่วไป น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ทุกชนิดเป็นสารประกอบตระกูล ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) มีโครงสร้างเป็น  $C_3H_5(OH)_3$  เชื่อมต่อกับกรดไขมันชนิดต่างๆกันเป็นองค์ประกอบ โดยมีปริมาณกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดทั้งทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่

น้ำมันพืชส่วนใหญ่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในกรดไขมันระหว่าง 12 ถึง 18 ตัว มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวแตกต่างกัน น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณที่สูงจะมีค่าไอโอดีนต่ำ และเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลงหรือมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงขึ้น ค่าไอโอดีนจะสูงขึ้นตามลำดับ

น้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่อยู่ตัวเมื่อสัมผัสกับอากาศจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายและจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ที่อุณหภูมิสูง เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแล้ว น้ำมันจะมีสภาพเป็นสารเหนียวขึ้น โดยทั่วไปดัชนีที่เป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำมันพืชจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ยากหรือง่ายคือค่า “ไอโอดีน” น้ำมันพืชที่ดีควรมีค่าไอโอดีนต่ำ ฉะนั้นการเลือกใช้ น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำเป็นเชื้อเพลิงจะเป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในเครื่องยนต์เบื้องต้น

#### การแบ่งชนิดของไอโอดีนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนสูงกว่า 160-230 เป็นน้ำมันพืชที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ง่ายเรียก น้ำมันพืชเช่นนี้ว่า “น้ำมันชักแห้ง” (Drying oils)
2. น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนปานกลางระหว่าง 125-150 เรียกน้ำมันชนิดนี้ว่า “น้ำมันกึ่งชักแห้ง” (Semi-drying oils)
3. น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำกว่า 120 เรียกน้ำมันพืชเช่นนี้ว่า “น้ำมันไม่ชักแห้ง” (Non-drying oils)

ตาราง 2.1 คุณสมบัติและองค์ประกอบไขมันหลักของน้ำมันพืชต่างๆ<sup>[4]</sup>

| ชนิดน้ำมัน        | ค่าไอโอดีน | องค์ประกอบของกรดไขมันหลัก |           |           |         |           |           |          |
|-------------------|------------|---------------------------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|----------|
|                   |            | C12 : 0                   | C14 : 0   | C16 : 0   | C18 : 0 | C18 : 1   | C18 : 2   | C18 : 3  |
| ปาล์ม             | 14.1-21.0  | ND-0.5                    | 0.5-0.2   | 39.3-47.5 | 3.5-6.0 | 36.0-44.0 | 9.0-12.0  | ND-0.5   |
| ปาล์ม<br>โอสลิน   | >56        | 0.1-0.5                   | 0.5-1.5   | 38.0-43.5 | 3.5-5.0 | 39.8-46.0 | 10.0-13.5 | ND-0.6   |
| ปาล์ม<br>สเตียร์น | <48        | 0.1-0.5                   | 1.0-2.0   | 48.0-74.0 | 3.9-6.0 | 15.2-36.0 | 3.0-10.0  | 0.5      |
| เมล็ดใน<br>ปาล์ม  | 50.0-55.0  | 45.0-55.0                 | 14.0-18.0 | 6.5-10.0  | 1.0-3.0 | 12.0-19.0 | 1.0-3.5   | ND-0.2   |
| มะพร้าว           | 6.3-10.6   | 45.1-53.2                 | 16.8-21.0 | 7.5-10.2  | 2.0-4.0 | 5.0-10.0  | 1.0-2.5   | ND       |
| ถั่วลิสง          | 86-107     | ND-0.1                    | ND-0.1    | 8.0-14.0  | 1.0-4.5 | 35.0-67.0 | 13.0-43.0 | ND-0.3   |
| ถั่วเหลือง        | 124-139    | ND-0.1                    | ND-0.2    | 8.0-13.5  | 2.0-5.4 | 17.7-28.0 | 49.8-59.0 | 5.0-11.0 |

ND = ไม่พบ

องค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่สามารถพบได้ในน้ำมันพืชและสัตว์ คือ กรดไขมัน (Fatty Acid) เนื่องจากไขมันและน้ำมันประกอบด้วยกลีเซอรอลเหมือนกัน แต่กรดไขมันแตกต่างกัน สมบัติของไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดจึงขึ้นอยู่กับสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ โดยกรดไขมันแต่ละตัวนี้จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามแหล่งที่พบโดยได้สรุปออกมาเป็นตารางได้ (ตาราง 2.2)

ตาราง 2.2 สมบัติบางประการของกรดไขมันและแหล่งที่พบ<sup>[8]</sup>

| กรดไขมัน   | สูตรโครงสร้างอย่างย่อ   | จุด<br>หลอม<br>เหลว<br>(°C) | จำนวน<br>พันธะคู่<br>ระหว่าง<br>คาร์บอน | ตัวอย่างแหล่งที่พบ         |
|--|---|-----------------------------|---|----------------------------|
| ก. กรดไขมันอิ่มตัว<br>ลอริก (Lauric acid)                    | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$  | 44.2                        | -                                       | น้ำมันมะพร้าว              |
| ไมริสติก<br>(Myristic acid)                                  | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$  | 53.9                        | -                                       | น้ำมันมะพร้าว<br>ลูกจันทศ  |
| ปาล์มิติก<br>(Palmitic acid)                                 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$  | 63.1                        | -                                       | น้ำมันปาล์ม,<br>ไขมันสัตว์ |
| สเตียริก (Stearic acid)                                      | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$  | 69.6                        | -                                       | ไขมันพืช,<br>ไขมันสัตว์    |
| อะราซิดิก<br>(Arachidic acid)                                | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$  | 76.5                        | -                                       | น้ำมันถั่วลิสง             |
| ข. กรดไขมันไม่อิ่มตัว<br>ปาล์มิโตเลอิก<br>(Palmitoleic acid) | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}_2(\text{CH})_7\text{COOH}$         | -0.5                        | 1                                       | ไขมันพืช,<br>ไขมันสัตว์    |
| โอเลอิก<br>(Oleic acid)                                      | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}_2(\text{CH})_7\text{COOH}$         | 13.4                        | 1                                       | ไขมันพืช,<br>ไขมันสัตว์    |
| ไลโนเลอิก<br>(Linoleic acid)                                 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$ | -5                          | 2                                       | น้ำมันพืช                  |
| ไลโนเลนิก<br>(Linolenic acid)                                | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$   | -11                         | 3                                       | น้ำมันพืช                  |
| อะราซิดอนิก<br>(Arachidonic acid)                            | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ | -49.5                       | 4                                       | ไขมันสัตว์                 |

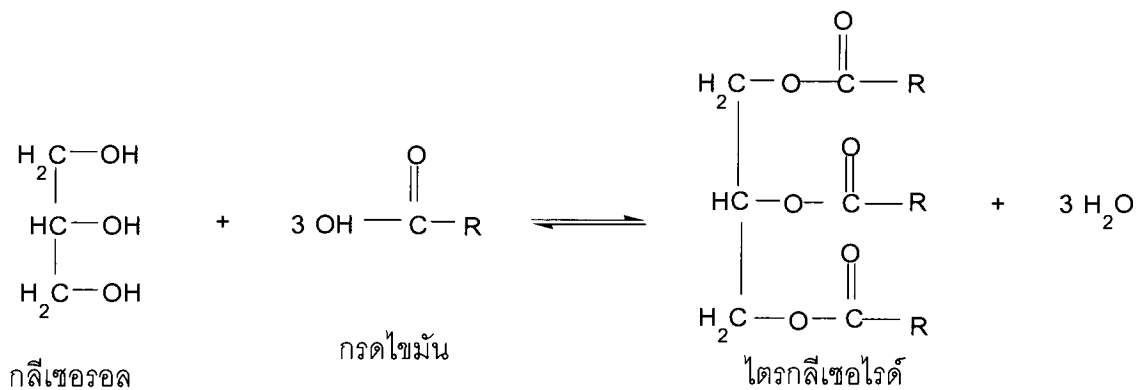


## 2.4 ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride)

เป็นสารชีวโมเลกุล (Biomolecules) ซึ่งเป็นสารที่พบได้ในสิ่งมีชีวิตทั่วไป โดยมีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นองค์ประกอบหลัก ประเภทลิพิด (Lipid) คือ สารประกอบอินทรีย์ที่ได้จากเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ เป็นสารที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เป็นโมเลกุลโคเวเลนต์ ไม่มีขั้ว เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ตัวอย่างเช่น ไขมัน น้ำมัน wax และสเตียรอยด์ เป็นต้น

### 2.4.1 ไขมันและน้ำมัน (Fats and Oils)

ไขมันและน้ำมันคือไตรกลีเซอไรด์เป็นเอสเทอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิเฟชันระหว่าง กลีเซอรอล กับ กรดไขมัน



รูป 2.5 ปฏิกิริยาการเกิดไตรกลีเซอไรด์<sup>[9]</sup>

ไขมัน เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง (25°C) มักพบในสัตว์ ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น ไขวัว ไขควาย

น้ำมัน เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (25°C) มักพบในพืช ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว เช่น น้ำมันมะกอก

### 2.4.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของไขมันและน้ำมันแบ่งได้ดังนี้

1. ไขมันมีจุดหลอมเหลว และจุดเดือดสูงกว่าน้ำมัน เพราะในไขมันประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมากกว่าในน้ำมัน นอกจากนั้นทั้งไขมันและน้ำมันจะมีจุดหลอมเหลว และจุดเดือดสูงขึ้น ถ้ากรดไขมันใน โมเลกุลมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเพิ่มขึ้น

2. ไขมันและน้ำมันไม่ละลายน้ำแต่ละละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์หรือตัวทำละลายที่โมเลกุลไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซน เบนซีน อีเทอร์ เป็นต้น เพราะปลายทั้งสองข้างของโมเลกุลของไขมันและน้ำมันไม่มีขั้ว

3. ไขมันและน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว สามารถเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับธาตุฮาโลเจน เช่น โบรมีน ( $\text{Br}_2$ ) และไอโอดีน ( $\text{I}_2$ ) ได้ในที่มืด (สามารถฟอกสีของโบรมีนและไอโอดีนได้) ดังนั้นไขมันหรือน้ำมันใดที่เกิดปฏิกิริยารวมตัวกับธาตุฮาโลเจนได้ แสดงว่ามีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมอยู่ในโมเลกุล ถ้ารวมตัวกับธาตุฮาโลเจนได้ในปริมาณมาก แสดงว่ามีพันธะคู่มากหรือประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่มาก

4. น้ำมันมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว สามารถเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับไฮโดรเจนเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา การรวมตัวจะเกิดตรงตำแหน่งพันธะคู่ ระหว่างคาร์บอน ทำให้พันธะคู่ระหว่างคาร์บอนลดลงเป็นผลให้น้ำมันนั้นมีจุดหลอมเหลวสูงขึ้น จึงทำให้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการทำเนยเทียม

5. ไขมันและน้ำมันเมื่อเก็บไว้นานๆ จะมีกลิ่นเหม็นหืน สาเหตุของการเหม็นหืนเกิดจาก

5.1 ไขมันหรือน้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน) โดยออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ ของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไขมัน หรือน้ำมัน กลายเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารที่ไม่เสถียรจะสลายตัวต่อไปกลายเป็นกรดไขมันและอัลดีไฮด์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กกระเหยได้ง่าย และมีกลิ่นเหม็น ไขมันหรือน้ำมันที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนมากจะยิ่งเหม็นหืนได้ง่าย ในธรรมชาติปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ดีเมื่อไขมันหรือน้ำมันสัมผัสอากาศ และมีความร้อนหรือแสง

5.2 เกิดจากไขมันหรือน้ำมันทำปฏิกิริยากับน้ำ (เกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส) โดยมีเอนไซม์จากจุลินทรีย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดกรดไขมันอิสระที่มีกลิ่นเหม็น

6. ไขมันหรือน้ำมันเมื่อถูกย่อยโดยเอนไซม์ไลเปส (ทำปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา) หรือทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดได้กลีเซอรอลและกรดไขมัน

7. ไขมันหรือน้ำมันเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) จะได้กลีเซอรอลและเกลือของกรดไขมัน (สบู่) เรียกว่า ปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน (Saponification)<sup>[8]</sup>

ตาราง 2.3 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในน้ำมันชนิดต่างๆ<sup>[9]</sup>

| ชนิดของน้ำมัน     | ไขมันอิ่มตัว (%) | ไขมันไม่อิ่มตัว (%) |
|-------------------|------------------|---------------------|
| น้ำมันดอกคำฝอย    | 8                | 72                  |
| น้ำมันดอกทานตะวัน | 12               | 63                  |
| น้ำมันข้าวโพด     | 10               | 55                  |
| น้ำมันถั่วเหลือง  | 15               | 52                  |
| น้ำมันเมล็ดฝ้าย   | 25               | 50                  |
| น้ำมันถั่วลิสง    | 20               | 26                  |
| น้ำมันมะพร้าว     | 86               | 0                   |

#### 2.4.3 คุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมัน

คุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันพืชมีค่าความร้อนประมาณ ร้อยละ 83-85 ของน้ำมันดีเซล

2. น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลเป็น 10 เท่า ถ้าอุณหภูมิต่ำลง น้ำมันพืชจะยังมีความหนืดสูงขึ้นเป็นลำดับจนเกิดเป็นไข เช่น น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว สำหรับน้ำมัน มะพร้าวจะเริ่มเป็นไขที่อุณหภูมิ 24-26 °C และมีปริมาณไขถึงร้อยละ 36 ที่อุณหภูมิ 20 °C ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการป้อนเชื้อเพลิงในบางพื้นที่และบางฤดูกาลที่มีอุณหภูมิต่ำ

3. น้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวได้น้อยมาก (Low volatility) ทำให้เมื่อป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้จะจุดระเบิดได้ช้ากว่า และมีกากคาร์บอนหลงเหลือหลังการเผาไหม้มากกว่าน้ำมันดีเซล

4. คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ (ตาราง 2.4)

การที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้หัวฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยได้ยากและเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้และการสันดาปจะไม่สมบูรณ์นอกจากนั้น น้ำมันพืชที่มีคุณสมบัติระเหยตัวกลายเป็นไอได้ช้าและน้อยมาก ยิ่งทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยาก เครื่องยนต์ติดยาก และหลงเหลือคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด กระจบอสูบ แหวน และวาล์ว จากคุณสมบัติที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงและระเหยตัวได้ยากกว่าน้ำมันดีเซลนี้ ทำให้เกิดความยุ่งยากเมื่อใช้น้ำมันพืชล้วนๆ โดยตรงในเครื่องยนต์

ตาราง 2.4 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล<sup>[10]</sup>

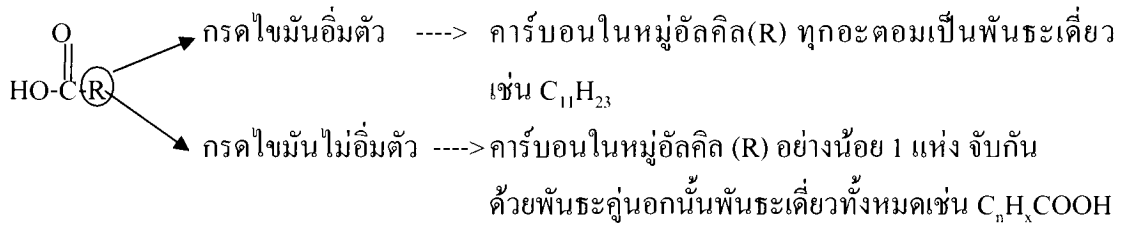
| น้ำมัน       | ความถ่วงจำเพาะ<br>(ที่ 21°C) (กรัม/<br>มิลลิลิตร) | ความหนืด<br>(ที่ 21°C) (เซนติพอยส์) | ค่าความร้อน<br>(กิโลจูล/กิโลกรัม) |
|--------------|---|-------------------------------------|-----------------------------------|
| ถั่วเหลือง   | 0.918   | 57.2                                | 39350                             |
| ทานตะวัน     | 0.918   | 60.0                                | 39490                             |
| มะพร้าว      | 0.915   | 51.9                                | 37540                             |
| ถั่วลิสง     | 0.914   | 67.1                                | 39470                             |
| ปาล์ม        | 0.898   | 88.6                                | 39550                             |
| เมล็ดในปาล์ม | 0.904   | 66.3                                | 39720                             |
| น้ำมันดีเซล  | 0.845   | 3.8                                 | 46800                             |
| ข้าวโพด      | 0.920   | 61.3                                | 39200                             |

เนื่องจากน้ำมันพืชมีคุณสมบัติแตกต่างจากน้ำมันดีเซลมาก เมื่อใช้โดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลจึงจำเป็นต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ ตัวอย่างเครื่องของ DMS (Dieselmotoren-und Geratebau GmbH) และเครื่องยนต์ ELSBETT Technology ซึ่งออกแบบมาใช้กับน้ำมันพืชโดยตรง ในการออกแบบได้ดัดแปลงในส่วนของลูกสูบระบบหัวฉีดและห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำมันพืช เพื่อเปลี่ยนเป็นแรงบิดได้อย่างคุ้มค่า<sup>[10,11]</sup>

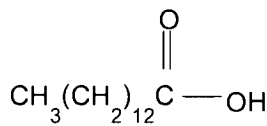
## 2.5 กรดไขมัน (Fatty acid)<sup>[12]</sup>

กรดไขมัน คือ กรดอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีหมู่คาร์บอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชัน เป็นกรดที่เกิดจากการไฮโดรลิซิสไตรกลีเซอไรด์ (เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน) กรดไขมันเป็นการเรียงตัวของธาตุคาร์บอน โดยที่ปลายด้านหนึ่งเป็นหมู่เมทิล อีกด้านหนึ่งเป็นหมู่คาร์บอกซิล ความยาวของคาร์บอนมีได้หลายตัวหากมีความยาวน้อยกว่า 6 อะตอมเรียก Short chain fatty acid หากมีคาร์บอนมากกว่า 12 อะตอมเรียกว่า Long chain fatty acid กรดไขมันเป็นอาหารของกล้ามเนื้อ กรดไขมันที่พบโดยทั่วไปจะมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ที่พบบ่อยคือ 16 หรือ 18 อะตอม

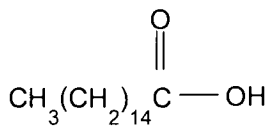
### 2.5.1 กรดไขมันแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้



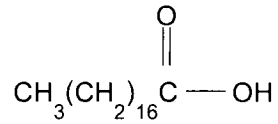
- 1) กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids) หมายถึง กรดไขมันที่มีธาตุ C ต่อกันด้วยพันธะเดี่ยว (หมู่แอลคิลจะมีแต่พันธะเดี่ยว) เช่น กรดไมริสติก กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก



กรดไมริสติก



กรดปาล์มมิติก



กรดสเตียริก

จุดหลอมเหลว ( $^{\circ}\text{C}$ ) 54

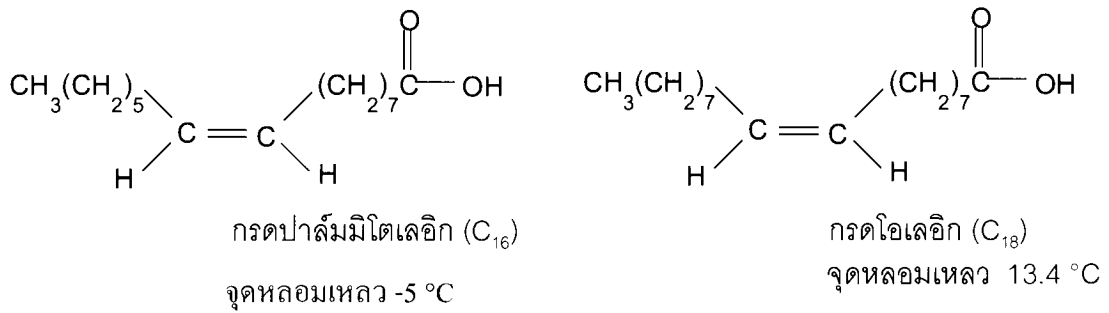
63

70

รูป 2.6 โครงสร้างของ กรดไมริสติก กรดปาล์มมิติก และ กรดสเตียริก<sup>[12]</sup>

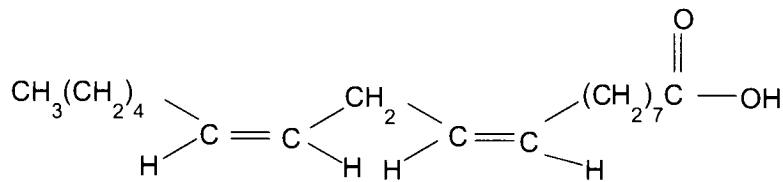
- 2) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids) หมายถึง กรดไขมันที่มีธาตุคาร์บอนต่อกันด้วยพันธะคู่ (หมู่อัลคิลจะมีพันธะคู่อยู่ด้วย) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- (1) ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated) เป็นกรดไขมันที่มีธาตุคาร์บอนต่อกันด้วยพันธะคู่เพียงหนึ่งตำแหน่ง เช่น กรดปาล์มมิตอเลอิกและกรดโอเลอิก

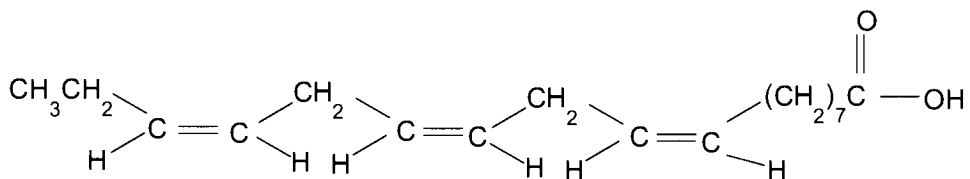


**รูป 2.7** โครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว <sup>[12]</sup>

(2) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated) หมายถึง กรดไขมันที่มีธาตุคาร์บอนต่อกันด้วย พันธะคู่อยู่หลายตำแหน่ง เช่น กรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิก



กรดลิโนเลอิก จุดหลอมเหลว -5 °C



กรดลิโนเลนิก จุดหลอมเหลว -11 °C

**รูป 2.8** โครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน <sup>[12]</sup>

### 2.5.2 ความไม่อิ่มตัว (Unsaturated)

- ความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน, ไขมัน หรือน้ำมันสามารถหาได้โดยทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีน
- กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะมีจุดเดือดต่ำกว่ากรดไขมันที่อิ่มตัว
- พันธะคู่ในกรดไขมัน, ไขมัน หรือน้ำมันที่ไม่อิ่มตัวจะถูกออกซิไดซ์ได้ด้วยออกซิเจนในอากาศทำให้เกิดการเหม็นหืน

