

## บทที่ 1

### บทนำ

#### บทนำต้นเรื่อง

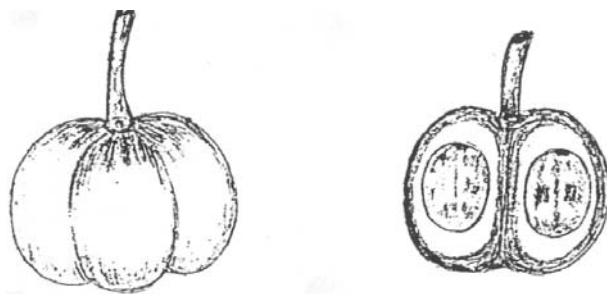
ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพาราประมาณ 9.7 ล้านไร่ และพื้นที่ 1 ไร่ สามารถปลูกต้นยางได้ 76 – 80 ต้น ในแต่ละปียางพารา 1 ไร่ จะให้เมล็ดยางพาราประมาณ 50 กิโลกรัม ซึ่งเมื่อคำนวณกับพื้นที่ปลูกยางในปี พ.ศ. 2542 ประเทศไทยจะมีผลผลิตเมล็ดยางพาราประมาณ 484 ล้านกิโลกรัม ที่ถูกปล่อยให้เน่าสลายไปในสวนยาง จะมีการนำมาสกัดน้ำมันหรือใช้ผลิตเป็นต้นกล้าประมาณ 1 ล้านกิโลกรัม (ยุทธนา ศิริวัชรนนกุล และ กำชัย ตันติกาพงศ์, 2545)

น้ำมันเมล็ดยางพารา (rubber seed oil) เป็นน้ำมันซึ่งได้จากเมล็ดยางพาราพวกฮีเวียบราซิลเลียนซิส (*Hevea brasiliensis*) น้ำมันเมล็ดยางพาราเป็นน้ำมันพืชที่ไม่เหมาะในการใช้บริโภค เนื่องจากมีเฮนไซม์ 2 ชนิด คือ cyanogenetic glucoside และ lipolytic enzyme ทำให้น้ำมันมีปริมาณกรดเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเก็บไว้นานคุณภาพของน้ำมันไม่คงที่ แต่ถ้าหากนำน้ำมันเมล็ดยางพารามาทำให้บริสุทธิ์ (refining oil) อาจจะนำน้ำมันมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม เช่น ทำน้ำมันผสมสี หรือใช้กับเครื่องยนต์ (องอาจ แสงรุ่ง, 2530) และน้ำมันเมล็ดยางพาราเป็นสารประกอบที่มีความร้อนค่อนข้างสูงสามารถใช้ประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้ โดยได้มีการนำน้ำมันเมล็ดยางพาราทดลองใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง แต่เนื่องจากน้ำมันเมล็ดยางพารามีความหนืดและปริมาณยางเหนียวสูง การนำมาใช้กับเครื่องยนต์มีผลทำให้เกิดการอุดตันของหัวฉีด รวมทั้งมีเขม่าและยางเหนียวเกาะติดลูกสูบมาก ดังนั้นการนำน้ำมันเมล็ดยางพาราผลิตเป็นไบโอดีเซลด้วยกระบวนการ transesterification ทำให้น้ำมันที่ได้ขนาดโมเลกุลลดลงเหลือ 1 ใน 3 เป็นผลให้ความหนืดน้ำมันลดลงอย่างมาก และลดลงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลเกือบทุกอุณหภูมิ การฉีดให้เป็นละอองเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้ดีกว่าน้ำมันพืช (Ikwaagwu *et al.*, 2000) เพื่อไม่ให้ชาวสวนยางทิ้งเมล็ดยางสูญเปล่าจึงได้ศึกษาถึงการนำเอาเมล็ดยางพาราซึ่งเป็นผลพลอยได้จากสวนยางให้เกิดประโยชน์โดยการนำน้ำมันจากเมล็ดยางพารามาผลิตเป็นไบโอดีเซล ซึ่งจะเป็นแนวทางเลือกหนึ่งสำหรับการผลิตพลังงานทดแทนที่ได้จากวัตถุดิบในท้องถิ่นและช่วยให้เศรษฐกิจของชาวสวนยางดีขึ้น

## ตรวจเอกสาร

### 1. ลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบของเมล็ดยางพารา

ยางพาราเป็นพืชที่มีผลและเมล็ดเพื่อขยายพันธุ์เหมือนพืชชนิดอื่นๆ ตามฤดูกาล ถ้าหากว่าต้นยางพารามีดอกและผสมเกสรแล้ว 3 – 4 เดือน จะให้ผลและมีเมล็ดร่วง 2 ช่วง คือ ประมาณเดือนกรกฎาคม ถึง สิงหาคม และประมาณเดือน กุมภาพันธ์ ถึง มีนาคม ผลมีขนาดโต 4.5 – 6 เซนติเมตร ผลหนึ่งมี 3 เมล็ด แต่ละเมล็ดมีรูปร่างกลมรี สีน้ำตาล ขนาด 2.0 – 2.5 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 3 – 4 กรัม เปลือกในเป็นเยื่อบางๆ สีขาว เนื้อในมีลักษณะนุ่ม สีเหลืองอ่อนดังรูปที่ 1

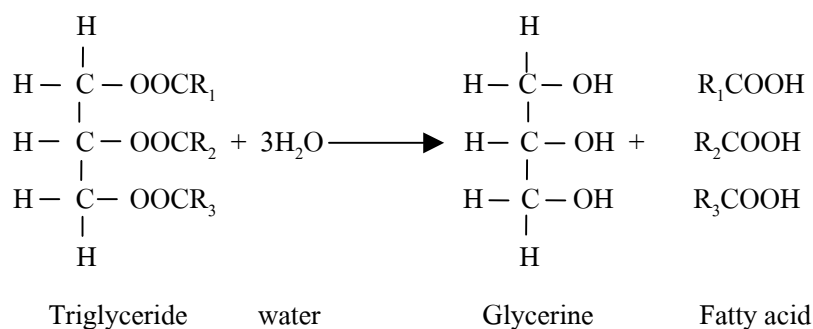


รูปที่ 1 ลักษณะผลเมล็ดยางพารา

ที่มา : องอาจ แสงรุ่ง (2530)

### 2. น้ำมันเมล็ดยางพารา (rubber seed oil)

น้ำมันเมล็ดยางพาราเป็นน้ำมันพืชชนิดหนึ่งที่มีสมบัติเป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำเกิดจากเอสเทอร์ระหว่างกรดไขมันกับกลีเซอริน (glycerine) ที่เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) เวลาเกิดไฮโดรไลซิส (hydrolysis) จะได้กลีเซอรินและกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ปฏิบัติดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรไลซิส  
ที่มา : องอาจ แสงรุ่ง (2530)

น้ำมันเมล็ดขางพารามีสีเหลืองอ่อน กลิ่นคล้ายน้ำมันลินซีด (linseed oil) ถ้าหยดให้บางๆ แล้ววางทิ้งไว้จะแห้งซึ่งมีสมบัติเป็นน้ำมันประเภทกึ่งแห้ง (semi-drying oil) ดังนั้นจึงมีประโยชน์ในการนำไปทำน้ำมันผสมสีหรือน้ำมันชักเงาได้ (องอาจ แสงรุ่ง, 2530) น้ำมันเมล็ดขางพารามีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพดังแสดงในตารางที่ 1

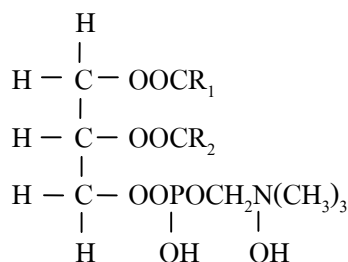
ตารางที่ 1 คุณสมบัติน้ำมันเมล็ดขางพารา

คุณสมบัติ	น้ำมันดิบ	น้ำมันบริสุทธิ์	หน่วย
1. สถานะทางกายภาพที่ 30 องศาเซลเซียส	ของเหลว	ของเหลว	-
2. สี	เหลืองทอง	เหลืองทอง	-
3. ความถ่วงจำเพาะที่ 30 องศาเซลเซียส	0.922	0.918	-
4. ความหนืดที่ 30 องศาเซลเซียส	41.24	37.85	Centistokes
5. จุดวาบไฟ	294	290	°C
6. ค่าความเป็นกรด	4.0	1.0	mg KOH/g oil
7. กรดไขมันอิสระ (โอเลอิก)	2.0	0.5	%
8. ค่าเปอร์ออกไซด์	2.5	1.0	-
9. ค่าไอโอดีน	142.6	142.6	g Iodine/100 g

ที่มา : Ikwaugwu *et al.*, (2000)

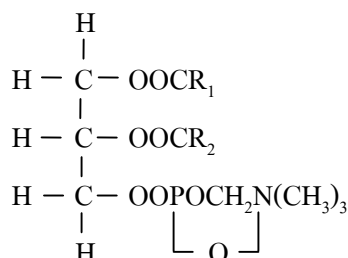
องค์ประกอบของน้ำมันเป็นสารประกอบพวกกลีเซอไรด์และนอนกลีเซอไรด์ ส่วนใหญ่น้ำมันเป็นสารประกอบกลีเซอไรด์จำแนกส่วนประกอบได้ดังนี้