## 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ และเอสเทอร์<sup>[13]</sup>

- 2.6.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน คือ ปฏิกิริยาการเตรียมเอสเทอร์จากกรดอินทรีย์กับแอลกอฮอล์ในสภาวะกรด
- 2.6.2 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส คือ ปฏิกิริยาระหว่างเอสเทอร์กับน้ำ เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน จะได้กรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์เป็นผลิตภัณฑ์
- 2.6.3 ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาระหว่างเอสเทอร์กับเบส ให้เกลือของกรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ เกลือของกรดอินทรีย์เมื่อมีจำนวนคาร์บอนอะตอมมาก ๆ จะเรียกว่า สบู่

## 2.7 ไบโอดีเซล (Biodiesel)<sup>[14]</sup>

ไบโอดีเซล คือ เชื้อเพลิงเหลวซึ่งผลิตได้จากกระบวนการที่เรียกว่า “ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน” ของน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ กับสารเมทานอล (methanol) โดยมีโซเดียมหรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) เปลี่ยนไขมันให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (methyl esters) และกลีเซอรอล และเมื่อกลีเซอรอลถูกแยกออกจากน้ำมันพืชแล้ว โมเลกุลที่เหลือจะมีคุณสมบัติคล้ายกับน้ำมันปิโตรเลียมจะต่างกันที่โมเลกุลของไบโอดีเซลเป็นกลุ่มของไฮโดรคาร์บอนที่ปลอดกำมะถันหรือองค์ประกอบที่ซับซ้อนอื่นๆ ซึ่งกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ที่มีความทางอุตสาหกรรมและเครื่องสำอาง เอสเทอร์ชนิดนี้มีลักษณะคล้ายน้ำมันดีเซล ใช้แทนดีเซลหรือเติม เป็นส่วนผสมในดีเซล ใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์แต่อย่างใดและให้พลังงานที่คล้ายกันกับน้ำมันดีเซลปกติ

### 2.7.1 ประเภทของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลแบ่งได้ 3 ประเภท (ตามประเภทของน้ำมันที่นำมาใช้ได้)

#### 2.7.1.1 น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์

ไบโอดีเซลประเภทนี้คือน้ำมันพืชแท้ๆ (เช่น น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันปาล์ม, น้ำมันถั่วลิสง, น้ำมันถั่วเหลือง) หรือน้ำมันจากไขสัตว์ (เช่น น้ำมันหมู) ซึ่งเราสามารถเอามาใช้ได้เลยกับเครื่องยนต์ดีเซล โดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นใด หรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน แต่จะพบปัญหาการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์และการแข็งตัวของไขมันเมื่ออากาศเย็น

#### 2.7.1.2 ไบโอดีเซลแบบลูกผสม

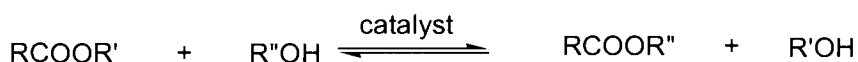
ไบโอดีเซลชนิดนี้เป็นลูกผสมระหว่างน้ำมันพืช (หรือสัตว์) กับน้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซลหรืออะไรก็ได้เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุดอย่างเช่น โคโคดีเซล (Coco diesel) ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซล เป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล

#### 2.7.1.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์หมายถึงกระบวนการที่มีการแปรรูปน้ำมันด้วยกระบวนการเคมีที่เรียกว่าทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน คือการนำเอาน้ำมันพืชหรือสัตว์ที่มีกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้เอสเทอร์ โดยจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

## 2.8 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification Reaction) <sup>[13]</sup>

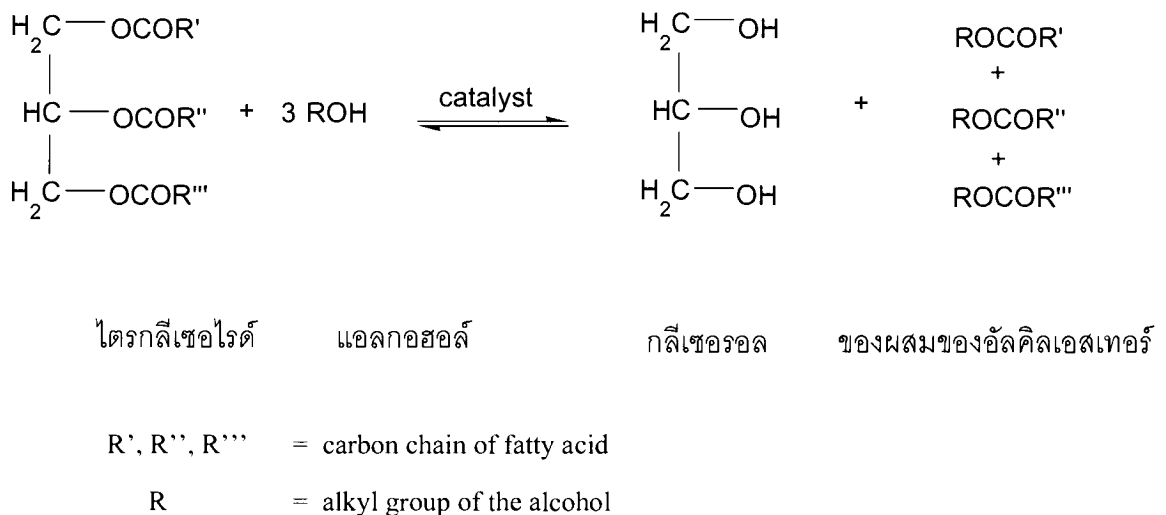
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาระหว่าง เอสเทอร์กับแอลกอฮอล์ เรียกปฏิกิริยานี้ว่าปฏิกิริยาการเกิดแอลกอฮอล์ ซึ่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมีความหมายเหมือนกับ ปฏิกิริยาการเกิดแอลกอฮอล์ ของคาร์บอริกเอสเทอร์ โดยปฏิกิริยานี้จะมีตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าร่วมด้วยเพื่อเร่งปฏิกิริยา (สมการในรูป 2.8) และทำให้ได้เอสเทอร์ที่มี เปอร์เซ็นต์ผลผลิต (Yield) สูงขึ้น โดยจะใช้แอลกอฮอล์มากเกินไป



รูป 2.9 สมการโดยทั่วไปของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน



ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชเกิดโดยไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าร่วม ซึ่งอาจเป็น กรดแก่ หรือ เบสแก่ ก็ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของผสมระหว่างอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid alkyl ester) และ กลีเซอรอล ดังรูป 2.9 ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ โดยมีอินเทอร์มีเดียร์อยู่ในรูปโมโน ไคและไตรกลีเซอไรด์ ปฏิกิริยาต้องการ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ และ 3 โมล ของแอลกอฮอล์ ซึ่งจะใช้แอลกอฮอล์จำนวนที่มากเกินไป การใช้แอลกอฮอล์มากเกินไปจะมีผลทำให้ได้ร้อยละของผลผลิตของอัลคิลเอสเทอร์ (Alkyl esters) เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำการแยกออกจากกลีเซอรอล



รูป 2.10 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืช

## 2.9 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน<sup>[13-15]</sup>

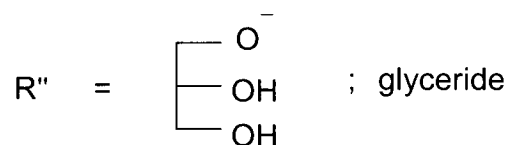
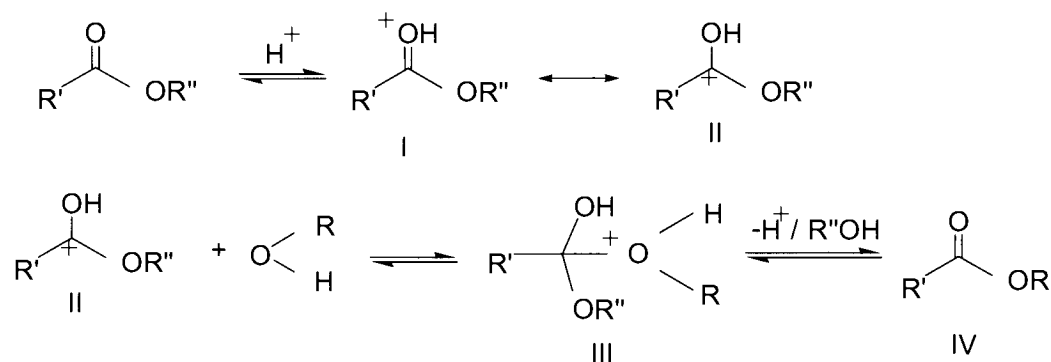
### 2.9.1 ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จะใช้กรดซัลโฟนิกและกรดซัลฟิวริก ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาพวกนี้จะให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของอัลคิลเอสเทอร์สูงมาก แต่ปฏิกิริยาจะเกิดช้า ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิมากกว่า 100 °C และใช้เวลามากกว่า 3 ชั่วโมง จึงจะเกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ โดยส่วนใหญ่จะใช้กรดซัลฟิวริก 1 โมล

กลไกของตัวเร่งปฏิกิริยากรดเป็นปฏิกิริยาของโมโนกลีเซอไรด์อย่างไรก็ตามสามารถใช้เป็นไดหรือไตรกลีเซอไรด์ได้ โดยจะเกิดการโปรโตเนตไอออน (protonation) ที่หมู่คาร์บอนิลของเอสเทอร์ ทำให้เกิดเป็นคาร์โบแคทไอออน (Carbocation, (II))

จากนั้นไฮดรอกซี ออกซิเจน (Hydroxy oxygen) ของหมู่แอลกอฮอล์จะเข้าไปสร้างพันธะได้ ผลิตภัณฑ์เป็นสารมัธยันต์ (Intermediate, (III) ) ซึ่งจะขจัดกลีเซอรอล ออกจากเอสเตอร์ (Ester (IV)) และได้ตัวเร่งปฏิกิริยา ( $H^+$ ) กลับออกมาอีกครั้ง

กรดคาร์บอกซิลิก สามารถเกิดปฏิกิริยาของคาร์โบแคทไอออน(Carbocation (II)) กับน้ำ ร่วมในปฏิกิริยาดังนั้นปฏิกิริยานี้ไม่ควรมีน้ำเข้าร่วมเพราะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ลดลง



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

$\text{R}$  = alkyl group of the alcohol

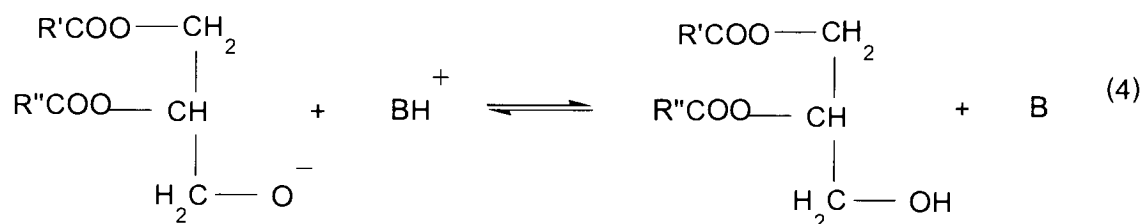
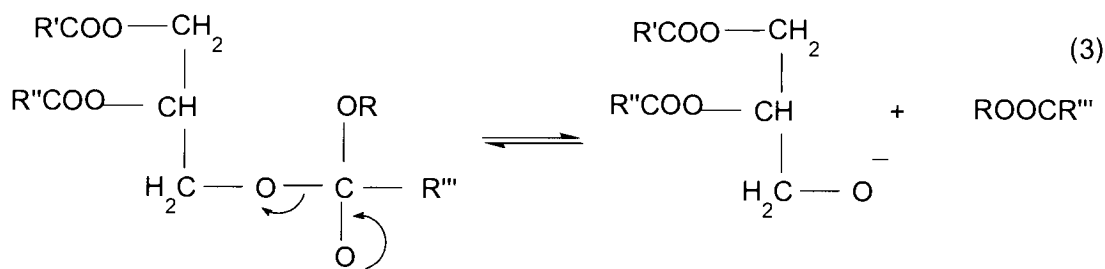
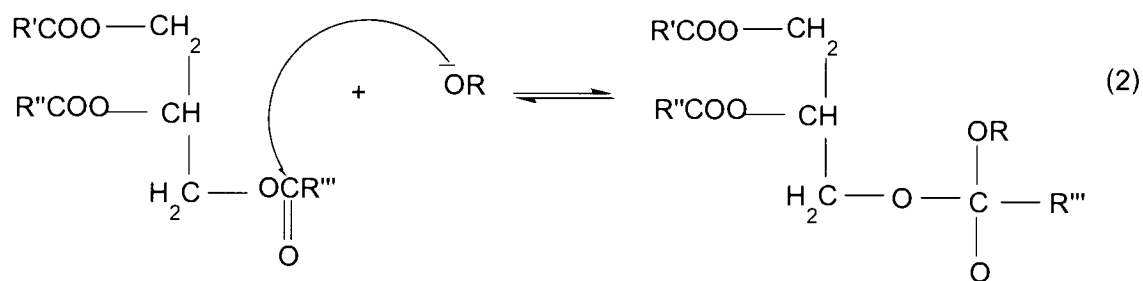
รูป 2.11 กลไกของตัวเร่งปฏิกิริยากรดในทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันพืช

## 2.9.2 ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

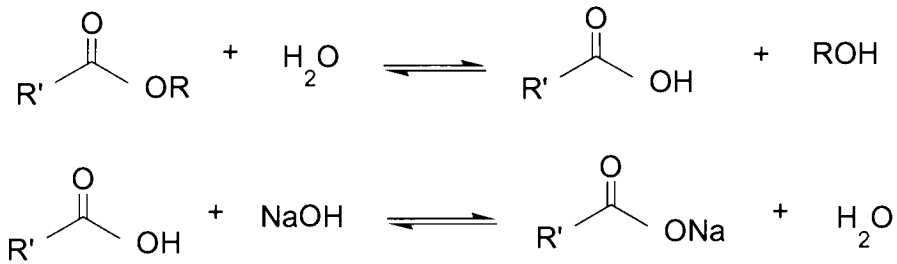
กลไกของตัวเร่งปฏิกิริยาเบสในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันพืชแสดงในรูป 11 ขั้นแรก (สมการที่ 1) เป็นปฏิกิริยาของเบสกับแอลกอฮอล์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ อัลคอกไซด์ ขั้นที่ 2 (สมการที่ 2) นิวคลีโอไฟล์ของอัลคอกไซด์เข้าที่หมู่คาร์บอนิลของไตรกลีเซอไรด์ เกิดเป็น tetrahedral intermediate ขั้นที่ 3 (สมการที่ 3) tetrahedral intermediate เกิดเรโซแนนซ์ (resonance) ได้อัลคิลเอสเทอร์และแอนไอออนของไตรกลีเซอไรด์ เกิดขึ้น ต่อมา deprotonated catalyst ซึ่งเป็นตัวที่ว่องไวเกิดปฏิกิริยากับแอนไอออนของไตรกลีเซอไรด์ได้

ผลิตภัณฑ์ เป็นแอลกอฮอล์กับเบส ซึ่งสามารถนำเบสกลับมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้อีกส่วน ส่วน ไตรกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ มีการเปลี่ยนแปลงกลไกเหมือนกับไตรกลีเซอไรด์ จะได้ของผสมของอัลคิลเอสเทอร์และกลีเซอรอล

สำหรับโพแทสเซียมคาร์บอเนตใช้ความเข้มข้นเป็น 2 หรือ 3 mol % จึงจะให้ผลผลิตของอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid alkyl esters) สูง และลดการเกิดสบู่ลง ซึ่งสามารถอธิบายการเกิด ไบคาร์บอเนตแทนที่น้ำได้ดังรูป 11 ซึ่งทำให้ไม่เกิดการไฮโดรไรต์ของเอสเทอร์<sup>[14]</sup>



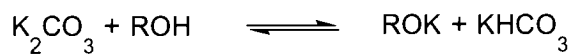
รูป 2.12 กลไกการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืช



R' = carbon chain of the fatty acid

R = alkyl group of the alcohol

รูป 2.13 ปฏิกริยาซาปอนิฟิเคชันของอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน



R = alkyl group of the alcohol

รูป 2.14 ปฏิกริยาของโพแทสเซียมคาร์บอเนตกับแอลกอฮอล์

### 2.9.3 ใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ถึงแม้ว่าเอนไซม์ไลเปสจะให้ผลดีในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน แต่ไม่นิยมใช้เนื่องจากเอนไซม์ไลเปสมีราคาสูง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับด้านอื่นๆ ได้หลายด้านที่ให้มูลค่าสูงกว่า เช่น ใช้เติมในผงซักฟอกเพื่อประสิทธิภาพในการซักล้าง เพิ่มรสชาติในอาหาร ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นต้น <sup>[16]</sup>

### 2.10 วิธีการผลิตไบโอดีเซล <sup>[17]</sup>

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากกระบวนการต่างๆ ที่สำคัญ 4 กระบวนการ ได้แก่

#### 2.10.1 การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลโดยตรง

เนื่องจากน้ำมันพืชและน้ำมันดีเซลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ดังนั้นการนำมาผสมกันจึงทำได้ง่าย อีกทั้งต้นทุนในการผลิตก็ต่ำกว่าวิธีอื่น

### 2.10.2 การทำไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) เป็นกระบวนการที่ทำอิมัลชัน (Emulsification) ให้เกิดสมดุลการกระจายตัว (Equilibrium dispersion) ของสารประกอบคอลลอยด์ที่มีขนาดของอนุภาค 1-150 nm โดยใช้ตัวทำละลายบางชนิด เช่น เมทานอล เอทานอล และ บิวทานอล เป็นต้น เป็นการแก้ไขปัญหาคความหนืดสูงของน้ำมันพืชและเพิ่มคุณสมบัติในการเผาไหม้ให้ดีขึ้น ไบโอดีเซลชนิดนี้จึงมีส่วนประกอบของสารมากกว่า 2 ชนิดขึ้นไป สำหรับประเทศไทย สูตรผสมบางสูตรที่เป็นการผสมระหว่างน้ำมันหลายๆ ชนิดก็อาจถือได้ว่าเป็นกลุ่มนี้

### 2.10.3 การแยกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking) หรือไพโรไลซิส (Pyrolysis)

การแยกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking หรือ Pyrolysis) คือการเปลี่ยนแปลงสารชนิดหนึ่งไปเป็นสารอีกชนิดหนึ่ง โดยใช้ความร้อน ตัวเร่งปฏิกิริยา และในสภาวะสูญญากาศปฏิกิริยาจะสลับซับซ้อน จะเกิดการแตกตัวได้สารหลายๆ ชนิดพร้อมๆ กัน การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงจากปฏิกิริยาไพโรไลซิส (Pyrolysis) ของน้ำมันพืชได้ศึกษากันมาเป็นเวลานาน และในปี ค.ศ. 1947 ได้มีการผลิตในระดับโรงงานต้นแบบโดยใช้น้ำมันตั้งอ้าว นำมาทำปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน (Saponification) จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยาไพโรไลซิส (Pyrolysis) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นน้ำมันดีเซลเป็นส่วนใหญ่มีน้ำมันเบนซินและน้ำมันก๊าดบ้างเล็กน้อย

### 2.10.4 การทำโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์กับกรดไขมัน (ไขมัน หรือน้ำมัน) ได้เอสเทอร์และกลีเซอรอล เป็นปฏิกิริยาชนิดย้อนกลับได้ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งอาจเป็นกรด ต่าง หรือเอนไซม์ก็ได้ แต่ในอุตสาหกรรมมักนิยมใช้ต่างเนื่องจากทำงานได้เร็วกว่า แต่แอลกอฮอล์และกรดไขมันต้องมีน้ำในโมเลกุลให้น้อยที่สุด ทั้งนี้เพราะน้ำจะไปทำให้เกิดปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน (Saponification) ซึ่งหมายถึงการทำให้เกิดสบู่ ทำให้ประสิทธิภาพในการเกิดเอสเทอร์ลดลง และทำให้การแยกกลีเซอรอลออกจากเอสเทอร์ยากขึ้น ดังนั้น การเตรียมต่างในปฏิกิริยามักจะใช้ต่างละลายในเมทานอลแทนน้ำและต้องใช้แอลกอฮอล์มากเพื่อให้ได้ผลผลิตและชนิดผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ

แอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล และเอมิลแอลกอฮอล์ (Amyl alcohol) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมทานอล และเอทานอล จะใช้มากที่สุด เนื่องจากราคาถูก หาง่าย และมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะต้องทำการแยกเอสเทอร์ออกจากส่วนผสมเหล่านั้น เนื่องจากเอสเทอร์ที่บริสุทธิ์เท่านั้นที่มีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงที่ดีซึ่งเป็นขั้นตอนที่ยาก <sup>[18]</sup>

## 2.11 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

### 2.11.1 ความชื้น (Moisture) และกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid)

เมื่อใช้ไตรกลีเซอไรด์เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันที่ใช้จะต้องมีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% หากค่าความเป็นกรดไขมันอิสระมากกว่า 1% จำเป็นต้องกำจัดกรดไขมันอิสระออกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ทำปฏิกิริยาให้เป็นกลาง แต่ถ้าไม่กำจัดกรดไขมันอิสระออกจะทำให้เกิดสบู่ขึ้นซึ่งมีผลดังนี้

- มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง
- ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและเกิดเจล
- การแยกชั้นของกลีเซอรินออกจากชั้นของเมทิลเอสเทอร์ยากมากขึ้น

Ma และคณะ [19] ศึกษาปัจจัยของกรดไขมันอิสระและน้ำที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ไขมันวัว พบว่าปริมาณน้ำในไขมันวัว ควรที่จะต่ำกว่า 0.06% w/w และปริมาณกรดไขมันอิสระควรต่ำกว่า 0.5% w/w เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดดีที่สุด

### 2.11.2 สัดส่วนเชิงโมล (Molar ratio) <sup>[19]</sup>

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะเป็นไปตามปริมาณสารสัมพันธ์ โดยในแอลกอฮอล์ 3 โมล ทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล เพื่อให้เกิด เอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมล และกลีเซอริน 1 โมล สัดส่วนเชิงโมลจะขึ้นอยู่กับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ เช่น ในกรณีที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต้องใช้สัดส่วนบิวทานอลกับน้ำมันถั่วเหลือง 30 : 1 แต่ถ้าใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต้องใช้สัดส่วนบิวทานอลต่อน้ำมันถั่วเหลือง 6:1 ผลผลิตของเอสเทอร์ที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ การศึกษาอัตราส่วนเชิงโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันที่เหมาะสมพบว่า ที่สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6: 1 จะเกิดการเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์มากที่สุด แต่ถ้าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมากขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มสัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 15 : 1 และใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา <sup>[20]</sup>

### 2.11.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ประกอบด้วย

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมเมทอกไซด์ โพแทสเซียมเอไมเอไมด์ และโพแทสเซียมไฮไดรด์
2. ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด เช่น กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก และกรดไฮโดรคลอริก

### 3. ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเอนไซม์ เช่น ไลเปส <sup>[35]</sup>

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบสในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะเกิดเร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด <sup>[19]</sup> แต่ถ้าในน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณน้ำที่สูง ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดจะเหมาะสมกว่า