1. น้ำมัน (triglyceride)
2. สารประกอบโมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) และ ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride)
3. กรดไขมันอิสระแบ่งออกเป็น กรดไขมันอิ่มตัว ได้แก่ myristic, palmitic, stearic, arachidic, behenic และ lignoceric ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ palmitoleic, oleic, linoleic, linolenic, และ arachidonic
4. ฟอสฟาไทด์ (phosphatides) มีลักษณะเหนียว เรียกว่า ยางเหนียว (gum) ในน้ำมันดิบ (crude oil) ฟอสฟาไทด์ที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด คือ lecithin และ cephalin สำหรับ lecithin เป็นสารที่ละลายในแอลกอฮอล์ เป็นสาร optically active และเป็นเอสเทอร์ของ glycerophosphoric acid มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้าง Lecithin  
ที่มา : องอาจ แสงรุ่ง (2530)

ส่วน cephalin เป็นการรวมกันของพันธะที่เป็นเอสเทอร์กับ endo salt ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้าง Cephalin  
ที่มา : องอาจ แสงรุ่ง (2530)

5. สเตอรอล (sterol) ในพืชเรียกว่า ฟิตอสเตอรอล (phytosterol) เป็นของผสมของสเตอรอลหลายชนิด เช่น น้ำมันที่ผลิตจากเมล็ดฝ้ายจะมี sitosterol มากส่วนน้ำมันที่ผลิตจากถั่วเหลืองจะมี stigmasterol มาก

6. แอลกอฮอล์ไขมัน (fatty alcohol) เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ ตัวอื่นที่ไม่ใช่กลีเซอริน เรียกว่า ขี้ผึ้ง (waxes) เป็นสารประกอบที่มาจากเปลือกของเมล็ดส่วนใหญ่ขี้ผึ้งในน้ำมันมีน้อยกว่าร้อยละ 0.005

7. วิตามิน (vitamin) ได้แก่ A, D และ E

8. เม็ดสี (pigments) เป็นสารที่ก่อให้เกิดสีในน้ำมันพืชที่สำคัญเป็นสารพวก carotenoid ได้แก่  $\alpha$  - carotenoid,  $\beta$  - carotenoid และ  $\gamma$  - carotenoid เหล่านี้ทำให้น้ำมันมีสีเหลืองจนถึงสีแดง จะถูกดูดซับได้ด้วย activated clay หรือ activated carbon เช่น น้ำมันเมล็ดฝ้าย pigment ที่ทำให้เกิดสีคือ gossypol น้ำมันถั่วเหลืองหรือน้ำมันที่มีสีเขียวมักจะมีเม็ดสีที่เรียกว่า chlorophyll (องอาจ แสงรุ่ง, 2530)

### 3. การสกัดน้ำมัน

การสกัดน้ำมัน แบ่งออกได้เป็น 3 วิธี

**3.1 การบีบน้ำมันจากเมล็ดพืช** เป็นวิธีการผลิตที่ใช้เครื่องจักรบีบเอาน้ำมันออกจากเมล็ดโดยตรง ลักษณะการบีบแบ่งได้เป็น

3.1.1 การใช้เครื่องบีบแบบเกลียวอัด (expeller หรือ screw press) เป็นกระบวนการที่ต้องการกระทำต่อเนื่องตั้งแต่ขั้นตอนการบีบเมล็ดพืชให้แตกจนอัดน้ำมันออกมา กากที่ได้จากการอัดจะมีน้ำมันเหลืออยู่เพียงร้อยละ 3 – 9 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วของการหมุนสกรู ถ้าสกรูหมุนเร็วมากจะอัดเมล็ดพืชได้ปริมาณมาก แต่จะมีน้ำมันหลงเหลืออยู่ในกากมากตามไปด้วย

3.1.2 การใช้เครื่องบีบแบบไฮดรอลิก (hydraulic press) วิธีนี้ใช้แรงงานมากในการป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องจักรตามขั้นตอนการบีบครั้งหนึ่งต้องเอากากออกทีหนึ่งซึ่งเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง

**3.2 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย (solvent extraction)** นับเป็นวิธีที่ทันสมัยที่สุดและมีประสิทธิภาพสูง การสกัดน้ำมันโดยวิธีนี้ใช้เคมีภัณฑ์จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น เฮกเซน ปิโตรเลียมอีเทอร์ ซึ่งมีประสิทธิภาพ ในการสกัดโดยตัวทำละลายมีหลายวิธีด้วยกัน คือ