#### 2.11.4 เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา (Reaction time) <sup>[19,20]</sup>

อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา เช่น ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ของน้ำมันเมล็ดถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย เมล็ดดอกทานตะวัน และเมล็ดถั่วเหลือง โดยใช้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ 1 % และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60°C พบว่าน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันดอกทานตะวันจะได้ผลผลิตร้อยละ 80 เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที แต่หลังจาก 1 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันทั้ง 4 ชนิด จะเหมือนกัน จะได้ผลผลิตร้อยละ

การศึกษาปัจจัยเวลาของการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากไขมันวัว ด้วยเมทานอล พบว่า ปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้ามากในช่วงนาทีแรกเนื่องจากเกิดการผสมและการละลายของเมทานอลเข้าไปในไขมันวัว แต่หลังจากนาทีแรกผ่านไปถึง 5 นาที ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเร็วมาก และจะเสร็จสมบูรณ์ภายใน 15 นาที ในช่วงการเริ่มต้นการเกิดปฏิกิริยาจะมีโคกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์อยู่สูง แล้วจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น จนถึงสุดกระบวนการจะมีปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์อยู่เป็นปริมาณที่สูงกว่าโคกลีเซอไรด์

#### 2.11.5 อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา (Reaction temperature)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จะใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาของเมทาโนไลซิสของน้ำมันละหุ่ง กับปฏิกิริยาเมทาโนไลซิส (Methanolysis) จะเหมาะสมที่ 20 – 35°C สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ใช้อยู่ในช่วง 6:1-12:1 และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.005-0.35 % w/w เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา <sup>[21]</sup>

การศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองบริสุทธิ์กับเมทานอล (6:1) โดยใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ 1% อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 32 45 และ 60°C ได้ผลผลิตร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ 64 87 และ 94 ตามลำดับ <sup>[22]</sup>

## 2.12 ขั้นตอนทั่วไปในการผลิตไบโอดีเซล<sup>1231</sup>

### 2.12.1 การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะถูกเตรียมให้เหมาะสมก่อนทำปฏิกิริยา โดยหากเป็นน้ำมันปาล์มดิบจะต้องผ่านกระบวนการแยกขางเหนียว และทำให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% ก่อน ส่วนวัตถุดิบจากน้ำมันที่ใช้ทอดแล้วจะถูกนำมาขจัดโปรตีนออกโดยการทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกเข้มข้น แล้วล้างด้วยน้ำ วัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% จะถูกนำไปขจัดน้ำออก โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 นาที เป็นเวลาประมาณ 20 นาที หรือจนกว่าไม่มีน้ำแยกชั้นผสมอยู่ โดยมีการกวนเพื่อให้การระเหยของน้ำเป็นไปได้ทั่วถึง

### 2.12.2 การเตรียมสารละลายแอลกอฮอล์

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะใช้เมทิลแอลกอฮอล์ หรือเมทานอล ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ถูกเลือกใช้เพราะมีราคาถูก โดยเมทานอลที่ใช้ต้องไม่มีน้ำเจือปนเกินกว่า 1% การเตรียมสารละลายกระทำโดย นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 - 5 ส่วน มาละลายในเมทานอล 100 ส่วน โดยน้ำหนัก ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เตรียมตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่อยู่ในวัตถุดิบ หากกรดไขมันอิสระมีปริมาณสูงก็ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนที่สูงตามไปด้วย

### 2.12.3 การทำปฏิกิริยา

น้ำมันที่ถูกขจัดน้ำแล้วจะถูกทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเติมสารละลายแอลกอฮอล์ลงไปช้าๆ (เติมให้หมดภายใน 10 นาที) สัดส่วนน้ำมันต่อสารละลายแอลกอฮอล์โดยน้ำหนักคือ 11 : 1 ทำการกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างทั่วถึงเป็นเวลาประมาณ 30 นาที ด้วยอัตราการกวนปานกลาง (300 รอบ/นาที) อุณหภูมิในช่วงนี้จะลดลงเหลือประมาณ 65°C การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ได้เมทิลเอสเทอร์และกลีเซอริน แต่ปฏิกิริยานี้ผันกลับได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหยุดกวนเพื่อแยกผลผลิตตัวใดตัวหนึ่งออก เมื่อหยุดกวน กลีเซอรอลซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่า (ประมาณ 1.26 g/ml) จะแยกชั้นออกจากเมทิลเอสเทอร์ โดยแยกตัวตกลงมาที่ก้นถัง ปฏิกิริยาการเกิดเมทิลเอสเทอร์จะสามารถดำเนินต่อไปอย่างช้าๆ เมื่อทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง

### 2.12.4 การแยกกลีเซอริน

ถ้ากลีเซอริน ใส่ภาชนะโดยถ่ายออกจากด้านล่างของถังปฏิกิริยาในขณะที่ยังร้อน เพราะหากทิ้งไว้ให้เย็นจะทำให้ชั้นกลีเซอรินกลายเป็นของแข็ง ทำให้แยกออกจากกันยากขึ้น



### 2.12.5 การล้างสิ่งปนเปื้อนออก

เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ยังปนเปื้อนด้วยสารอื่นๆ เช่น สบู่ที่เกิดจากการกระทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไขมันอิสระ กลีเซอรอลที่ละลายอยู่ในชั้นของเมทิลเอสเทอร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาและน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด ดังนั้นจึงต้องทำการขจัดออกด้วยน้ำอุ่นหลาย ๆ ครั้ง ปริมาณน้ำที่ใช้แต่ละครั้งประมาณ 1 : 4 ของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ เมื่อเติมน้ำเพียงพอแล้วเขย่าเพื่อให้สารเข้ากัน รอให้น้ำแยกชั้นจากเมทิลเอสเทอร์เป็นเวลาประมาณ 5-10 นาที ก็ถ่ายน้ำออกด้านล่าง จากนั้นเติมน้ำอุ่นเพื่อล้างใหม่ การล้างทำ 4-5 ครั้ง และเพิ่มการกวนในการล้างครั้งหลัง ๆ

### 2.12.6 การขจัดน้ำออกขั้นสุดท้าย

เมื่อล้างสิ่งปนเปื้อนออกหมดแล้ว ขั้นสุดท้าย คือ การขจัดน้ำที่หลงเหลือในชั้นเมทิลเอสเทอร์ออก ซึ่งกระทำโดยการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 120°C เป็นเวลาอย่างน้อย 20 นาที เพื่อให้น้ำระเหยออก แล้วเมื่อทิ้งไว้ให้เย็นก็สามารถนำไปเก็บเพื่อใช้งานต่อไป

เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากผลิตผลปาล์มน้ำมันต่าง ๆ เช่น น้ำมันที่ใช้แล้ว น้ำมันปาล์มดิบ (เกรดบี) น้ำมันปาล์มรีไฟน์ ไบโพลัมสเตียร์น และซูเปอร์แฮทสเตียร์น (superhard stearin) ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เมทิลแอลกอฮอล์เป็นสารเข้าทำปฏิกิริยาและใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยกรรมวิธีการผลิต 6 ขั้นตอน คือ การเตรียมน้ำมัน การเตรียมสารละลาย การทำปฏิกิริยา การแยกกลีเซอรอล การล้าง และการขจัดน้ำ พบว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์เกือบ 100% เมื่อทดสอบด้วยเทคนิค Thin Layer Chromatograph (TLC) สภาวะที่เหมาะสมโดยสัดส่วนเชิงโมลของเมทิลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 11:1 หรือเมทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 20% โดยน้ำหนัก และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5-1% ของน้ำมัน อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 60-80°C โดยมีการกวนประมาณ 15-30 นาที และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาต่อไปนาน 3-4 ชั่วโมง เมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีคุณสมบัติหลายประการใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว เช่น ความหนาแน่น ความหนืด ค่าความร้อน และช่วงอุณหภูมิการกลั่น แต่จุดไหลเทจะสูงกว่าน้ำมันดีเซลเนื่องจากมีสัดส่วนเมทิลเอสเทอร์ที่อิ่มตัว และมีจุดหลอมเหลวสูง<sup>[24]</sup>

### 2.13 การนำไปโอดีเซลไปใช้<sup>[25-27]</sup>

1. ไบโอดีเซลเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถสลายได้ง่าย จึงไม่มีผลกระทบต่อน้ำผิวดินและใต้ดิน สถานีจำหน่ายน้ำมัน ไบโอดีเซลในประเทศพัฒนาแล้ว ไม่ต้องมีกฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อมที่ต้องปฏิบัติหลายประการ เหมือนสถานีจำหน่ายน้ำมันดีเซลทั่วไป

2. ไม่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน

3. การใช้ไบโอดีเซลทำให้เครื่องยนต์มีกำลังต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลปกติประมาณร้อยละ 3 ซึ่งต้องมีการสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้นร้อยละ 3

4. การใช้ไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล สามารถสลับกันได้ทันที ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงเครื่องยนต์แต่อย่างใด

5. ผู้ที่มีรถเก่าที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลและต้องการหันมาใช้ไบโอดีเซล จำเป็นต้องเปลี่ยนท่อทาง สายส่งน้ำมันและซิลที่เป็นยาง เนื่องจากคุณสมบัติของไบโอดีเซลสามารถละลายยางและพลาสติกได้สูง เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลจากข้อมูลที่ได้รับจากศูนย์บริการรถยนต์ในประเทศเยอรมนีพบว่าในการเปลี่ยนชุดเหล่านี้มีค่าใช้จ่ายเป็นค่าอุปกรณ์และค่าบริการประมาณ 500-800 เหรียญเยอรมัน ซึ่งนับว่าต่ำกว่าการเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อเปลี่ยนระบบการใช้เชื้อเพลิงจากใช้น้ำมันดีเซลมาเป็นแก๊สที่มีค่าใช้จ่ายถึง 10,000 เหรียญเยอรมัน

6. สำหรับรถยนต์รุ่นใหม่ ๆ เช่น Volkswagen ที่ใช้เครื่องยนต์ 1.2 TDI (Turbo Diesel Direct Injection) หรือจากบริษัทอื่นๆ ที่ผลิตขึ้นเพื่อรองรับการใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจะติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้มาครบแล้ว จึงไม่ต้องเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนใดๆ นอกจากนั้นแล้วสถานีจำหน่ายไบโอดีเซลต้องใช้สายยางเฉพาะที่ผลิตขึ้นสำหรับไบโอดีเซลป้อนน้ำมันเพื่อจำหน่ายอีกด้วย

7. ในประเทศเยอรมนีบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ยอมรับการใช้ไบโอดีเซลในรถยนต์ โดยที่ต้องเป็นน้ำมันที่สามารถใช้ได้ที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$  ซึ่งน้ำมันดีเซลสามารถใช้ได้ที่  $-20^{\circ}\text{C}$  แต่การผลิตไบโอดีเซลในระยะแรกๆ รับประกันได้เพียง  $-15^{\circ}\text{C}$  จึงต้องเติมสารเติมแต่งเพื่อให้ใช้ได้ที่  $-20^{\circ}\text{C}$  ปัจจุบัน ผู้ผลิตไบโอดีเซลในประเทศเยอรมนีสามารถผลิตได้โดยรับประกันการใช้ที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$  และไม่ต้องเติมสารเติมแต่งใดๆ เพิ่ม

8. การใช้ไบโอดีเซลในประเทศเยอรมนียังไม่กว้างขวางนัก ถึงแม้ว่ามีเครือข่ายการจัดจำหน่ายถึง 1,000 แห่ง ทั้งนี้มีข้อสังเกตว่าเนื่องจากต้องมีการชดเชยช่วยเหลือสูง และเงินภาษีพลังงานมาจากการจำหน่ายน้ำมันดีเซลธรรมดา

9. รถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ปัจจุบันมีการประหยัดพลังงานอยู่แล้ว ใช้น้ำมันประมาณ 3 ลิตรต่อ 100 กิโลเมตร

10. รถยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลจะมีระยะเวลาการบำรุงรักษาต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล เช่น รถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มีการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องยนต์และไส้กรองน้ำมันทุกๆ 15,000 กิโลเมตร รถยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซล ต้องทำการเปลี่ยนไส้กรองและน้ำมันเครื่องยนต์ทุกๆ 10,000 กิโลเมตร<sup>[28]</sup>

## 2.14 หลักการของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

### 2.14.1 เครื่องกลั่นแบบลดความดัน

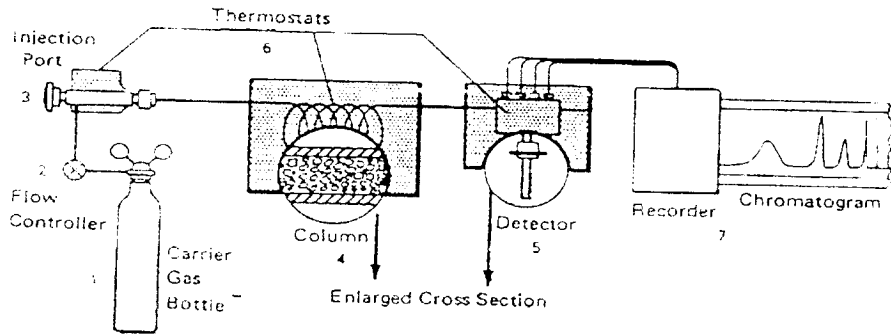
เป็นการสกัดสาร โดยอาศัยความสามารถในการละลายเฉพาะตัวของสารที่เกี่ยวข้องกับตัวทำละลายที่ใช้ ซึ่งสารแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการละลายในตัวทำละลายแต่ละชนิดแตกต่างกันไป หลักการที่สำคัญมีแนวโน้มที่จะละลายในตัวทำละลายที่มีคุณสมบัติทางเคมีที่คล้ายกัน หรือพวกที่เหมือนกันละลายด้วยกันได้ (Like dissolve like) การแยกตัวทำละลายออกจากสารแยกโดยใช้เครื่อง Rotary Evaporation BUCHI Rotavapor โดยอาศัยหลักการที่ว่าใช้ความร้อนทำให้ตัวทำละลายระเหย แล้วใช้ความดันควบคู่เพื่อที่ทำให้ตัวทำละลายระเหยออกเร็วขึ้น ซึ่งจะใช้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดจริงๆ ของตัวทำละลาย เนื่องจากเครื่องนี้ทำให้ความดันไอสูงขึ้น เพราะฉะนั้นจุดเดือดจึงต่ำลง



รูป 2.15 เครื่องกลั่นแบบลดความดัน

### 2.14.2 การวิเคราะห์โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography)

แก๊สโครมาโทกราฟี (GC) เป็นเทคนิคโครมาโทกราฟีใช้สำหรับแยกสารผสม ซึ่งคล้ายกับลิควิดโครมาโทกราฟี (LC) แต่เทคนิค GC ใช้แยกสารที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นวัฏภาคแก๊สได้ที่อุณหภูมิหนึ่ง (ไม่เกิน  $450^{\circ}\text{C}$ ) เมื่อสารนั้นเปลี่ยนให้อยู่ในวัฏภาคแก๊สแล้ว สารเหล่านั้นผ่านเข้าไปยังคอลัมน์ที่บรรจุด้วยวัฏภาคคงที่ (Stationary phase) โดยอาศัยการพาไปของวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile phase) หรือ (Carrier gas) สารผสมเหล่านั้นจะเกิดการแยกออกจากกันได้



รูป 2.16 องค์ประกอบสำคัญของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

การวิเคราะห์สารตัวอย่างโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีนั้นสามารถแสดงให้เห็นเข้าใจได้ ดังนี้ คือ เมื่อเลือกสภาวะต่างๆ ของการวิเคราะห์ และจัดสภาวะของเครื่องโครมาโทกราฟีให้เรียบร้อยแล้ว จึงนำสารตัวอย่างไปฉีดเข้าส่วนที่ฉีดสารตัวอย่าง สารจะกลายเป็นไอและถูกพาเข้าไปในคอลัมน์ด้วยแก๊สพา (carrier gas) อย่างช้าๆ สารผสมจะถูกแยกออกเป็นส่วนๆ ที่คอลัมน์นี้ แล้วออกไปสู่ดีเทคเตอร์ จะทำให้สัญญาณเกิดขึ้น ซึ่งสามารถเขียนออกมาเป็นโครมาโทแกรมด้วยเครื่องบันทึก หรือต่อเข้ากับปริ้นเตอร์ (printer) ทำให้ผู้วิเคราะห์สามารถทราบองค์ประกอบของสารตัวอย่างได้

ปัจจุบัน เครื่อง GC สมัยใหม่ที่ต่อกับคอมพิวเตอร์สามารถใช้ควบคุมเครื่องและตัวพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ เช่น อุณหภูมิคอลัมน์ ดีเทคเตอร์ อัตราการไหลและเวลาที่ใช้ในการฉีดสารตัวอย่าง เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถทำการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติได้อีกด้วย โดยต่อเข้ากับเครื่อง Auto sampler เมื่อการวิเคราะห์แต่ละครั้งสิ้นสุดลง สภาวะต่าง ๆ กลับมายังจุดเริ่มต้นใหม่ และฉีดสารตัวอย่างต่อไป ข้อมูลต่าง ๆ ถูกพิมพ์ออกมาเป็นโครมาโทแกรม (chromatogram)

### 2.14.3 การวิเคราะห์โดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT – IR Spectroscopy)

อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบ พิสูจน์ และศึกษาเกี่ยวกับโมเลกุลของสาร โครงสร้างของสารอินทรีย์ เช่นการหาฟังก์ชันนัลกรุปต่างๆ ซึ่งอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว และแก๊สก็ได้ ใช้หลักการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของสาร อินฟราเรดเป็นช่วงหนึ่งของสเปกตรัมของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีเลขคลื่น (wave numbers) อยู่ในช่วงประมาณ 12800 ถึง  $10\text{ cm}^{-1}$  หรือช่วงความยาวคลื่นจาก 0.78 ถึง  $1,000\ \mu\text{m}$

โมเลกุลของสารเคมีที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรด (IR) ได้ นั่น โมเลกุล จะถูกกระตุ้น (excite) เป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าอยู่ที่สถานะพื้น โดยมีพลังงานเปลี่ยนแปลงอยู่ในราว 2 -10 Kcal/mole ซึ่งเป็นพลังงานที่พอจะทำให้เกิดการสั่น (vibration) หรือเกิดการหมุน (rotation) เท่านั้น การดูดกลืนแสงช่วง IR ของโมเลกุลมิใช่ว่าทุกโมเลกุลของสารจะดูดกลืนได้หมด แต่จะมีสถานะที่เหมาะสม คือ

1. รั้งสีหรือแสงนั้นต้องมีพลังงานที่เหมาะสมพอดี (quantized) ทำให้เกิดการทรานซิชัน
2. จะต้องเกิดการควบคู่ (coupling) พอดีระหว่างสนามไฟฟ้าจากการแผ่รังสีของสารนั้น เมื่อมีการดูดกลืนพลังงานแล้วทำให้เกิดโมเมนต์ขั้วคู่ (dipole moment) ของโมเลกุลนั้นเปลี่ยนไป

โดยทั่วไป เครื่องฟูริเออร์ทรานสฟอร์มสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT - IR) จะวัดความเข้มของแสง หรือกำลังของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ อย่างต่อเนื่อง ซึ่งโดยทั่วไปเรียกว่า Fourier Transform Spectroscopy การที่เครื่อง FT - IR มีการวัดการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่างๆกัน อย่างต่อเนื่อง (simultaneously) เรียกว่า Fellgett's advantage สามารถใช้ circular entrance aperture ทำให้กำลังแสงสูงขึ้น จึงทำให้การวิเคราะห์รวดเร็วขึ้น และการแยก (resolution) ดีขึ้น

#### 2.14.3.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี สามารถนำมาวิเคราะห์สารต่างๆ ได้ทั้งในสภาพและสถานะที่เป็นแก๊ส ของเหลว หรือของแข็งก็ได้ ปัญหาอยู่ที่ว่าการจัดการกับสารตัวอย่างที่เหมาะสม สารแทบทุกชนิดดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุสำหรับทำเซลล์ใส่สารจึงค่อนข้างจำกัด โดยต้องไม่ดูดกลืนแสงอินฟราเรดในช่วงที่ใช้ในการวิเคราะห์ วัสดุที่ใช้ทำอินฟราเรดเซลล์ โดยทั่วไปใช้อัลคาไลแฮไลด์ (alkali halide) แต่สารเหล่านี้ดูดความชื้นได้ ต้องเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ เมื่อใช้ไปนานๆ อาจเกิดเป็นฝ้าได้ จึงต้องนำมาขัดเป็นครั้งคราว

#### 2.14.3.2 ข้อควรระวังในการใช้วัสดุเหล่านี้โดยเฉพาะพวกที่ดูดความชื้นได้ดี

1. เมื่อเปิดกระป๋องที่บรรจุเซลล์หรือ Windows ใหม่ ควรต้องอุ่นกระป๋องให้ร้อนก่อนเปิดหรือเปิดในห้องควบคุมความชื้น
2. การเก็บวัสดุเหล่านี้ควรต้องเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ที่ใส่ซิลิกาเจลสำหรับดูดความชื้นไว้ด้วย
3. เมื่อเวลาใช้เซลล์หรือ windows เหล่านี้ ควรต้องสวมถุงมือที่ทำด้วยพลาสติกหรือยางเพื่อกันความชื้นจากมือ

4. เมื่อใช้สารตัวอย่างกับวัสดุเหล่านี้ ควรต้องทำให้สารตัวอย่างนั้นแห้งเสียก่อน หรือไล่ความชื้นเสียก่อน

### 2.14.3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นแก๊ส (Gaseous Sample)

ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นแก๊สด้วยเทคนิคทางอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมตรีนั้น โดยทั่วไปเซลล์ที่ใช้กับแก๊สมักกว้างประมาณ 10 เซนติเมตร ถึงหลายบรรยากาศก็ได้ ขึ้นอยู่กับแก๊สนั้นดูดกลืนอินฟราเรดหรือไม่ สำหรับเซลล์มาตรฐาน มีขนาดปริมาตรของสารตัวอย่างต่อความหนาของสารตัวอย่างเป็น 20 : 1 (ในหน่วยเซนติเมตร) ในกรณีที่ต้องการให้ระยะทางที่แสงผ่านมากๆ อาจใช้ Multireflection cell แทน

### 2.14.3.4 การวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นของเหลว (Liquid and Solution Sample)

ในกรณีที่สารตัวอย่างเป็นของเหลวหรือเป็นสารละลายอยู่แล้ว เราสามารถนำตัวอย่างนั้นมาใส่เซลล์สำหรับของเหลวซึ่งมีด้วยกัน 3 ชนิด ที่สามารถเลือกใช้ได้คือ

1. เป็น scaled cell ซึ่งมีความหนาคงที่
2. เป็น demountable cell ซึ่งสามารถปรับความหนาของสารตัวอย่างได้ โดยใช้ spacers ระหว่าง windows ทั้งสอง

3. เป็น variable thickness cell ซึ่งสามารถปรับความหนาของสารตัวอย่างได้

ถ้าในกรณีที่ต้องการทำเพียงคุณภาพวิเคราะห์ หรือสารตัวอย่างที่ต้องการเป็นของเหลวชั้น อาจจะทำได้ง่ายๆ โดยหยดของเหลวลงไปบนแผ่น window (ทำด้วย NaCl) แล้วใช้ window อีกแผ่นหนึ่งประกบลงไปแล้วนำไปใส่ใน cell holder นำไปวัดในเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ สามารถหาสเปกตรัมได้เลย แต่ถ้าต้องการได้ข้อมูลที่ละเอียดกว่านี้ หรือใช้ในการหาปริมาณด้วยจำเป็นต้องใช้เซลล์อย่างใดอย่างหนึ่งใน 3 ชนิดนั้น

โดยทั่วไป ในการวิเคราะห์สารที่เป็นของเหลวนี้นักใช้ความหนาของเซลล์น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ถ้าเป็นสารบริสุทธิ์มักจะใช้ความหนา 0.01-0.025 มิลลิเมตร ในการศึกษาเกี่ยวกับสารละลายของแข็ง ของเหลว และแก๊ส การเลือกใช้ตัวทำละลายเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งคือตัวทำละลายต้องไม่ดูดกลืนแสงอินฟราเรดในช่วงเดียวกับสารตัวอย่าง สิ่งที่ต้องพิจารณาควบคู่ไปด้วยก็คือ การเกิดอันตรกิริยาของตัวทำละลายกับสารตัวอย่าง ซึ่งอาจมีผลกับอินฟราเรดสเปกตรัมอันเนื่องมาจากเกิดพันธะไฮโดรเจนของพวกที่มีหมู่ -NH หรือ -OH ซึ่งอาจทำให้ความถี่เพิ่มขึ้น หรือลดลงได้

การระวังรักษาเซลล์ อินฟราเรดเซลล์ ถ้ามีการใช้โดยไม่ถูกต้อง และไม่บำรุงรักษาด้วยแล้วจะชำรุดเสียหายได้ง่ายมาก แล้วส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดในผลการวิเคราะห์อีกด้วยและทำให้เสียหายอย่างมากในการที่จะต้องแก้ไขให้ดีขึ้น จึงเป็นการสมควรที่ผู้ใช้จะต้องดูแลให้ถูกต้องและรักษาความสะอาดให้ดีด้วย สิ่งที่ต้องระวังอย่างมากก็คือ เซลล์ และ windows ซึ่งเป็นผลึกของเกลือเฮไลต์ของอัลคาไลด์ต้องไม่ให้ถูกน้ำหรือไอน้ำ เพราะน้ำจะไปละลายหรือทำให้ windows เกิดฝ้าได้เมื่อแสงตกกระทบทำให้เกิดการกระเจิงแสงได้ เมื่อใช้แล้วทำความสะอาดแล้วเก็บไว้ในเคชิกเคเตอร์ ถ้าเซลล์นั้นทำด้วย AgCl ควรระวังอย่าให้ถูกแสงมากนักเพราะทำให้เกิดเป็นสีดำได้ นอกจากนี้เมื่อเวลาใช้เซลล์ ไม่ควรใช้มือจับ เวลาใช้ควรต้องสวมถุงมือยางหรือพลาสติก อีกประการหนึ่งการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่ละลายได้ง่าย หรือสารที่ตัวทำละลายระเหยง่าย หรือสารละลายที่มีลักษณะข้นเหนียว ถ้าตัวทำละลายระเหยไป หรือทำการวิเคราะห์เสร็จแล้ว ควรจะต้องรีบล้างให้สะอาดทันที ถ้าปล่อยไว้ให้ติดจนแข็ง ทำความสะอาดยากมาก ถ้าล้างไม่ออกต้องขัดให้สะอาดมิฉะนั้นจะไม่สามารถนำมาใช้ได้อีก

#### 2.14.3.5 การวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง (Solid sample)

ในกรณีที่ต้องการอินฟราเรดสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง โดยไม่มีผลของตัวทำละลายหรือสารอื่นๆ ผสมอยู่เกี่ยวข้อง นั่นคือมีแต่เฉพาะตัวอย่างเท่านั้น จำเป็นต้องทำให้สารตัวอย่างมีลักษณะบางมาก ๆ เป็นฟิล์มหนาประมาณ 0.01-0.1 มิลลิเมตร เพื่อให้แสงผ่านได้ เทคนิคต่างๆ ที่เลือกใช้ยังขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของสารนั้นด้วย เทคนิคต่างๆ มีดังนี้

1. ใช้วิธีอัดและรีดให้เป็นแผ่นบาง ๆ ด้วยโลหะบนแผ่นโลหะเรียบ หรือแผ่นพลาสติกหรือบนแผ่นโลหะที่ฉาบด้วยพวกพอลิเมอร์ที่ทนความร้อน เทคนิคนี้เหมาะสำหรับใช้กับสารตัวอย่างที่เป็นพลาสติก
2. ใช้วิธีหลอม ถ้าสารตัวอย่างที่มีโมเลกุลต่ำ อาจหลอมเหลวได้ง่าย แล้วนำสารตัวอย่างที่หลอมเหลวเทลงไปในบนแผ่นโลหะเรียบให้เป็นแผ่นบาง ๆ หรือเทลงไปในระหว่างแผ่น ที่ประกบกันแล้วทิ้งไว้ให้เย็น
3. ในกรณีที่สารตัวอย่างเป็นพวกชีวสารพลาสติก หรือซีฟิ่ง เป็นต้น อยู่ในรูปเป็นก้อนหรือเป็นแท่งสามารถใช้ไมโครโทมตัดให้เป็นแผ่นบาง ๆ ได้
4. ใช้วิธีทำให้เป็นสารละลาย โดยใช้สารตัวอย่างละลายในตัวทำละลายที่ระเหยได้ง่าย ๆ แล้วนำสารละลายนั้นเทลงบนแผ่นกระจก หลังจากตัวทำละลายระเหยออกไปแล้ว ใช้มีดตัดแผ่นออกมา ถ้าสารตัวอย่างนั้นไม่ละลายน้ำ ให้นำแผ่นฟิล์ม

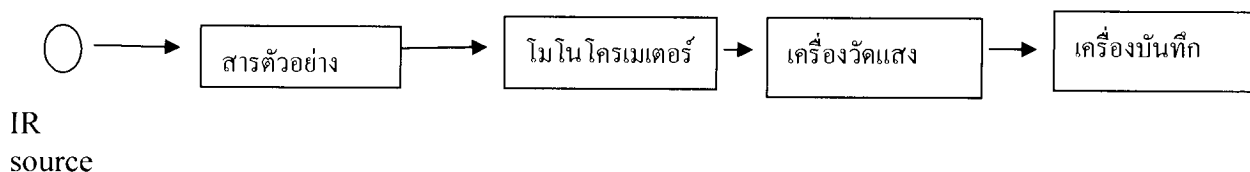
จุ่มลงไปใต้น้ำหลังจากทำให้แห้งแล้วจะสังเกตได้ว่าแผ่นฟิล์มตรงกลางจะบางกว่าขอบ เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายไม่เป็นเนื้อเดียวกัน สามารถแก้ไขได้โดยใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

5. ใช้ Mull technique วิธีนี้ได้รับความนิยมมากสำหรับการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง
6. ใช้ KBr – pelt technique นับว่าเป็นเทคนิคที่มีประโยชน์มากอีกเทคนิคหนึ่ง โดยใช้สารพวกอัลคาไลด์ เช่น KBr ที่เป็นของแข็งผสมกับสารตัวอย่าง บดให้เข้ากันในโกร่งอะเกต แล้วนำไปอัดจะได้สารเป็นแผ่นใส สามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ได้เลย

#### 2.14.3.6 การ Calibrate เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ผลิตอยู่ในท้องตลาดปัจจุบันล้วนเป็นเครื่องที่ดีที่มี wave number และความยาวคลื่นถูกต้องแล้ว อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ไปนาน ๆ อาจเกิดความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่แท้จริงได้ ในทางปฏิบัติต้องทำการปรับเทียบเครื่องมือเสมอ ๆ โดยใช้สารมาตรฐานที่ทราบสเปกตรัมแน่นอนแล้ว เช่น พอลิสไตรีน

ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT - IR) แสดงในรูป 2.16



รูป 2.17 องค์ประกอบของเครื่อง FT-IR



## 2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.15.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

Ma and Hanna <sup>[19]</sup> ศึกษาปริมาณมวลสารสัมพันธ์ (stoichiometry) ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ที่อัตราส่วนเชิงโมลของสารตั้งต้นคือ 3 : 1 ระหว่างแอลกอฮอล์ด้อยกลีเซอรอล พบว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถผันกลับได้ โดยหากต้องการผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์หรือน้ำมันไบโอดีเซลดีเซลมาก ต้องเพิ่มจำนวนโมลของแอลกอฮอล์มากขึ้นด้วย เพื่อให้สภาวะสมดุลเลื่อนเข้าหาผลิตภัณฑ์มากที่สุด การเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ทำได้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กรด และเอนไซม์ แต่โดยส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนต และสารเคมีที่อยู่ในรูปของโซเดียมและโพแทสเซียมแอลคอกไซด์ เช่น โซเดียมเมทอกไซด์ โซเดียมเอทอกไซด์ โซเดียมโพรพอกไซด์ และโซเดียมบิวทอกไซด์ เป็นต้น ส่วนในกรณีของการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานิยมใช้ กรดซัลฟูริก กรดซัลฟูนิค และกรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น

ชาคริต ทองอุไร และคณะ <sup>[24]</sup> ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากผลิตผลปาล์มน้ำมัน คือน้ำมันทอดที่ใช้แล้ว น้ำมันปาล์มรีไฟน์ น้ำมันปาล์มแยกยางเหนียว กรดชนิดที่รวบรวม (กรดบี)

ไบปาล์มสเตอริน และ spearhard stearin ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบกะ โดยใช้เมทิลแอลกอฮอล์เป็นสารเข้าทำปฏิกิริยาและใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์เกือบ 100% สภาวะที่ใช้คือ ใช้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทิลแอลกอฮอล์เป็น 1: 6 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60-80 °C มีการกวนประมาณ 15-30 นาที แล้วปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาต่อนาน 3-4 ชั่วโมง เมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีคุณสมบัติหลายประการใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว เช่น ความหนาแน่น ความหนืด ค่าความร้อน และช่วงอุณหภูมิการกลั่น แต่จุดไหลเทจะสูงกว่าน้ำมันดีเซล

### 2.15.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลไกและจลนพลศาสตร์เคมีของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

Freedman และคณะ <sup>[22]</sup> ศึกษาเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์เคมี (Kinetic) สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้สภาวะในการทำปฏิกิริยา ดังนี้

- อัตราส่วนเชิงโมลของสารตั้งต้นระหว่างบิวทานอลต่อน้ำมันถั่วเหลือง 30 : 1
- ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือ กรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 1% ของสารตั้งต้น
- อุณหภูมิที่ใช้ คือ 77 - 117 °C

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อัตราเร็วของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในระยะเริ่มแรกมีค่าค่อนข้างต่ำ หลังจากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะค่อย ๆ ช้าลงอีกครั้งหนึ่ง จนในที่สุดจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

Ma และคณะ<sup>[19]</sup> ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไขมันวัว โดยใช้อัตราส่วน โมลของเมทานอลต่อไขมันวัวคือ 6:1 ที่อุณหภูมิ 65°C และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH หรือ NaOMe 0.3 ถึง 0.5% โดยน้ำหนัก พบว่าโมโนกลีเซอไรด์จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ในขณะที่ไดกลีเซอไรด์ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นมากกว่าการเพิ่มของโมโนกลีเซอไรด์ ในท้ายที่สุดไดกลีเซอไรด์จะค่อย ๆ ลดลง จนมีปริมาณน้อยกว่าโมโนกลีเซอไรด์

### 2.15.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

Freedman และคณะ<sup>[22]</sup> ศึกษาอัตราการผลิตได้กลับมา (Conversion rate) ของผลิตภัณฑ์แอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นจะทำให้ผลผลิตร้อยละเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นด้วย จากการทดลองโดยใช้ น้ำมันพืช 4 ประเภท คือ น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันจากเมล็ดฝ้าย น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันถั่วเหลือง ที่อัตราส่วนเชิงโมลเท่ากับ 6:1 ระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันพืช โดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์ 0.5% โดยน้ำหนักน้ำมัน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียสตลอดการทดลอง จากการสุ่มตัวอย่างที่เวลา 1 นาทีของการทดลอง สำหรับน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันดอกทานตะวัน และหลังจากนั้นที่เวลา 1 ชั่วโมง อัตราการผลิตได้กลับมาของผลผลิตส่วนใหญ่จะมีพฤติกรรมในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน สำหรับน้ำมันพืชทั้ง 4 ชนิด คือ ให้ผลผลิตร้อยละ 93 - 98

วิลาวณิช และคณะ<sup>[28]</sup> ศึกษาการเตรียมเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรุงอาหารแล้ว โดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอล และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้อัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันต่อเมทานอลต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ (กรัม) เป็น 350 : 100 : 1.5 ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 และ 5 ชั่วโมง พบว่า ความหนืดลดน้อยลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อใช้เวลา 5 ชั่วโมง สามารถลดความหนืดได้ดีกว่าใช้เวลา 3 ชั่วโมง แต่ความหนืดลดลงเล็กน้อยตามเวลาที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง

ภัทรารุช<sup>[12]</sup> ศึกษาการเตรียมเมทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันของน้ำมันมะพร้าว โดยทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับแอลกอฮอล์ 3 ชนิด คือ เมทานอล เอทานอล และไอโซโพรพานอล และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาที่ใช้อยู่ในช่วง 5-5.30 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85°C ซึ่งเอสเทอร์ที่เตรียมได้มีผลผลิตร้อยละเท่ากับ 84.49 82.32 และ 80.30 ตามลำดับ

#### 2.15.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

Freedman และคณะ<sup>[22]</sup> ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสำหรับสารตั้งต้นของเมทานอลกับน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการกลั่น ที่อัตราส่วนเชิงโมล 6 : 1 โดยใช้ 1% ของ NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ ซึ่งถูกควบคุมให้คงที่ตลอดการทดลอง แตกต่างกันคือ 60 45 และ 32°C ตามลำดับ พบว่า หลังจากทีระยะเวลาผ่านไป 0.1 ชั่วโมง อัตราการผลิตได้กลับมาของผลผลิตเมทิลเอสเทอร์มีค่าเป็น 94 87 และ 64% สำหรับอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยา 60 45 และ 32°C ตามลำดับ และเมื่อครบเวลา 1 ชั่วโมง อัตราการผลิตได้กลับมาของเมทิลเอสเทอร์มีค่าเท่ากันจึงเห็นได้ว่าอุณหภูมิของปฏิกิริยาจะมีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

วิลาวณิชย์และคณะ<sup>[22]</sup> ศึกษาการเตรียมเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรุงอาหารแล้ว โดยการทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลและใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้อัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันต่อเมทานอลต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ (กรัม) เป็น 350 : 100 : 1.5 อุณหภูมิที่ใช้ในการรีฟลักซ์ คือ 80 100 และ 120 °C พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความหนืดลดลง และให้ผลผลิตร้อยละเพิ่มมากขึ้นด้วย

#### 2.15.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบจากความชื้นและกรดไขมันอิสระ

Ma และคณะ<sup>[19]</sup> ศึกษาผลกระทบของปริมาณน้ำและกรดไขมันอิสระ สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งใช้ไขมันวัวเป็นแหล่งของไตรกลีเซอไรด์และเมทานอลเป็นสารตั้งต้น พบว่า ปริมาณน้ำในไขมันวัว ควรถูกกำจัดให้มีค่าต่ำกว่า 0.06 % โดยน้ำหนัก และปริมาณกรดไขมันอิสระในไขมันวัว ควรมีค่าต่ำกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก ได้ผลผลิตร้อยละของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์เหมาะสม

#### 2.15.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราส่วนเชิงโมลระหว่างแอลกอฮอล์กับไตรกลีเซอไรด์

Feuge and Grose<sup>[29]</sup> ศึกษาการเพิ่มอัตราส่วนเชิงโมลของสารตั้งต้นระหว่างแอลกอฮอล์และไตรกลีเซอไรด์ พบว่า ยิ่งเพิ่มแอลกอฮอล์ให้สูงมากขึ้นเท่าไร ทำให้ยังมีผลต่อการเพิ่มแอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันมากขึ้น เห็นได้จากตัวอย่างปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของสารตั้งต้นเอทานอลต่อไตรกลีเซอไรด์ จากน้ำมันถั่วลิสงที่อัตราส่วนเชิงโมล 6:1 ทำให้ได้ผลผลิตร้อยละเมทิลเอสเทอร์มากกว่าอัตราส่วนเชิงโมลของสารตั้งต้นที่ 3:1

Freedman และคณะ<sup>[22]</sup> ศึกษาอัตราส่วนเชิงโมลของสารตั้งต้น

โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากรดกับเบส พบว่า การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ต้องการอัตราส่วนเชิงโมลของบิวทานอลต่อน้ำมันถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 30 : 1 ซึ่งผลิตภัณฑ์แอลคิลเอสเทอร์ ของกรดไขมันที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับปฏิกิริยาที่ใช้เบสเป็นตัวเร่ง

มุกิตา ยันนุรพา และคณะ<sup>[30]</sup> ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช 3 ชนิด คือ น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันเมล็ดปาล์ม และน้ำมันเมล็ดละหุ่ง ครั้งละ 800 กรัม ด้วยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ใช้ NaOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.1 0.5 และ 1% โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมันคือ 1:10 1:6.67 และ 1:5 ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และให้ความเร็วในการกวน 500 รอบ/นาที พบว่า น้ำมันเมล็ดฝ้ายให้ผลผลิตสูงสุดร้อยละ 94.9 ที่สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 1 : 6.67 ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5% โดยน้ำหนัก น้ำมันเมล็ดปาล์มให้ผลผลิตสูงสุดร้อยละ 92.1 ที่สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 1 : 6.67 ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5% โดยน้ำหนัก น้ำมันละหุ่งให้ผลผลิตสูงสุดร้อยละ 83.6 ที่สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 1:5 ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5% โดยน้ำหนัก ทำการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากผลผลิตที่ได้จากการดูคลื่นแสงอินฟราเรดของหมู่เมทิลและคาร์บอนิลด้วยเทคนิค FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) โดยเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันทั้ง 3 ชนิด มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน โดยมีความหนาแน่นและความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่จุดกลั่นเริ่มต้น (initial boiling point, IBP) ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทั้งนี้ น้ำมันเมล็ดฝ้ายให้ไบโอดีเซลคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด

### 2.15.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชนิดและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

Forno<sup>[31]</sup> ศึกษาปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ชนิดเบสจะมีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าการใช้ตัวเร่งชนิดกรดที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้แล้วตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดยังก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนต่อเครื่องมือปฏิบัติการและอุปกรณ์ในการผลิต ดังนั้นการผลิตเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน จึงนิยมใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

Freedman *et al.*<sup>[22]</sup> พบว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่นิยมใช้มากที่สุดสำหรับปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากหาใช้ได้ง่าย และมีราคาถูก นอกจากนี้การใช้อัตราส่วนเชิงโมลของสารตั้งต้นเท่ากับ 6: 1 ระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันพืช จะให้ค่าผลผลิตแอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันใกล้เคียงกับกรณีของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส NaHCO<sub>3</sub> ที่ปริมาณ 0.5% หลังจากที่ตั้งปฏิกิริยาเกินกว่า 60 นาทีไปแล้ว โดยกำหนดสภาวะของการทดลองเหมือนกันทั้งหมด

### 2.15.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล

Bondio และคณะ<sup>[32]</sup> ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติระหว่างการกักเก็บเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันเมล็ดพืชภายใต้การทดลองที่ควบคุมตัวแปร เพื่อหาแบบจำลองและเลียนแบบพฤติกรรมให้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่เป็นจริงมากที่สุด ตัวแปรที่ศึกษาคือ การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด และค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide values) ในช่วงระยะเวลา 180 วัน อุณหภูมิที่ใช้ 20 – 40 °C ปริมาณของน้ำที่ผสมอยู่ในเมทิลเอสเทอร์ในสัดส่วนที่แตกต่าง และชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุ โดยในการทดลองนี้ศึกษาเฉพาะภาชนะบรรจุที่ทำมาจากวัสดุแก้วและเหล็กเท่านั้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเกิดออกซิเดชันของเมทิลเอสเทอร์ในน้ำมันเมล็ดพืช เป็นสัดส่วนโดยตรงกับภาชนะบรรจุ และอุณหภูมิระหว่างการกักเก็บมากกว่าตัวแปรอื่นๆ ที่ศึกษาในการทดลองนี้

### 2.15.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์

วรารุช ดิยพงศ์พัฒนา<sup>[18]</sup> ไบโอดีเซลหรือแฟตตี้เอซิดเมทิลเอสเทอร์ (FAME) ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากที่จะนำมาใช้ทดแทนหรือผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและคุณสมบัติทางธรรมชาติของน้ำมันที่นำมาใช้ผลิต ในงานวิจัยนี้เทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการแยกสูงอย่างคอมพิวเตอร์เอ็นซีพีทูไคเมนชันนอลแก๊สโครมาโทกราฟี (GC×GC-FID และ GC×GC-MS) จึงได้ถูกนำมาใช้ โดยวิธีนี้มีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการพิสูจน์เอกลักษณ์ขององค์ประกอบต่างๆ ในน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อใช้วิเคราะห์หาชนิดของน้ำมันวัตถุดิบ วิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ให้ผลปริมาณวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำ วิธีการวิเคราะห์และปริมาณของ FAME ในน้ำมันไบโอดีเซลชนิดต่างๆ จะถูกนำเสนอ

Zhang และคณะ<sup>[33]</sup> นำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้ ในด้านของเทคโนโลยีการผลิตนั้นกระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องมีต้นทุนที่ต่ำกว่ากระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง อีกทั้งมีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนสารตั้งต้นและกำลังการผลิตได้ดีกว่า ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการเปลี่ยนแปลงวิธีการล้างเมทิลเอสเทอร์ หรือ ไบโอดีเซลจากการใช้น้ำเป็นวิธีการล้างโดยใช้อากาศ และทำการศึกษาคุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ กับต้นทุนการผลิตเปรียบเทียบกับวิธีการล้างด้วยน้ำแบบเดิม ในการศึกษาจะใช้อัตราส่วนระหว่างสารตั้งต้นและสารเคมี คือ น้ำมันพืชใช้แล้ว 1 ลิตร ต่อเมทานอล 200 มิลลิลิตร และตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6.6 กรัม ความเร็วรอบของใบกวนที่ 60 รอบต่อนาที และเวลาในการปั่นกวนเป็น 1 ชั่วโมง 30 นาที ผลที่ได้พบว่า การทำความสะอาดด้วยอากาศเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน คือ มีค่าความร้อนที่ 35.69 เมกกะจูลต่อลิตร ค่าความหนาแน่นที่ 869 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และปริมาณกลีเซอรอลที่ 0.33

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในขณะที่ค่าความหนืดมีค่าเป็น 5.4 เซนติสโตก สำหรับในส่วนของต้นทุนการผลิตนั้นพบว่า การล้างโดยใช้อากาศ มีต้นทุนที่ต่ำกว่าวิธีการล้างด้วยน้ำ 0.15 บาท/ลิตร สำหรับกลีเซอรอลที่ได้จากกระบวนการผลิต พบว่ามีสองชนิด คือ กลีเซอรอลแข็งกับกลีเซอรอลเหลว โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์จากกลีเซอรอลดังกล่าวเพิ่มเติม ซึ่งพบว่ากลีเซอรอลแข็งที่อัตราส่วนร้อยละ 30 ของขี้ผึ้งพาราฟิน สามารถนำมาทำเทียนไขได้ โดยเทียนไขที่ได้มีค่าปริมาณแสงต่ำกว่าเทียนไขที่ทำจากขี้ผึ้งพาราฟินเพียงเล็กน้อย ส่วนกลีเซอรอลเหลวนั้น สามารถนำมาใช้ผสมกับน้ำมันเตาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ที่อัตราส่วนกลีเซอรอลเหลวไม่เกินร้อยละ 20 ของน้ำมันเตา ดังนั้น จากผลการศึกษาข้างต้นนี้ สามารถสรุปได้ว่า มีความเป็นไปได้ที่จะทำการล้างไบโอดีเซลโดยใช้อากาศแทนการใช้ น้ำ แต่อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาวิจัยในด้านของผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ทั้งในด้านกำลังของเครื่องยนต์ แรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซล

#### 2.15.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดน้ำมัน

ระพีพันธุ์ ภาสบุตร และสุขสันต์ สุทธิผลไพบุลย์<sup>[34]</sup> นำพืชที่พบน้ำมัน 18 ชนิด เช่น ถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันละหุ่ง มาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลควบคู่กับก๊าซชีวภาพ ปรากฏว่าสามารถเดินเครื่องได้ แต่ทิ้งไว้ 2-3 วัน ทำให้เครื่องยนต์ติดยาก จึงได้ทดลองสกัดน้ำมันจากสบู่ดำใช้เป็นพลังงานในเครื่องยนต์ดีเซล ปรากฏว่าได้ผลดีนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ การใช้วิธีสกัดน้ำมันจากเมล็ดตากแห้งโดยไม่ต้องปรุงแต่ง น้ำมันจากสบู่ดำหรือปรับเครื่องยนต์แต่อย่างใด ทดลองใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลคูโบต้า 1 สูบ แบบลูกสูบนอนระบบ 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ปริมาตรกระบอกสูบ 400 ซีซี 7 แรงม้า/2200 รอบต่อนาที เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ด้วยการทำงานรอบต่อนาทีของเครื่องยนต์ เพื่อศึกษาความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้ได้ผลออกมาว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันสบู่ดำ ไม่ว่าจะเดินเครื่องปกติหรือเร่งเครื่องก็ตาม พบว่าเครื่องยนต์เดินสม่ำเสมอตลอดเวลาไม่มีการน็อกแต่อย่างใด อัตราการเร่งเท่ากับที่ความสิ้นเปลืองน้ำมันสบู่ดำที่ใช้น้อยกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย การทำงานของเครื่องยนต์ 1500 – 2300 รอบต่อนาที ใช้ น้ำมันสบู่ดำเฉลี่ยชั่วโมงละ 634.1 ซีซี น้ำมันดีเซลใช้เฉลี่ย 653.3 ซีซี นอกจากนี้ยังได้รับการทดสอบจากกองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ในเครื่องยนต์คูโบต้า 7 แรงม้า และเครื่องยนต์มาร์ 18 แรงม้า คำนวณจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันสบู่ดำ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 13.42 ในขณะที่น้ำมันดีเซลมีค่าเฉลี่ย 13.67 ส่วนประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้ทดลองถอดชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ออกมาตรวจสภาพเสื่อสูบ ลูกสูบ แหวน ลินชัก และอื่น ๆ ปรากฏว่าการสึกหรอชิ้นส่วนดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ปกติมาตรฐาน รวมทั้งไม่มียางเหนียวจับอีกด้วย

## บทที่ 3

### วิธีการทดลอง

#### 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์

- 1) ตู้อบไฟฟ้า Model BD/ED/FD with R 3 – Controller, Scientific promotion Co., Ltd.
- 2) Desiccator
- 3) เครื่องชั่งชนิด Balance Analytical (รุ่น PG - S บริษัท Mettler Toledo)
- 4) Crucible พร้อมฝาปิด
- 5) เตาเผา (Furnace) ขนาด 1100 °C รุ่น RWE 1100 ผลิตโดยบริษัท Carbolite ประเทศสหราชอาณาจักร
- 6) เครื่องปั่นผสมอาหาร (Moulinex blender รุ่น Aw 9)
- 7) เครื่องระเหยภายใต้ความดันต่ำ (BUCHI Labortechnik AG, Type: R - 22)
- 8) กรวยกรอง
- 9) Fisher Stirring Hotplate
- 10) Magnetic bar
- 11) กรวยแยก (Funnel) ขนาด 250 ml
- 12) FT IR (Spectrophotometer) รุ่น FT – IR 8900; Shimadzu , Japan
- 13) แท่งแก้วคนสาร
- 14) ขวด Schott duran พร้อมฝาปิด ขนาด 250 ml และ 1000 ml. Germany
- 15) ผ้าขาวบาง
- 16) กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5
- 17) บีกเกอร์
- 18) ขวดรูปชมพู่
- 19) หลอดหยด
- 20) เทอร์โมมิเตอร์ขนาด 100 และ 300°C
- 21) ชุดเครื่องกรองบุชเนอร์

#### 3.2 สารเคมี

- 1) Hexane MW. 86.11 (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>) AR grade
- 2) Sodium sulfate anhydrous (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhydrous)
- 3) Potassium hydroxide, Analytical Grade; (KOH) Assay >99.0% ผลิตโดย MERCK, Germany

4) Methanol, Lab Grade; (CH<sub>3</sub>OH) Assay > 100% LABSCAN ANALITICAL

ผลิตโดย SCIENCES CHEMIKIT LTD., Thailand

5) Sodium hydroxide, Analytical Grade; (NaOH) Assay > 99.0%

ผลิตโดย MERCK, Germany

### 3.3 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างเมล็ดสับจาก ตำบลเนินเพิ่ม อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก  
โดยมีวิธีการเก็บดังนี้

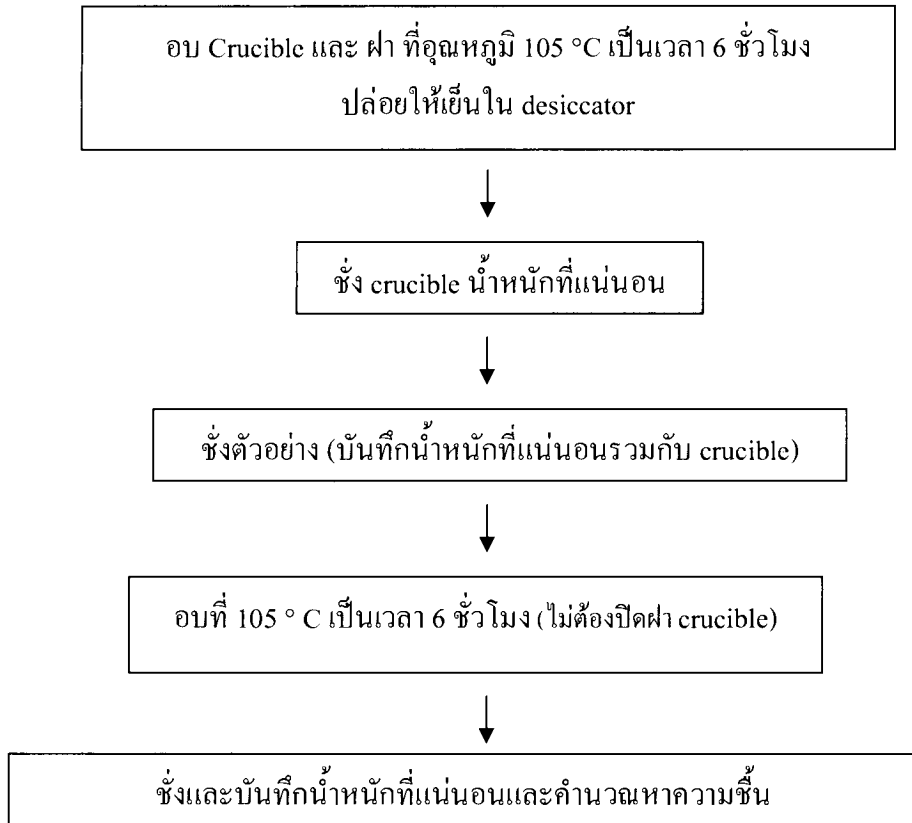
1. เก็บผลแก่ไม่อ่อนเกินไป ซึ่งมีลักษณะสีน้ำตาลหรือสีเหลือง เพราะจะทำให้สามารถกะเทาะเปลือกออกได้ง่าย
2. เก็บผลที่ดูสะอาด ไม่เป็นโรค เชื้อราต่างๆ เพราะอาจทำให้มีผลต่อคุณภาพน้ำมันที่สกัดได้
3. ภาชนะที่นำเก็บต้องสะอาด ไม่มีสิ่งปนเปื้อน เพราะอาจทำปฏิกิริยากับน้ำมันสับคั่วที่จะสกัดออกมาได้



### 3.4 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสนุดำ

#### 3.4.1 ความชื้น

ทำการทดลองตามขั้นตอน ตามแผนผัง ดังรูป 3.1



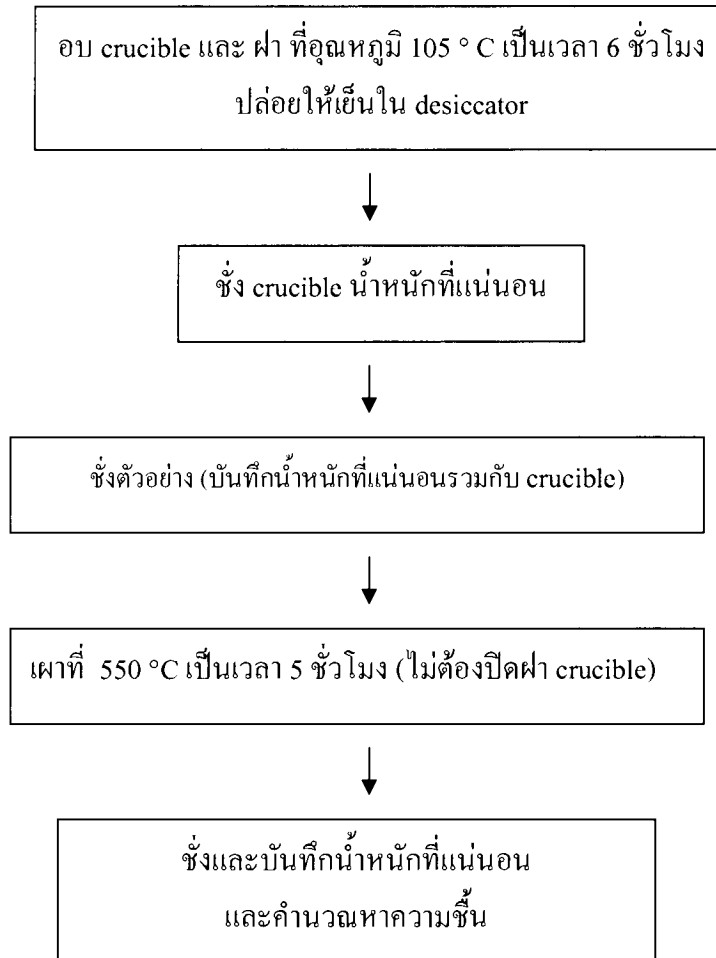
รูป 3.1 แผนภาพการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (g/100g)} = \left( \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่หายไป}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \right) \times 100$$

## 3.4.2 เถ้า

ทำการทดลองตามขั้นตอน ตามแผนผัง ดังรูป 3.2



รูป 3.2 แผนภาพการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

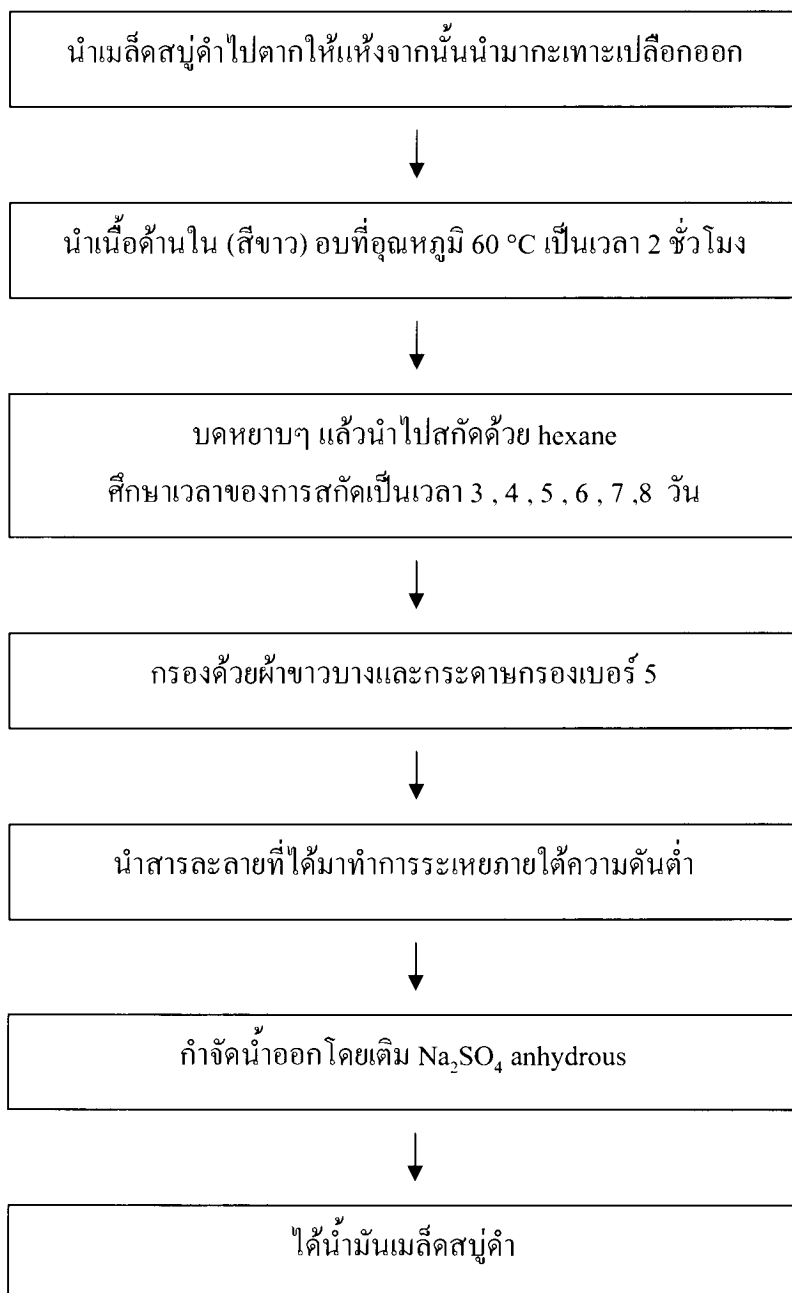
## การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (g/100 g)} = \left( \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}} \right) \times 100$$

### 3.5 การสกัดน้ำมันสบู่ดำและการผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน

#### 3.5.1 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ

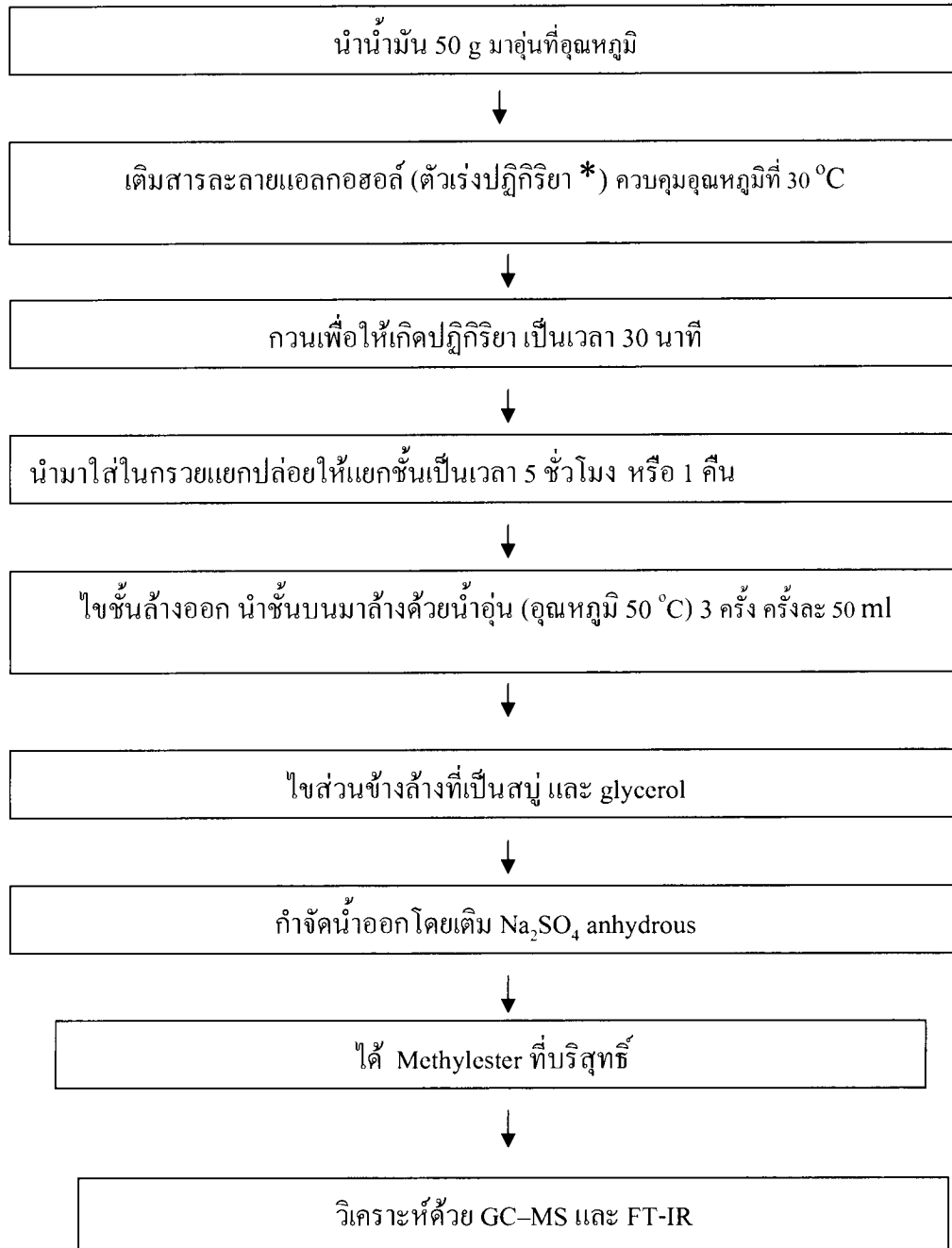
ทำการทดลองตามขั้นตอน ตามแผนผัง ดังรูป 3.3



รูป 3.3 แผนภาพวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ

### 3.5.2 การผลิตไบโอดีเซล โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ทำการทดลองตามขั้นตอน ตามแผนผัง ดังรูป 3.4



รูป 3.4 แผนผังการผลิตไบโอดีเซล โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

หมายเหตุ ตัวเร่งปฏิกิริยา \* ใช้สารละลายผสมระหว่าง NaOH:KOH ละลายใน MeOH ในอัตราส่วน 0 : 75, 0.25 : 0.5, และ 0.3 : 0.45 ตามลำดับ

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบูดำ

##### 4.1.1 ปริมาณความชื้น

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ของเปลือกและเนื้อเมล็ดสบูดำ

| ส่วนที่นำมาวิเคราะห์ | น้ำหนัก (g)   | น้ำหนักที่หายไป (g) | ความชื้น (g / 100 g) |
|----------------------|---------------|---------------------|----------------------|
| <b>1) เปลือก</b>     |               |                     |                      |
| 1.1                  | 2.0665        | 0.1810              | 8.76                 |
| 1.2                  | 2.0532        | 0.1771              | 8.63                 |
| 1.3                  | 2.0640        | 0.1815              | 8.79                 |
| <b>เฉลี่ย</b>        | <b>2.0612</b> | <b>0.1799</b>       | <b>8.73</b>          |
| <b>2) เนื้อ</b>      |               |                     |                      |
| 2.1                  | 2.0732        | 0.0843              | 4.06                 |
| 2.2                  | 2.0458        | 0.0796              | 3.89                 |
| 2.3                  | 2.0567        | 0.0856              | 4.16                 |
| <b>เฉลี่ย</b>        | <b>2.0586</b> | <b>0.0832</b>       | <b>4.04</b>          |

การคำนวณปริมาณความชื้นของเปลือกสบูดำ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณความชื้น (g/100 g)} &= (0.1799 / 2.0612) \times 100 \\ &= 8.73 \% \end{aligned}$$

การคำนวณปริมาณความชื้นของเนื้อสบูดำ

$$\text{ปริมาณความชื้น (g/100g)} = 4.04 \%$$

ดังนั้น ปริมาณความชื้นของเปลือกและเนื้อสบูดำมีค่าเท่ากับ 8.72 % และ 4.04 % ตามลำดับ

#### 4.1.2 ปริมาณเถ้า

ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์เถ้าของเปลือกและเนื้อเมล็ดสบู่ดำ

| ส่วนที่นำมา<br>วิเคราะห์ | น้ำหนัก (g)   | น้ำหนักเถ้า (g) | ความเถ้า (g / 100 g) |
|--------------------------|---------------|-----------------|----------------------|
| <b>1) เปลือก</b>         |               |                 |                      |
| 1.1                      | 2.0853        | 0.1891          | 9.07                 |
| 1.2                      | 2.0514        | 0.1378          | 6.72                 |
| 1.3                      | 2.0717        | 0.1570          | 7.58                 |
| <b>เฉลี่ย</b>            | <b>2.0695</b> | <b>0.1613</b>   | <b>7.79</b>          |
| <b>2) เนื้อ</b>          |               |                 |                      |
| 2.1                      | 2.0030        | 0.0706          | 3.52                 |
| 2.2                      | 2.0058        | 0.0853          | 4.25                 |
| 2.3                      | 2.0157        | 0.0913          | 4.52                 |
| <b>เฉลี่ย</b>            | <b>2.0081</b> | <b>0.0824</b>   | <b>4.10</b>          |

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของเปลือกสบู่ดำ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณความเถ้า (g/100 g)} &= (0.1613 / 2.0695) \times 100 \\ &= 7.79 \% \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของเนื้อสบู่ดำ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณความเถ้า (g/100 g)} &= (0.0824 / 2.0081) \times 100 \\ &= 4.10 \% \end{aligned}$$

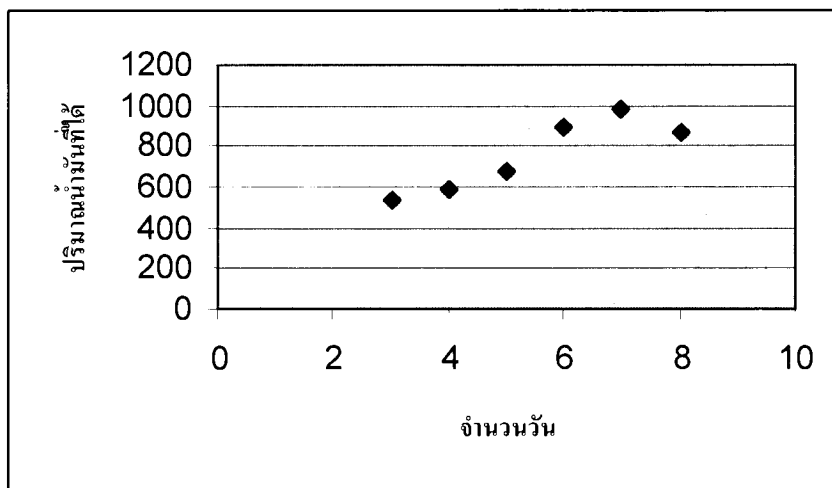
ดังนั้น ปริมาณเถ้าของเปลือกและเนื้อสบู่ดำมีค่าเท่ากับ 7.79 % และ 4.10 % ตามลำดับ

## 4.2 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำและการผลิตไบโอดีเซลโดยผ่านปฏิกิริยาทรานเอส-เทอร์ิฟิเคชัน

### 4.2.1 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ

ตาราง 4.3 ปริมาณน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ ศึกษาเวลาในการสกัด โดยแช่ในตัวทำละลายเฮกเซน

| จำนวนวัน | น้ำหนักสบู่ดำ (g) | ปริมาณน้ำมันที่ได้ (g) |
|----------|-------------------|------------------------|
| 3        | 1095.70           | 538.71                 |
| 4        | 1090.50           | 590.69                 |
| 5        | 1093.72           | 673.32                 |
| 6        | 1087.95           | 893.76                 |
| 7        | 1095.60           | 983.15                 |
| 8        | 1098.69           | 869.90                 |



รูป 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันที่ได้กับจำนวนเวลาในการแช่ในเฮกเซน

ตาราง 4.4 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดเมล็ดสบู่ดำด้วยตัวทำละลาย Hexane โดยแช่ไว้เป็นเวลานานเวลา 7 วัน

| ครั้งที่ | น้ำหนักสบู่ดำ (g) | ปริมาณน้ำมันที่ได้ (g) |
|----------|-------------------|------------------------|
| 1        | 1095.60           | 983.15                 |
| 2        | 1098.95           | 1087.47                |
| 3        | 1107.50           | 1098.53                |
| 4        | 1226.74           | 1169.96                |
| รวม      | 4528.79 g         | 4339.11 g              |

น้ำหนักเมล็ดสบู่ดำที่ใช้ในการสกัด 4528.79 g ปริมาณของน้ำมันที่ได้ 4339.11 g ดังนั้นร้อยละของน้ำมันสบู่ดำที่สกัดได้คิดเป็น 95.81 %

#### 4.2.2 การเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ตาราง 4.5 สภาวะที่ใช้ในการศึกษา

| ตัวอย่าง | อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา (g:g) |      | เมทานอล (กรัม) | น้ำมัน (กรัม) | น้ำหนัก Biodiesel ที่ได้ (กรัม) |
|----------|---------------------------------|------|----------------|---------------|---------------------------------|
|          | NaOH                            | KOH  |                |               |                                 |
| 1        | 0                               | 0.75 | 8.25           | 50            | 31.97                           |
| 2        | 0.25                            | 0.50 | 8.25           | 50            | 36.85                           |
| 3        | 0.30                            | 0.45 | 8.25           | 50            | 30.95                           |

ตาราง 4.6 ร้อยละของไบโอดีเซลที่ได้

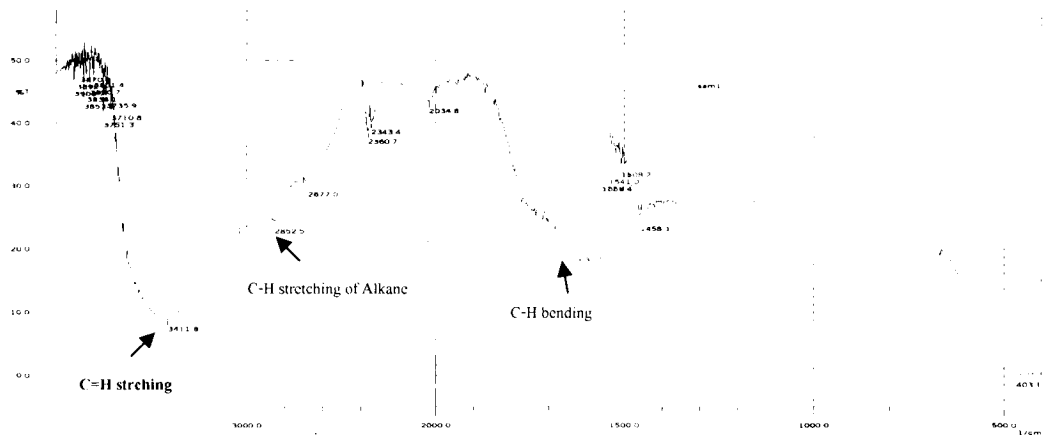
| ครั้งที่ | น้ำหนักน้ำมันดิบ(g) | น้ำหนัก Biodiesel ที่ได้(g) | % น้ำมัน Biodiesel (w/w) |
|----------|---------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1        | 50.00               | 36.97                       | 73.94                    |
| 2        | 50.10               | 36.80                       | 73.60                    |
| 3        | 50.05               | 36.95                       | 73.90                    |
| เฉลี่ย   |                     | 35.91                       | 73.81                    |



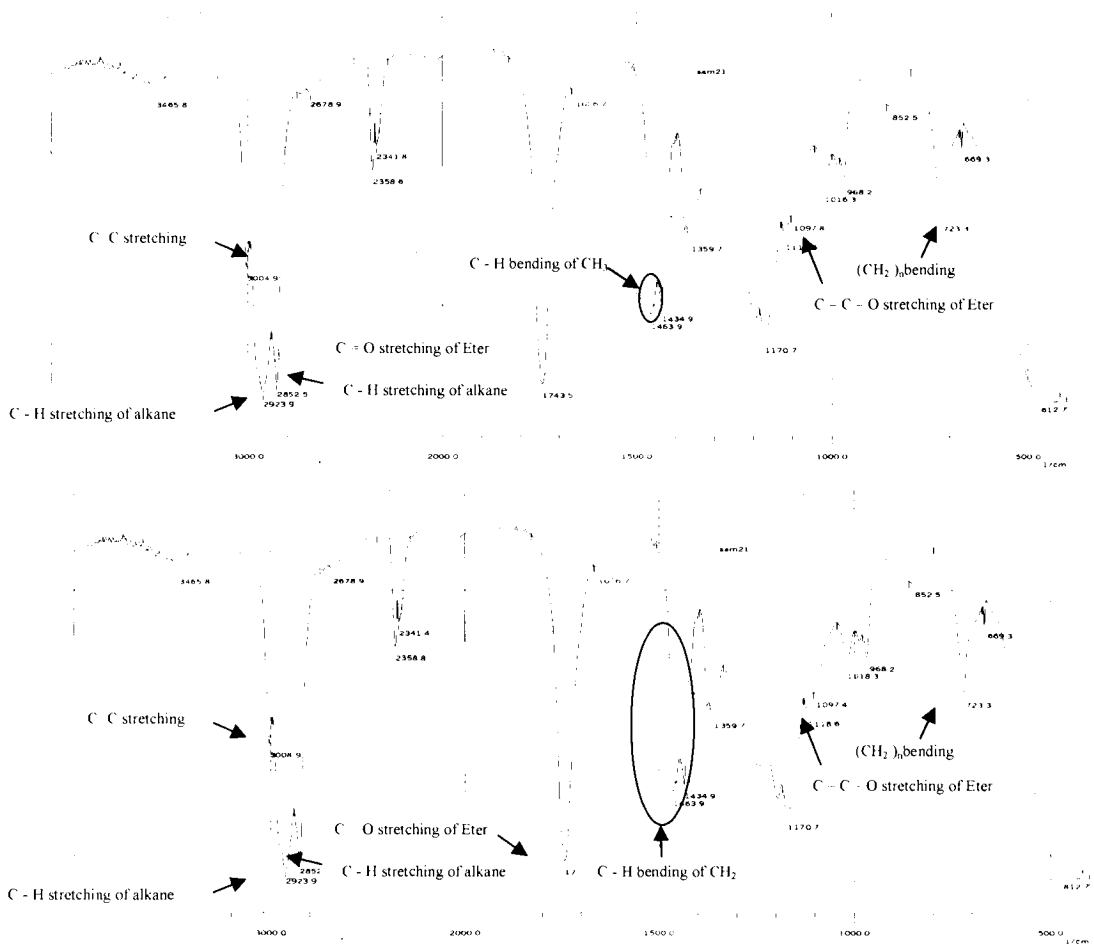
### 4.3 การวิเคราะห์ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้โดยเทคนิคทางเคมี

#### 4.3.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy

##### ข้อมูลทาง FT - IR Spectroscopy



รูปที่ 4.2 FT - IR Spectrum ของน้ำมันสบูดำ



รูป 4.3 FT-IR Spectrum ของ Methyl ester Biodiesel น้ำมันสบูดำ

ตาราง 4.7 เลขคลื่นการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีของน้ำมันสบู่ดำ

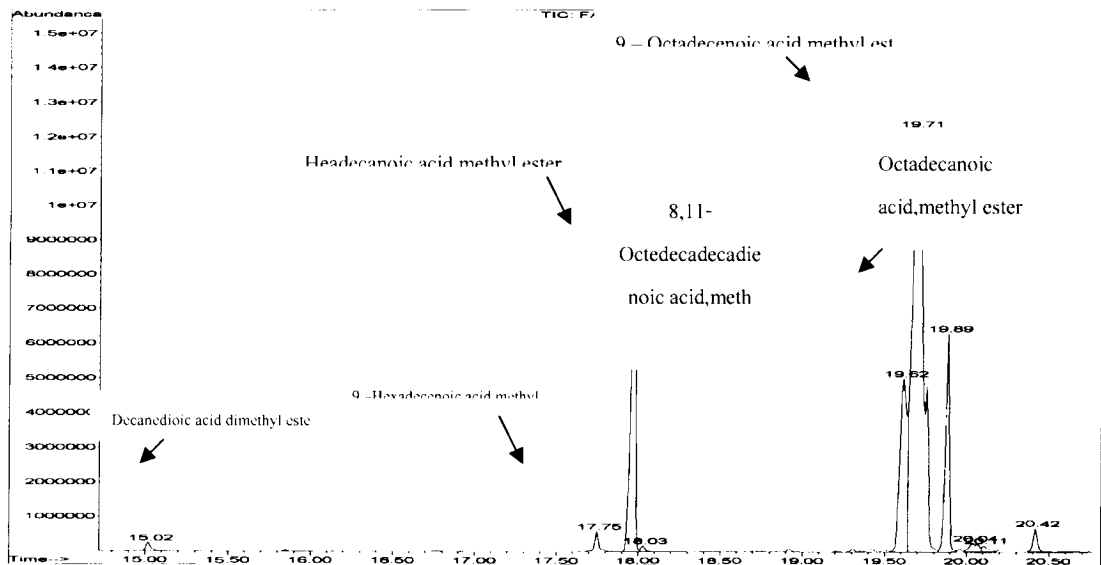
| เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ ) | พันธะและชนิดของการสั่น     |
|-------------------------------|----------------------------|
| 3411.8                        | O – H Stretching           |
| 3004.9                        | C = C Stretching           |
| 2923.9                        | C – H Stretching           |
| 2852.5                        | C – H Stretching           |
| 2577.0                        | C – H Stretching           |
| 1743.5                        | C = O Stretching           |
| 1463.9                        | C – H bending              |
| 1458.1                        | C – H bending              |
| 1434.9                        | C – H bending              |
| 1170.7                        | C – H bending              |
| 1097.4                        | C – C – O Stretching       |
| 723.3                         | (CH <sub>2</sub> ) bending |

**การวิเคราะห์ผล** จากการเปรียบเทียบข้อมูลทาง FT – IR จะพบว่าสเปกตรัมน้ำมันสบู่ดำที่ตำแหน่ง C – H bending ของ CH<sub>2</sub> ที่ค่าการดูดกลืนแสงช่วง 1464  $\text{cm}^{-1}$  ลักษณะของพีคจะเป็นแบบ Singlet ที่ Sharp และ medium จะถูกแทนที่ด้วย C – H bending ของ CH<sub>3</sub> ที่ค่าการดูดกลืนแสงช่วง 1375 และ 1450  $\text{cm}^{-1}$  ลักษณะของพีคจะเป็นแบบ Doublet ที่ Sharp และ medium เมื่อผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์ เมทิลเอสเทอร์ส่วนเป็นหมู่ฟังก์ชัน C = C , C – O , (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub> ของเอสเทอร์แสดงให้เห็นว่ายังมีไตรกลีเซอไรด์ หรือน้ำมันที่ผ่านปฏิกิริยาเป็นไบโอดีเซลอยู่ในชั้นกลีเซอรอล สาเหตุเนื่องจากการทำการแยกสารได้ไม่ดีพอ

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT – IR Spectroscopy ไม่สามารถวิเคราะห์โครงสร้างได้แต่สามารถบอกได้ว่าโมเลกุลนั้นมี Functional group อะไร จากการเปรียบเทียบสเปกตรัมของน้ำมันสบู่ดำกับ methylester biodiesel จะพบว่าค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 1468 – 1426 คือส่วนที่เป็น C–H bending ของ CH<sub>2</sub> ลักษณะของพีคจะเป็นแบบ singlet เมื่อเทียบกับสเปกตรัมของ methylester biodiesel จะพบว่าค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 1467–1413  $\text{cm}^{-1}$  เกิดการเปลี่ยนแปลงจากส่วนที่เป็น C–H bending ของ CH<sub>2</sub> ไปเป็น bending ของ CH<sub>3</sub> ที่ลักษณะของพีคเป็นแบบ doublet แทน

สรุปได้ว่าหลังการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแล้ว น้ำมันสบู่ดำเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น โดยหมู่ฟังก์ชันของเอสเทอร์โดยมีอัลคิล ซึ่งเป็น  $\text{CH}_3$  และ  $\text{CH}_2\text{CH}_3$  เข้าแทนที่กลีเซอรอล

#### 4.4 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC – MS



รูป 4.4 โครมาโทแกรมของอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH : KOH ที่ 0.25 : 0.5

**การวิเคราะห์** ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาค่าผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH : KOH ที่อุณหภูมิ  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH และ KOH อย่างเดียวให้ผลผลิตร้อยละเมทิลเอสเทอร์ที่น้อยกว่า การใช้ NaOH และ KOH มาผสมกันที่อัตราส่วน 0.25 : 0.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่ม KOH ทำให้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการวิจัยเรื่อง “การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำเพื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน” เริ่มจากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ โดยได้วิเคราะห์ปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้า จากนั้นทำการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดสบู่ดำด้วยการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน (Hexane) หลังการสกัด ได้น้ำมันที่ได้มาผลิตเป็นไบโอดีเซลโดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ศึกษาคุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ พบว่า มีความชื้นของเปลือกและเนื้อสบู่ดำ 8.72 % และ 4.04 % ตามลำดับ (ตาราง 5.1) ปริมาณเถ้าของเปลือกและเนื้อสบู่ดำสามารถมีค่า 7.79 % และ 4.10 % ตามลำดับ ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ ใช้เวลาที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันโดยการแช่ด้วยตัวทำละลายเฮกเซนนาน 7 วัน ได้ร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดสบู่ดำ น้ำหนัก 4528.79 g คิดเป็น 98.71 % ในส่วนของการผลิตไบโอดีเซลโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน พบว่า สภาวะที่ให้ผลผลิตร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด คือใช้อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH, KOH ที่อัตราส่วน 0.25:0.5 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 30 องศาเซลเซียส วิธีดังกล่าวให้ ผลผลิตไบโอดีเซลในรูปของสารประกอบเมทิลเอสเทอร์มีค่าสูงถึงร้อยละ 73.80

ตาราง 5.1 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ

| ส่วนของสบู่ดำ | % ความชื้น | % เถ้า |
|---------------|------------|--------|
| เปลือกสบู่ดำ  | 8.72       | 7.79   |
| เนื้อสบู่ดำ   | 4.04       | 4.10   |

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับน้ำมันที่นำมาทำปฏิกิริยา เพื่อให้ทราบคุณสมบัติอื่น ๆ และยังสามารถนำข้อมูลมาพัฒนากระบวนการการผลิตเพื่อให้เกิดผลผลิตสูงสุดด้วย
2. ควรมีการศึกษาผลกระทบระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อความเป็นผลผลิตร้อยละ เมทิลเอสเทอร์ เนื่องจากเมทิลเอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถระเหยได้
3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านการตรวจสอบสิ่งปนเปื้อนที่ยังหลงเหลืออยู่ในเมทิลเอสเทอร์ ได้แก่ สารประกอบพวกไดคลิโซไรด์ และไตรคลิโซไรด์ ซึ่งเป็นปัญหาทำให้เครื่องยนต์มีเขม่าเกิดขึ้น
4. ควรมีการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นการประเมินต้นทุนในการผลิตว่าเหมาะสมต่อการดำเนินโครงการหรือไม่
5. ควรมีการปรับปรุงคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้การกลั่นร่วมด้วย
6. ควรมีการศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันที่สกัดได้ รวมถึงสมบัติของไบโอดีเซล เช่น ความหนาแน่น ความหนืด จุดวาบไฟ เป็นต้น

### บรรณานุกรม

- [1] วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. **สบู่ดักน้ำมันประจำบ้าน**. กรีนมีเดียแอนด์โปรดักส์, 2548
- [2] ปัญญา เผ่าจำเริญ. **พืชเศรษฐกิจพันธุ์ใหม่ (2550) น้ำมันสบู่ดักกับเครื่องยนต์ดีเซล**. สำนักพิมพ์ วี.ที.เอส. พิมพ์ที่บริษัท ก.พล การพิมพ์จำกัด
- [3] สุภายิต ชุกกลิ่น. **การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพารา**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2547
- [4] คณะกรรมการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร.**พลังงานทดแทนเอทานอลและไบโอดีเซล**. แปลนพรีนที่ต้งจำกัด กรุงเทพฯ, 2545
- [5] <http://www.kanchanapisek.or.th/kp4/book343/57.jpg> [Retrieved on February, 20, 2007]
- [6] <http://www.th.wikipedia.org> [Retrieved on February, 20, 2007]
- [7] คณะกรรมการพลังงานสภาผู้แทนราษฎร, **พลังงานทดแทน เอทานอล และไบโอดีเซล**. หนังสือเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เนื่องในวโรกาสวันเฉลิมพระชนมพรรษา 5 ธันวาคม 2545
- [8] **พืชเศรษฐกิจ-ภาควิชาพืชไร่**นา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, เท็กซ์แอนด์เจอร์นัล พับลิเคชันจำกัด, 2546
- [9] อินทิดา หาญพงษ์พันธ์, บัญชา พูลโกคา. **สารชีวโมเลกุล**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550
- [10] คณะกรรมการการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร.**พลังงานทดแทนเอทานอลและไบโอดีเซล**. แปลนพรีนที่ต้งจำกัด กรุงเทพฯ, 2545
- [11] พิชัย สราญรมย์. **น้ำมันสบู่ดักกับเครื่องยนต์ดีเซล**. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี
- [12] ภัทรารุช เรืองรักษ์, การเตรียมเสตเตอร์จากกรดไขมันของน้ำมันมะพร้าวเพื่อเป็นใช้ไบโอดีเซล. การวิจัยระดับปริญญาตรี, สาขาเคมี-ชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545.
- [13] J. Braz. (1998) Transesterification of Vegetable Oils: a Review. Chem. Soc, 199-210
- [14] เกษณี ศรีนามล. (2549) การพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาในท่อทองแดงงานวิจัยวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี) . มหาวิทยาลัยนเรศวร
- [15] วสันต์ ท้าวสูงเนิน.(2550) สบู่ดักพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล สำนักพิมพ์ วี.ที.เอส. พิมพ์ที่บริษัท ก.พล การพิมพ์จำกัด

- [16] จุฬาลักษณ์ มณีประสพสุข, การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพ, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [17] พิศมัย เจนวนิชปัญจกุล, ไบโอดีเซล: พลังงานทางเลือกใหม่. ฝ่ายสิ่งแวดล้อม นิเวศวิทยา และพลังงาน, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.), 2544.
- [18] วราวุธ ดิยพงศ์พัฒนา (2002) ไบโอดีเซลหรือเฟดตีเอชดีเมทิลเอสเทอร์ (FAME) วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [19] Ma Fangrui, Hanna Milford A. 1999. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70 (1999): 1-15.
- [20] Antolin G., Tinaut F.V., Briceno Y., Castono V., Perez C. and Ramirez A.I..2002. Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification. *Bioresource Technology*, 83(2002): 111-114.
- [21] Fukuda , H. , A. kondo and H. noda. (2001) . Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 92 : 405 – 416.
- [22] Freedman, B., Butterfield, R.O., Pryde, E.H..1986. Transesterification Kinetics of Soybean Oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 63(1986): 1375-1380.
- [23] Fangrui , M and A.H. Milford. (1999) . Biodiesel production : a review. *Bioresource Technology* 70 : 1 – 15.
- [24] ชาคริต ทองอุไร, สันหทัย กลิ่นพิกุล, จรัญ บุญกาญจน์ และพิมพ์พรณ เกียรติชิมกุล, การผลิตไบโอดีเซลจากผลิตผลปาล์มน้ำมัน. *วารสารสงขลานครินทร์*. 23 (ฉบับพิเศษ 2544), 831-841.
- [25] ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์. การพัฒนารูปแบบการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
- [26] พนิดา สามพราน ไพบูลย์ ชฎาพร ผลดอน สมคิด สุวรรณชาติ (2550) การผลิตพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลจากของเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมไก่แช่แข็ง ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยรังสิต
- [27] กมลชนก ลิ้มปิชาติ, การเตรียมน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันทอดที่ใช้แล้ว. *ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*, 2546.
- [28] วิลาวัลย์ ธุระพันธ์, ปรางทอง เพ็ชรน่วม และ เท็ดพงศ์ สุจิตร์วัฒนสุข, การศึกษาคุณสมบัติเมทิลเอสเทอร์ของไตรกลีเซอไรด์และการนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล. *วิจัยระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2544. (1-37).*

- [29] Feuge, R.O., Gros, A.T.. 1949. Modification of Vegetable oils. VII. Alkali catalyst Interesterification of Peanut Oil with Ethanol. J. Am. Oil Chem. Soc, 26(1949): 97-102.
- [30] มุกิตา ยันบูรพา ลักขณ์ศักดิ์ พอดิงาม และกัญญา บุญเกียรติ, ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช 3 ชนิด. วารสารวิทยาศาสตร์. (มีนาคม-เมษายน 2545), 78-84.
- [31] Formo, M.W. 1954. Ester Reactions of Fatty Materials. J. Am. Oil Chem. Soc, 31(1954): 549-550.
- [32] Bondioli, P., Gasparoli, A., Lanzani, A., Fedeli, E., Veronese, S., Sala, M..1995. Storage stability of biodiesel. J. Am. Oil Chem. Soc, 72(1995): 699-702.
- [33] Zhang, Y.; Dube, M.A.; Mclean, D.D. and Kates, M. 2003. Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis. Biodiesel technology. 2003, 90 : 299-240.
- [34] ระพีพันธุ์ ภาสบุตร และ สุขสันต์ สุทธิผลไพบุลย์ การสกัดน้ำมันจากสบู่ดำใช้เป็นพลังงานในเครื่องยนต์ดีเซล (กองเกษตรเคมี, 2533)
- [35] วิภาวดี ประพัฒน์ไพโรจน์, การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขปลาล์มโดยใช้เอนไซม์ไลเปสตรังรูป, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2546.



# ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตาราง 1 ก มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน DINE 51606 ประเทศเยอรมนี

| คุณสมบัติน้ำมัน<br>เชื้อเพลิง                                 | หน่วย                      | วิธีทดสอบ          | เกณฑ์ต่ำสุด | เกณฑ์สูงสุด |
|---|----------------------------|--------------------|-------------|-------------|
| ค่าความถ่วงจำเพาะที่<br>15° ซ                                 | กรัม/มิลลิเมตร             | ISO 3675           | 0.875       | 0.900       |
| ความหนืดที่ 40°ซ  | มม. <sup>2</sup> /วินาที   | ISO 3104           | 3.5         | 5.0         |
| จุดวาบไฟ(วิธี Pensky-<br>Marten Close Tester)                 | °ซ                         | ISO 2719           | 100         | -           |
| จุดจุดตันไส้กรอง<br>(CFPP)                                    | °ซ                         | DIN EN 116         | *           | 0           |
| 15 เม.ย. – 30 ก.ย.  |                            |                    | -           | -10         |
| 10 ต.ค. – 15 พ.ย.   |                            |                    | -           | -20         |
| 16 พ.ย. – 28 ก.พ.   |                            |                    | -           | -10         |
| 1 มี.ค. – 14 เม.ย.  |                            |                    | -           | -10         |
| ปริมาณกำมะถัน   | ร้อยละโดยน้ำหนัก           | ISO 4260           | -           | 0.01        |
| กากถ่านคอนราดสัน<br>(ร้อยละ 10 ของกากที่<br>เหลือจากการกลั่น) | ร้อยละโดยน้ำหนัก           | ISO 10370          | -           | 0.30        |
| ค่าซีเทน  | ร้อยละโดยน้ำหนัก           | ISO 5165           | 49          | -           |
| เถ้า  | มิลลิกรัม/กิโลกรัม         | ISO 6245           | -           | 0.01        |
| น้ำ   | มิลลิกรัม/กิโลกรัม         | ASTM D 1744        | -           | 300         |
| มลพิษทั้งหมด  | มิลลิกรัม KOH/<br>กิโลกรัม | DIN 51419          | -           | 20          |
| การกัดกร่อนทองแดง<br>50° ซ 3 ชั่วโมง                          | ร้อยละโดยน้ำหนัก           | ISO 2160           | -           | 1           |
| ค่าความเป็นกลาง   | ร้อยละโดยน้ำหนัก           | DIN 51558<br>part1 | -           | 0.5         |
| เมทานอล   | ร้อยละโดยน้ำหนัก           | **                 | -           | 0.3         |

| คุณสมบัติน้ำมัน<br>เชื้อเพลิง | หน่วย                    | วิธีทดสอบ           | เกณฑ์ต่ำสุด | เกณฑ์สูงสุด |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------|-------------|-------------|
| โมนอกลิเซอไรด์                | ร้อยละโดยน้ำหนัก         | **                  | -           | 0.8         |
| ไดกลีเซอไรด์                  | ร้อยละโดยน้ำหนัก         | **                  | -           | 0.1         |
| ไตรกลีเซอไรด์                 | ร้อยละโดยน้ำหนัก         | **                  | -           | 0.1         |
| กลีเซอรินอิสระ                | ร้อยละโดยน้ำหนัก         | **                  | -           | 0.02        |
| กลีเซอรินทั้งหมด              | ร้อยละโดยน้ำหนัก         | **                  | -           | 0.25        |
| ค่าไอโอดีน                    | กรัม ไอโอดีน/100<br>กรัม | DIN 53241<br>part 1 | -           | 115         |
| ฟอสฟอรัส                      | มิลลิกรัม/กิโลกรัม       | **                  | -           | 10          |

\* ยังไม่มีกำหนด

\*\* จะมีมาตรฐานกำหนด

เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ในการผลิตได้ใช้น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลและ/หรือน้ำมันก๊าดด้วยอัตราส่วนต่างๆกัน น้ำมันดีเซลปาล์มและดีเซลมะพร้าวจากปืมน้ำมันต่างๆมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 23 คุณสมบัติของน้ำมันพืชผสมสารอื่นๆและน้ำมันพืชดิบ พบว่ามีความแตกต่างจากน้ำมันดีเซล โดยเฉพาะค่าความถ่วงจำเพาะและความหนืดที่สูงกว่ามาตรฐานน้ำมันดีเซลมาก และเมื่อใช้น้ำมันดีเซลมะพร้าวดิบเป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะ พบว่าปริมาณสารมลพิษบางชนิดลดลง และบางชนิดเพิ่มสูงขึ้น ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงนั้นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มะพร้าวดิบอัตราการสิ้นเปลืองสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสม ทั้งในรูปแบบของน้ำมันที่มีความเหมาะสมกับประเภทของเครื่องยนต์และมลพิษที่เกิดขึ้น

ตาราง 2 ก มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D 6751 ประเทศสหรัฐอเมริกา

| คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง                                       | หน่วย                     | วิธีทดสอบ   | เกณฑ์ต่ำสุด | เกณฑ์สูงสุด |
|---|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| จุดวาบไฟ (Pensky-Marten Closed Tester)                          | °ซ                        | ASTM D 93   | 130         | -           |
| น้ำและตะกอน   | ร้อยละโดยปริมาตร          | ASTM D 2709 | -           | 0.050       |
| ค่าความหนืดที่ 40° ซ  | มม. <sup>2</sup> /วินาที  | ASTM D 445  | 1.9         | 6.0         |
| เถ้าซัลเฟต  | ร้อยละโดยน้ำหนัก          | ASTM 874    | -           | 0.02        |
| ปริมาณกำมะถัน   | ร้อยละโดยน้ำหนัก          | ASTM 5453   | -           | 0.05        |
| การกัดกร่อนทองแดง   |                           | ASTM 130    | -           | No.3        |
| ค่าซีเทน  |                           | ASTM D 613  | 47          | -           |
| จุดขุ่น (Cloud point)   | °ซ                        | ASTM D 2500 | รายงานผล    |             |
| กากถ่าน(ร้อยละ 100 ตัวอย่าง)                                    | ร้อยละโดยน้ำหนัก          | ASTM 4530   | -           | 0.050       |
| ค่าของกรด   | มิลลิกรัม KOH/กรัม น้ำมัน | ASTM 664    | -           | 0.80        |
| กลีเซอรินอิสระ  | ร้อยละโดยน้ำหนัก          | ASTM 6584   | -           | 0.02        |
| กลีเซอรินทั้งหมด  | ร้อยละโดยน้ำหนัก          | ASTM D 6584 | -           | 0.24        |
| ปริมาณฟอสฟอรัส  | ร้อยละโดยน้ำหนัก          | ASTM D 4951 | -           | 0.001       |
| อุณหภูมิการกลั่น เทียบเท่า ที่ความดันบรรยากาศกลั่น ได้ร้อยละ 90 | °ซ                        | ASTM D 1180 | -           | 360         |

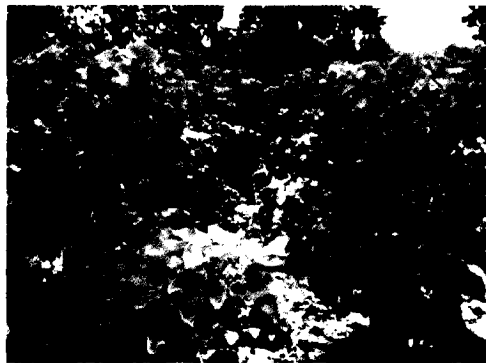
ตาราง 3 ก สมบัติของการผลิตก๊าซไบโอดีเซลชนิด B 100

| คุณสมบัติ  | หน่วย                                | ข้อกำหนด                          | วิธีทดสอบ   |
|--|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| เมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester)   | ร้อยละโดยน้ำหนัก                     | ไม่ต่ำกว่า 96.5                   | EN 14103    |
| ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (Density at 15 °C)  | กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร              | ไม่ต่ำกว่า 860 และ ไม่สูงกว่า 900 | ASTM D 1298 |
| ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (Viscosity at 40 °C)   | เซนติสโตกส์                          | ไม่ต่ำกว่า 3.5 และ ไม่สูงกว่า 5.0 | ASTM D 445  |
| จุดวาบไฟ (Flash point)   | องศาเซลเซียส                         | ไม่ต่ำกว่า 120                    | ASTM D 93   |
| กำมะถัน (Sulphur)  | ร้อยละโดยน้ำหนัก                     | ไม่สูงกว่า 0.0010                 | ASTM D 2622 |
| กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon residue, on 10 % distillation residue)               | ร้อยละโดยน้ำหนัก                     | ไม่สูงกว่า 0.30                   | ASTM D 4530 |
| จำนวนซีเทน (Cetane Number)   |                                      | ไม่ต่ำกว่า 51                     | ASTM D 613  |
| เถ้าซัลเฟต (Sulfated ash)  | ร้อยละโดยน้ำหนัก                     | ไม่สูงกว่า 0.02                   | ASTM D 874  |
| น้ำ (Water)  | ร้อยละโดยน้ำหนัก                     | ไม่สูงกว่า 0.050                  | ASTM D 2709 |
| สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total contaminant)  | ร้อยละโดยน้ำหนัก                     | ไม่สูงกว่า 0.0024                 | ASTM D 5452 |
| การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip corrosion)   |                                      | ไม่สูงกว่า หมายเลข 1              | ASTM D 130  |
| เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (Oxidation Stability at 110 °C) ชั่วโมง |                                      | ไม่ต่ำกว่า 6                      | EN 14112    |
| ค่าความเป็นกรด (Acid number)   | มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม | ไม่สูงกว่า 0.50                   | ASTM D 664  |
| ค่าไอโอดีน (Iodine value)  | กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัม              | ไม่สูงกว่า 120                    | EN 14111    |
| กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์  | ร้อยละโดยน้ำหนัก                     | ไม่สูงกว่า 12.0                   | EN 14103    |
| เมทานอล (Methanol)   | ร้อยละโดยน้ำหนัก                     | ไม่สูงกว่า 0.20                   | EN 14110    |

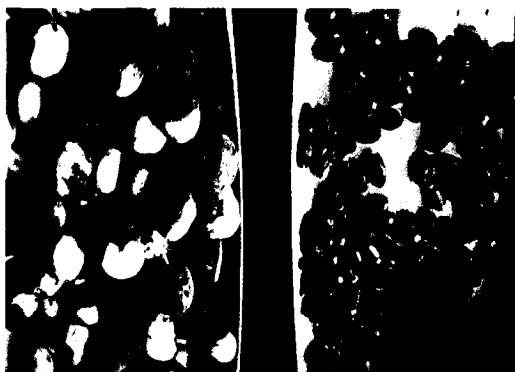
| คุณสมบัติ                              | หน่วย                    | ข้อกำหนด          | วิธีทดสอบ                              |
|--|--------------------------|-------------------|--|
| โมนอกลิเซอไรด์ (Monoglyceride)         | ร้อยละโดยน้ำหนัก         | ไม่สูงกว่า 0.80   | EN 14105                               |
| ไดกลิเซอไรด์ (Diglyceride)             | ร้อยละโดยน้ำหนัก         | ไม่สูงกว่า 0.20   | EN 14105                               |
| ไตรกลิเซอไรด์ (Triglyceride)           | ร้อยละโดยน้ำหนัก         | ไม่สูงกว่า 0.20   | EN 14105                               |
| กลีเซอรินอิสระ (Free glycerine)        | ร้อยละโดยน้ำหนัก         | ไม่สูงกว่า 0.02   | EN 14105                               |
| โลหะกลุ่มที่ 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม)  | มิลลิกรัมต่อ<br>กิโลกรัม | ไม่สูงกว่า 5.0    | EN 14105 และ<br>EN 14105<br>prEN 14538 |
| โลหะกลุ่มที่ 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) | มิลลิกรัมต่อ<br>กิโลกรัม | ไม่สูงกว่า 5.0    |  |
| ฟอสฟอรัส (Phosphorus)                  | ร้อยละโดยน้ำหนัก         | ไม่สูงกว่า 0.0010 | ASTM D 4951                            |
| สารเติมแต่ง (additive) (ถ้ามี)         |                          |                   |  |

ภาคผนวก ข

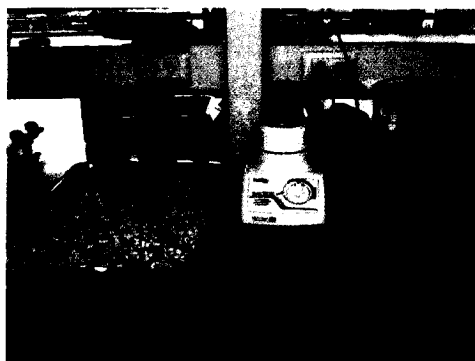
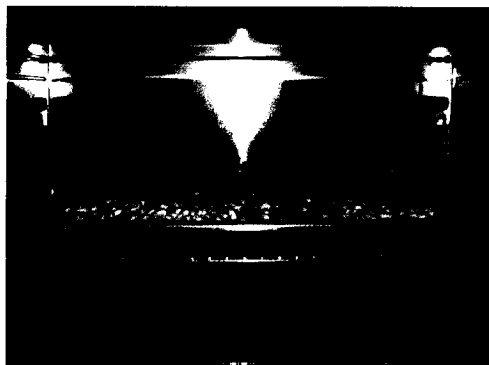
รูปภาพในการวิจัย



รูป 1 ข ลักษณะต้นและดอกของสบูดำ



รูป 2 ข ลักษณะเมล็ดของสบูดำ



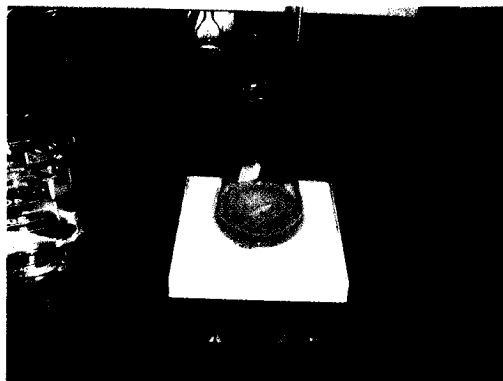
รูป 3 ข การอบเมล็ดสบูดำจากนั้นนำมาบดหยาบ ๆ



รูป 4 ข สกัดด้วยเฮกเซน โดยแช่ไว้เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำมากรอง

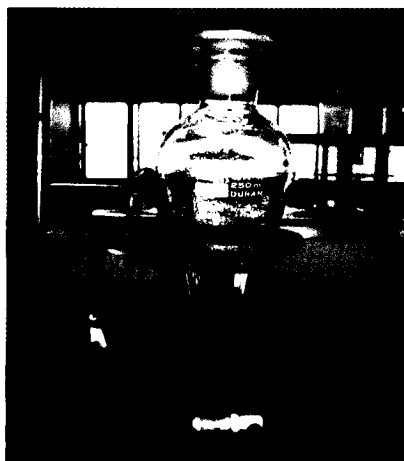


รูป 5 ข นำสารละลายที่ได้มาทำการระเหยภายใต้ความดันต่ำ

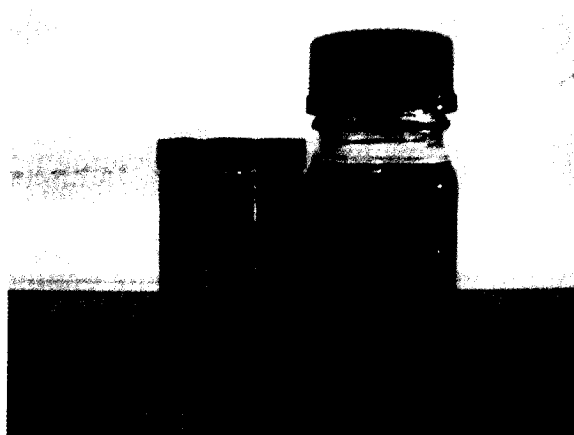


รูป 6 ข นำน้ำมัน 50 g มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้สารละลายผสมระหว่าง KOH 0.5 g, NaOH 0.25 g และ MeOH 8.25 g ที่อุณหภูมิ 30 °C ทำการผสมน้ำมันและสารละลายเข้าด้วยกัน และคนสารละลายเป็นเวลานาน 30 นาที





รูป 7 ข ใส่ในกรวยแยกปล่อยให้แยกชั้นเป็นเวลา 5 ชั่วโมง จะเกิดการแยกเป็น 2 ชั้น ได้แก่ ชั้น glycerol (ชั้นล่าง) และชั้น organic (ชั้นบน) นำชั้นที่เป็น esters มาล้างด้วยน้ำอุ่น (50 °C) 3 ครั้ง ครั้งละ 50 mL จากนั้นแยกชั้นที่เป็นสบู่ และ glycerol ออก และกำจัดน้ำโดยเติม  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhydrous



รูป 8 ข น้ำมันไบโอดีเซลจากสบู่ดำ

ภาคผนวก ค

ผลงานแสดงในงานนิทรรศการเทิดพระเกียรติ “ตามรอยเบื้องพระยุคลบาท”  
และงานแสดงผลงานพัฒนาเทคโนโลยีทุนปริญญาตรี สกว. ครั้งที่ 6 *IRPUS 51*



# Extraction of Oil from *Jatropha curcas* L. Seed Kernels for Synthesis of Biodiesel by Trans-esterification Process

Wanwan Wang<sup>1</sup>, Yanyan Wang<sup>2</sup>, Yanyan Wang<sup>3</sup>, Yanyan Wang<sup>4</sup>, Yanyan Wang<sup>5</sup>, Yanyan Wang<sup>6</sup>, Yanyan Wang<sup>7</sup>, Yanyan Wang<sup>8</sup>, Yanyan Wang<sup>9</sup>, Yanyan Wang<sup>10</sup>



**บทคัดย่อ**

วัตถุประสงค์ของการศึกษาคือเพื่อหาปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดของพืช *Jatropha curcas* L. และเพื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดได้โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน. การศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการใน 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การสกัดน้ำมันจากเมล็ด, การกลั่นกรองน้ำมัน และ การสังเคราะห์ไบโอดีเซล. ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดของพืช *Jatropha curcas* L. อยู่ที่ประมาณ 10-15% ของน้ำหนักเมล็ด. ไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่สอดคล้องกับข้อกำหนดของมาตรฐานไบโอดีเซล.

**คำสำคัญ**

*Jatropha curcas* L., น้ำมัน, ไบโอดีเซล, ทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน



## 2.5 ขั้นตอนการแยกน้ำมันจากเมล็ดของพืช *Jatropha curcas* L.



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการแยกน้ำมันจากเมล็ดของพืช *Jatropha curcas* L.

| ข้อแตกต่างของวิธี                     |   |
|---------------------------------------|---|
| การสกัดด้วย Hexane                    | การต้ม  |
| แยก Hexane ออกจากน้ำมันได้ง่าย        | น้ำมันออกมาจะมีลักษณะขุ่นต้องทิ้งไว้ตกตะกอนประมาณ 1 – 2 วัน   |
| Hexane มีราคาถูก                      | ได้ปริมาณน้ำมันออกมาประมาณ 26 – 30 %  |
| Hexane สามารถละลายน้ำมันได้           | มีน้ำมันตกค้าง 10 – 15 %  |
| นำ Hexane กลับมาใช้ใหม่ได้อีก         | ต้องควบคุมแรงในการชกปั๊ม เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นจะไปเร่งปฏิกิริยาเคมีบางอย่างทำให้มีน้ำมันตกค้างสูงๆ |
| Hexane ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่สกัด |   |
| สามารถสกัดน้ำมันได้ 95.81 %           |   |
| มีน้ำมันตกค้างสูงๆน้อย                |   |

การสกัดน้ำมันจากเมล็ดของพืช *Jatropha curcas* L. สามารถทำได้โดยใช้กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย. ในขั้นตอนนี้ จะใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อละลายน้ำมันออกจากเมล็ด. หลังจากการสกัดแล้ว จะต้องทำการกลั่นกรองน้ำมันเพื่อขจัดสิ่งเจือปนออก. ขั้นตอนสุดท้ายคือการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันที่กลั่นกรองแล้วโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน.



| ชนิด                 | ปริมาณความชื้น (%) | ปริมาณเถ้า (%) |
|----------------------|--------------------|----------------|
| เนื้อของเมล็ดสุกต่ำ  | 8.73               | 7.79           |
| เปลือกของเมล็ดสุกต่ำ | 4.04               | 4.10           |

| น้ำหนักสุกต่ำ (g) | ปริมาณน้ำมันที่ได้ออก (g) | % Yield |
|-------------------|---------------------------|---------|
| 4528.79           | 4339.11                   | 95.81   |



รูปที่ 2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองการสกัดน้ำมันจากเมล็ดของพืช *Jatropha curcas* L.

| น้ำหนักน้ำมันดิบ (g) | น้ำหนัก Biodiesel ที่ได้ออก (g) | % น้ำมัน Biodiesel (w/w) |
|----------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 50                   | 36.91                           | 73.81                    |

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดได้สามารถทำได้โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน. ในขั้นตอนนี้ จะใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อละลายน้ำมันออกจากเมล็ด. หลังจากการสกัดแล้ว จะต้องทำการกลั่นกรองน้ำมันเพื่อขจัดสิ่งเจือปนออก. ขั้นตอนสุดท้ายคือการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันที่กลั่นกรองแล้วโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน.

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดได้สามารถทำได้โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน. ในขั้นตอนนี้ จะใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อละลายน้ำมันออกจากเมล็ด. หลังจากการสกัดแล้ว จะต้องทำการกลั่นกรองน้ำมันเพื่อขจัดสิ่งเจือปนออก. ขั้นตอนสุดท้ายคือการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันที่กลั่นกรองแล้วโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน.

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดได้สามารถทำได้โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน. ในขั้นตอนนี้ จะใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อละลายน้ำมันออกจากเมล็ด. หลังจากการสกัดแล้ว จะต้องทำการกลั่นกรองน้ำมันเพื่อขจัดสิ่งเจือปนออก. ขั้นตอนสุดท้ายคือการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันที่กลั่นกรองแล้วโดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน.

1. Wang, W., Wang, Y., Wang, Y., Wang, Y., Wang, Y., Wang, Y., Wang, Y., Wang, Y., Wang, Y., Wang, Y. (2020). Extraction of Oil from *Jatropha curcas* L. Seed Kernels for Synthesis of Biodiesel by Trans-esterification Process. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12(1), 1-10.

2. ...

3. ...

4. ...

5. ...

6. ...

7. ...

ภาคผนวก ง

โปสเตอร์การนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับชาติ  
มหาวิทยาลัยราชภัฏ ครั้งที่ 2



**การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำเพื่อใช้สังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน**  
**Extraction of oil from *Jatropha curcas* L seed kernels for synthesis of biodiesel by transesterification process**

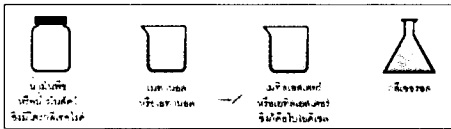
เฉลิมพร ทองพูน\* หทัยรัตน์ มากดี และ ศิริรัตน์ พันธุ์เรือง

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี สงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 85000

โทรศัพท์/โทรสาร 055-267106, 267054 E-mail : cthongpoon@gmail.com

**บทคัดย่อ:** ได้ทำการศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำโดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย จากนั้นนำน้ำมันมาใช้สังเคราะห์เป็นไบโอดีเซล โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ในการวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำที่เก็บจากพื้นที่ปลูกในเขตอำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก พบว่า ปริมาณความชื้นของเปลือกและเนื้อเมล็ด ได้ค่าร้อยละ 8.72 และ 4.04 ตามลำดับ ได้วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันในส่วนของเปลือกและเนื้อเมล็ด ได้ค่าร้อยละ 7.79 และ 4.10 ตามลำดับ และเมื่อทำการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนเป็นตัวสกัด พบว่า ได้ปริมาณน้ำมันสบู่ดำสูงถึงร้อยละ 95.81 ได้นำน้ำมันสบู่ดำที่สกัดได้มาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยมี เมทานอล โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าผลผลิตไบโอดีเซลในรูปของสารประกอบเมทิลเอสเทอร์มีค่าสูงถึงร้อยละ 73.80

**บทนำ:** ไบโอดีเซล เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำมันพืชชนิดต่างๆ หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ มาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification process) ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันหรือไขมัน ให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (monoalkyl ester) โดยการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือด่าง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบเอสเทอร์และไดกลีเซอรอล เป็นผลพลอยได้ (by product) กลีเซอรอล ที่ไม่สามารถนำไปใช้ เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง ผงซักฟอก และอื่นๆ กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ใช้เตรียมไบโอดีเซล มีประโยชน์คือ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันในเรื่องของความหนืดและการเพิ่มค่าเซเทน (Cetane number) ของผลิตภัณฑ์ ทำให้ได้น้ำมันที่เหมาะสมกับการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล



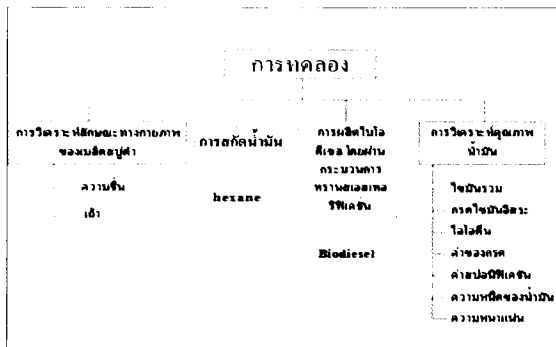
หลักการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ไขมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ผสมกับเมทานอลหรือเอทานอล จะได้แก๊สแอลกอฮอล์เอสเตอร์ซึ่งคือไบโอดีเซล และได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้

สบู่ดำจัดเป็นพืชทางเลือกชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลได้ เนื่องจากมีน้ำมันในส่วนเมล็ดซึ่งสามารถนำมาสกัดน้ำมันได้ โดยนำมันที่ได้จากเมล็ดสบู่ดำที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ได้มีการทดสอบการใช้ไขมันจากเมล็ดสบู่ดำกับเครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์ให้ค่าสมรรถนะที่ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล นอกจากนี้ปริมาณการปลดปล่อยควันดำในไอเสียยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานและสามารถผสมเข้ากับดีเซลกับน้ำมันดีเซลได้อีกด้วย

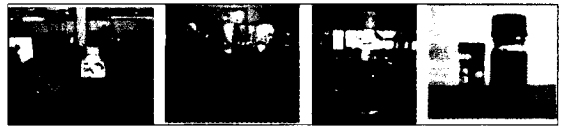


ลักษณะต้นและเมล็ดสบู่ดำ

โครงการวิจัยนี้มุ่งพัฒนาและปรับปรุงการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำเพื่อนำไปสังเคราะห์เป็นไบโอดีเซล โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อให้ได้ร้อยละผลผลิตของน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำและให้ได้เมทิลเอสเทอร์ในปริมาณที่สูง มีสมบัติทางเชื้อเพลิงของเมทิลเอสเทอร์ที่เทียบเท่ากับมาตรฐานของน้ำมันดีเซล ดังนั้น โครงการวิจัยเพื่อใช้พลังงานทางเลือกที่มาจากพืชที่ปลูกได้ในท้องถิ่น จะเป็นทางออกแนวทางหนึ่งซึ่งช่วยให้เกษตรกร วิชาสหกิจชุมชนและผู้ประกอบการสามารถพึ่งพาตัวเองได้ ในภาวะวิกฤตพลังงานได้



\*ขอตีพิมพ์: สมิตา, นันทนพิชา, ศุภมาสดี, ไบโอดีเซล  
 Research on *Jatropha curcas* L. seed kernels for biodiesel



การผลิตไบโอดีเซล Methyl ester Biodiesel From Jatropha Oil

**ปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้า**

| ชนิด                 | ปริมาณความชื้น (%) | ปริมาณเถ้า (%) |
|----------------------|--------------------|----------------|
| เนื้อของเมล็ดสบู่ดำ  | 8.73               | 7.79           |
| เปลือกของเมล็ดสบู่ดำ | 4.04               | 4.10           |

**การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำด้วยเฮกเซน**

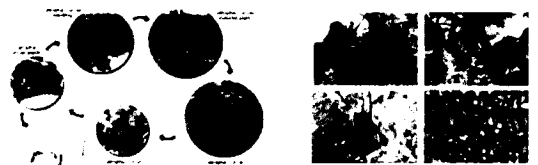
| น้ำหนักสบู่ดำ (g) | ปริมาณน้ำมันที่ได้ (g) | % Yield |
|-------------------|------------------------|---------|
| 4528.79           | 4339.11                | 95.81   |

**การผลิตไบโอดีเซล**

| น้ำหนักน้ำมันดิบ (g) | น้ำหนักไบโอดีเซลที่ได้ (g) | % น้ำมันไบโอดีเซล (w/w) |
|----------------------|----------------------------|-------------------------|
| 50.00                | 36.91                      | 73.80                   |

| ข้อแตกต่างของวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายและการหมัก   |   |
|--|---|
| การสกัดด้วย Hexane   | การหมัก   |
| เมก Hexane ออกจากน้ำมันได้ง่าย Hexane มีราคาถูก Hexane สามารถละลายน้ำมันได้ นำ Hexane กลับมาใช้ใหม่ได้ยาก Hexane ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่สกัด สามารถสกัดน้ำมันได้ 95.81 % มีน้ำมันตกค้างอยู่น้อย | น้ำมันออกมามีลักษณะขุ่นต้องทิ้งให้ตกตะกอน ประมาณ 1 - 2 วัน ใช้น้ำมันน้ำมันออกมามีประมาณ 26 - 30 % มีน้ำมันตกค้าง 10 - 15 % ต้องควบคุมแรงในการกวน เพราะความร้อนที่ สามารถสกัดน้ำมันได้ เกือบทั้งหมดสามารถทำให้น้ำมันเสื่อมเสียเร็วจึงได้น้ำมันที่คุณภาพไม่ดี |

**สรุปผลการทดลอง :** จากการศึกษาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำเพื่อสังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพโดยทำการหาปริมาณความชื้นและหาปริมาณเถ้า หลังจากนั้นนำน้ำมันออกจาก เมล็ดสบู่ดำด้วยการใช้ตัวทำละลายเฮกเซนสกัด แล้วนำน้ำมันที่ได้มาทำการกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากเมล็ดสบู่ดำ และศึกษาคุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ ความชื้นของเปลือกและเนื้อสบู่ดำสามารถหาได้ 8.72 % และ 4.04 % ตามลำดับ ปริมาณเถ้าของเปลือกและเนื้อสบู่ดำสามารถหาได้ 7.79 % และ 4.10 % ตามลำดับ การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำและการผลิตไบโอดีเซล โดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดสบู่ดำ 4528.8 g คือ 95.81 % ในการทดลองนี้พบว่าสภาวะที่ให้ผลผลิตร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุดคือ ใช้อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH : KOH 0.25 : 0.5 โดยโมล อุณหภูมิ 30 °C ในการทำปฏิกิริยานาน 30 นาที และเวลาที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมัน โดยการแช่ด้วยตัวทำละลายเฮกเซนนาน 7 วัน



ภาคผนวก จ    บทความวิจัย

การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำเพื่อใช้สังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน  
หทัยรัตน์ มากดี<sup>1)</sup> ธนกร โพธิ์วงศ์<sup>1)</sup> และ เฉลิมพร ทองพูน<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

อ. เมือง จ. พิษณุโลก 65000 โทรศัพท์/โทรสาร 055-267 106, 267 054 E-mail :g4370029@yahoo.com

### บทคัดย่อ

ได้ศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำเพื่อนำมาใช้สังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ในการวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ ได้แก่ ปริมาณความชื้นของเปลือกและเนื้อเมล็ด ได้ค่าร้อยละ 8.72 และ 4.04 ตามลำดับ ได้วิเคราะห์ปริมาณธาตุในส่วนเปลือกและเนื้อเมล็ด ได้ค่าร้อยละ 7.79 และ 4.10 ตามลำดับ และเมื่อทำการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน จะได้ปริมาณน้ำมันสบู่ดำสูงถึงร้อยละ 95.81 ได้นำน้ำมันสบู่ดำที่สกัดได้มาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมี เมทานอล โปเตสเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ผลผลิตไบโอดีเซลในรูปของสารประกอบเอสเทอร์มีค่าสูงถึงร้อยละ 73.80

**คำสำคัญ** สบู่ดำ น้ำมันสบู่ดำ การสกัด ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ไบโอดีเซล

### บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้รับผลกระทบจากการปรับตัวของราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยประเทศไทยต้องนำเข้าน้ำมันประเภทต่างๆ จากต่างประเทศเป็นหลัก โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลที่ต้องใช้ในภาคการขนส่งในปริมาณที่สูง ดังนั้น การวิจัยเพื่อหาพลังงานทางเลือกทดแทนน้ำมันดีเซลจึงเป็นเรื่องที่ต้องทำอย่างเร่งด่วนและต้องทำอย่างต่อเนื่อง ไบโอดีเซลจึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางของพลังงานทดแทน

ไบโอดีเซล เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำมันจากพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ มาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Trans-esterification process) ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันหรือไขมันให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (Monoalkyl ester) โดยการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูงเพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบเอสเทอร์และได้กลีเซอริน เป็นผลพลอยได้ (By product)

สบู่ดำ (รูปที่ 1) เป็นพืชที่สามารถนำมาสกัดน้ำมันและใช้น้ำมันสำหรับการผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ เนื่องจากมีน้ำมันในส่วนของเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันที่สกัดได้จะมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล



รูปที่ 1 ไบ ดอก เมล็ด กาก และน้ำมันสบู่ดำ

โครงการวิจัยนี้มุ่งพัฒนาและปรับปรุงวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำเพื่อนำไปสังเคราะห์เป็นไบโอดีเซล โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ทั้งนี้เพื่อให้ได้ร้อยละผลผลิตของน้ำมันที่สูงและให้ได้อัลคิลเอสเทอร์ในปริมาณที่สูง

### วิธีการทดลอง

#### 1. วิเคราะห์ลักษณะกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ

##### 1.1 ความชื้น

อบ Crucible และ ฝาปิด ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นใน Desiccators แล้วนำมาหาค่าน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งตัวอย่างใส่ลงใน Crucible แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (อบโดยไม่ต้องปิดฝา Crucible) จากนั้นนำมาชั่งบนตีกน้ำหนักที่แน่นอนและคำนวณหาความชื้น

##### 1.2 ปริมาณเถ้า

อบ Crucible และ ฝาปิดที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นใน Desiccators แล้วนำมาหาค่าน้ำหนักที่แน่นอน ชั่งตัวอย่าง (บนตีกน้ำหนักที่แน่นอน) ใส่ลงใน Crucible จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (เผาสารโดยไม่ต้องปิดฝา Crucible) หลังจากนั้นนำมาชั่ง บนตีกน้ำหนักที่แน่นอน และคำนวณหาปริมาณเถ้า

#### 2. การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำและการเตรียมไบโอดีเซลโดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

##### 2.1 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ

นำเมล็ดสบู่ดำไปตากให้แห้ง จากนั้นนำมากะเทาะเปลือกออก แล้วนำเนื้อด้านใน (สีขาว) ไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำเมล็ดที่อบมาบดหยาบๆ แล้วนำไปสกัดด้วย hexane โดยศึกษาเวลาของการสกัด (ใช้วิธีการแช่) เป็นเวลา 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 วัน จากนั้นทำการกรองและนำสารละลายที่ได้ มาระเหยภายใต้ภาวะความดันต่ำ จะได้น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ทำการกำจัดน้ำและคำนวณร้อยละน้ำมันที่สกัดได้

##### 2.2 การเตรียมไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

นำน้ำมัน 50 g ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้สารละลายผสมระหว่าง KOH, NaOH และ MeOH ที่อุณหภูมิ 30 °C โดยศึกษาอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0:0.75 , 0.25 :0.5 และ 0.3:0.45 ใช้ MeOH 8.25 g ทำการผสม

น้ำมันและสารละลายเข้าด้วยกัน คนอย่างช้าๆ เป็นเวลา 30 นาที นำสารละลายใส่ในกรวยแยก ปล่อยให้แยกชั้นเป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง จะเกิดการแยกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้น glycerol (ชั้นล่าง) และชั้น organic (ชั้นบน) นำชั้นที่เป็น esters มาล้างด้วยน้ำอุ่น (50 °C) 3 ครั้ง ครั้งละ 50 mL จากนั้นแยกชั้นที่เป็นสบู่ และ glycerol ออก และทำการกำจัดน้ำ โดยเติม Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhydrous สุดท้ายจะได้ Methyl ester ที่บริสุทธิ์

#### 3. การวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้โดยเทคนิคทางเคมี

นำเมทิลเอสเทอร์ที่เตรียมได้จากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำไปวิเคราะห์โดยเทคนิค FT-IR เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพและปริมาณ โดยใช้เทคนิค GC-MS

#### ผลการทดลองและอภิปรายผล

##### 1. ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ

| ส่วนของสบู่ดำ | % ความชื้น | % เถ้า |
|---------------|------------|--------|
| เปลือกสบู่ดำ  | 8.72       | 7.79   |
| เนื้อสบู่ดำ   | 4.04       | 4.10   |

##### 2. การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำและการเตรียมไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ระยะเวลาการสกัดนาน 7 วัน จะได้ผลผลิตร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดสบู่ดำสูงที่สุดเท่ากับ 98.71 % และสภาวะที่ให้ผลผลิตร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุดคือที่อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH และ KOH เท่ากับ 0.25:0.5 โดยใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 30 °C กวนหรือคนอย่างช้าๆ 30 นาที



รูปที่ 2 น้ำมันสบู่ดำและเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้

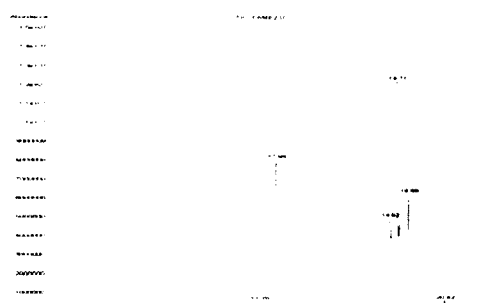


### 3. ผลการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิคทางเคมี

จากการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยเทคนิค FT-IR และจากการยืนยันผล โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS พบว่า ในระหว่างกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ NaOH และ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 °C จะมีเอสเทอร์เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจริง (รูปที่ 3 และ 4)



รูปที่ 3 IR spectrum น้ำมันไบโอดีเซลหลังจากการผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน



รูปที่ 4 GC Chromatogram ของน้ำมันไบโอดีเซลหลังผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

#### สรุปผลการทดลอง

การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำเพื่อใช้สังเคราะห์ไบโอดีเซล โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เริ่มจากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ โดยทำการหาปริมาณความชื้นและปริมาณแฉะ หลังจากนั้นทำการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดสบู่ดำ ด้วยการใช้ตัวทำละลาย hexane แล้วนำน้ำมันที่ได้มาเป็นสารตั้งต้นในการเตรียมไบโอดีเซล โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้หาสภาวะที่เหมาะสม

ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ และได้ทำการศึกษาคูณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ พบความชื้นในส่วนของเปลือกและเนื้อสบู่ดำมีค่าเท่ากับ 8.72 % และ 4.04 % ตามลำดับ ปริมาณแฉะในส่วนของเปลือกและเนื้อสบู่ดำมีค่าเท่ากับ 7.79 % และ 4.10 % ตามลำดับ การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำและการผลิตไบโอดีเซลโดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่า เวลาที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันทำได้โดย แฉะเนื้อเมล็ดสบู่ดำใน hexane เป็นเวลา 7 วัน วิธีการสกัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ให้ค่าร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้สูงถึง 98.71 % และสภาวะที่ให้ผลผลิตร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด คือที่อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH:KOH เท่ากับ 0.25: 0.5 ใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอล (50 g : 8.25 g) ทำการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ 30°C กวนหรือคนสารละลายขณะทำปฏิกิริยานาน 30 นาที วิธีนี้ให้ผลผลิตไบโอดีเซลในรูปของสารประกอบเมทิลเอสเทอร์มีค่าสูงถึงร้อยละ 73.80

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. เฉลิมพร ทองพูน ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษาและคอยให้การดูแลช่วยเหลือ แก้ไขปัญหา และข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้น งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ คุณย่อน มากดี ผู้ประกอบการ (วิสาหกิจชุมชนบ้านหนองแห้ว ตำบลเนินเพิ่ม อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก) ที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดสบู่ดำในการทำโครงการวิจัยในครั้งนี้ และ ขอขอบคุณเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ร่วมกับสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม ภายใต้โครงการโครงการวิจัยและพัฒนาวิสาหกิจสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี (EnPUS) ประจำปี 2550

### เอกสารอ้างอิง

เกษณี ศรีนามล(2549)การพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกรณในท่อทองแดงงานวิจัยเพื่อปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปัญญา เผ่าจำเริญ **พืชเศรษฐกิจพันธุ์ใหม่ น้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์ดีเซล** สำนักพิมพ์ วี.ที.เอส. พิมพ์ที่บริษัท ก.พล การพิมพ์จำกัด

วสันต์ ท้าวสูงเนิน **สบู่ดำพลังงานทดแทน น้ำมันดีเซล** สำนักพิมพ์ วี.ที.เอส. พิมพ์ที่บริษัท ก.พล การพิมพ์จำกัด

คณะกรรมการพลังงานสภาผู้แทนราษฎร, **พลังงานทดแทน : เอทานอลและไบโอดีเซล** หนังสือเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเนื่องในวโรกาสวันเฉลิมพระชนมพรรษา 5 ธันวาคม 2545

สุภาษิต ชุกกลิ่น (2547) การผลิตไบโอดีเซลจาก **น้ำมันเมล็ดยางพารา** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์ **การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว** มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Fangrui , M and A.H. Milford. (1999). **Biodiesel production : a review.** Bioresource Technology 70:1-15

Fukuda, H., A. kondo and H. noda. (2001) . **Biodiesel fuel production by transesterification of oils.** J. of Bioscience and Bioengineering 92: 405-416

Shah S., Aparna S., M.N.Gupta (2004) **Extraction of oil from Jatropha curcas L. seed kernels by enzyme assisted three phasa partitioning.** Industrial Crops and Products 20:275-279. (2005)

Shah S., Aparna S., M.N. Gupta **Extraction of oil from Jatropha curcas L. seed kernels by combination of ultrasonication and aqueous enzymatic oil extraction.** Bioresource Technology 96:121-123.(2005)

H. Nouredini and D. Zhu, **J. American oil Chemists Society** 1997, 74, 11, 1457.

G.M. Gubitzi, Mittelbach. M., Trabi M. **Exploitation of the tropical oil seed plant Jatropha curcas L.** Bioresource Technology 67:73 – 82 (1999)

Frohlich A., Rice B. **Evaluation of camelina sativa oil as a feedstock for biodiesel production.** Industrial Crops and Products 21:25 – 31 (2005)

Crabbe E., Hipolito C.N., Kobayashi G., Sonomoto K., Jshizaki A. **Biodiesel production from crude palm oil and evaluation of butanol extraction and fuel properties.** Process Biochemistry 37: 65-71 (2001)

Shah S., Munishwar N., Gupta. **Lipase catalyzed preparation of biodiesel from Jatropha oil in a solvent free system.** Process Biochemistry 42 : 409 – 414 (2007)

Kaushik N., Kumer S., Kaushik N., Roy S. **Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of Jatropha (Jatropha curcas L.) accessions.** Biomass and Bioenergy 31 : 497 – 502 (2007)