3.2.1 แบบแช่ (immersion) เป็นการสกัดโดยนำเมล็ดพืชที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบแล้วแช่ในตัวทำละลายตามระยะเวลาที่กำหนด เมื่อน้ำมันถูกสกัดออกมาจะผสมอยู่กับตัวทำละลาย หลังจากนั้นก็ใช้ความร้อนทำให้ตัวทำละลายระเหยเหลือแต่น้ำมันดิบออกมา

3.2.2 แบบผสมระหว่างการแช่และการซึมผ่าน (immersion percolation) คือ การพ่นตัวทำละลายแล้วทิ้งให้เมล็ดพืชแช่อยู่ในตัวทำละลายตามกำหนดเวลา แล้วจึงแยกน้ำมันดิบออกมาด้วยวิธีระเหยโดยใช้ความร้อน

3.3 การสกัดโดยใช้เครื่องบีบและตัวทำละลาย (prepress – solvent extraction) เป็นการสกัดน้ำมันด้วยเครื่องบีบแล้วนำกากที่เหลือไปสกัดด้วยตัวทำละลายเพื่อเก็บน้ำมันที่เหลืออยู่กับกากปกติใช้พืชที่มีน้ำมันในปริมาณสูง

#### 4. ประสิทธิภาพของการสกัดด้วยตัวทำละลาย

ในการสกัดน้ำมันจะมีประสิทธิภาพสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

4.1. ปริมาณของตัวทำละลาย ถ้ามีปริมาณมากย่อมสกัดน้ำมันออกมาได้มากและเหลือน้ำมันอยู่ในกากน้อย แต่อย่างไรก็ตามถ้าใช้ในปริมาณมากก็ต้องใช้เวลาตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในการแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมันมากและปริมาณการสูญเสียตัวทำละลายเนื่องจากการระเหยออกมาย่อมสูงด้วย

4.2. ชนิดของตัวทำละลาย มีหลายชนิดแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปหลักในการเลือกชนิดของตัวทำละลายมีดังนี้ คือ

- 4.2.1 จะต้องละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี
- 4.2.2 ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด
- 4.2.3 ไม่ละลายสิ่งเจือปนหรือสารที่ไม่ต้องการ
- 4.2.4 เมื่อสกัดแล้วควรแยกออกจากสารที่ถูกสกัดได้ง่าย
- 4.2.5 ไม่เป็นพิษและไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อน
- 4.2.6 ราคาถูกและหาได้ง่าย

นอกจากนี้การเลือกใช้ต้องให้เหมาะสมกับชนิดของเมล็ดพืช โดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้น้ำมันอะโรมาติกเพราะมีความเหมาะสมหลายประการ

4.3. อุณหภูมิในการสกัด ได้มีการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพของการสกัดด้วยตัวทำละลายในเมล็ดพืชบางชนิด เช่น เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน พวักนัท และ

เรพซิด พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของตัวทำละลายแล้วประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมันจะดี โดยอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เหมาะกับเมล็ดพืชเกือบทุกชนิด

4.4. ขนาดและความหนาของแผ่นเมล็ดพืช การบีบเมล็ดพืชให้แตกและอัดเป็นแผ่นจะทำให้ตัวทำละลายแทรกซึมไปสัมผัสได้อย่างทั่วถึง หากเมล็ดพืชถูกอัดให้เป็นแผ่นแน่นจนเกินไปจะเป็นอุปสรรคต่อการเข้าถึงของตัวทำละลาย

4.5. ความชื้นของเมล็ดพืชและตัวทำละลาย ปกติความชื้นของเมล็ดพืชไม่ควรเกินร้อยละ 10 และตัวทำละลายต้องไม่มีน้ำผสมอยู่

4.6. เวลาที่ใช้ในการสกัด ต้องใช้เวลาในการสกัดนานพอสมควรการสกัดจึงจะได้ผล จากการทดลองพวกเมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน พวกนี้ พบว่า ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มากที่สุดในช่วง 30 นาที แรก ส่วนน้ำมันรำข้าวจะสกัดได้ในระหว่าง 15 – 20 นาทีแรก เมื่อใช้เวลาในการสกัดมากขึ้น ปริมาณน้ำมันจะค่อนข้างคงที่ค่าหนึ่ง และเมื่อทำการสกัดน้ำมันไปเรื่อยๆ พบว่า ปริมาณน้ำมันจะค่อยลดลงจนกระทั่งเหลือปริมาณน้ำมันร้อยละ 1 ของน้ำมันเริ่มต้น (วิไล คุณูปการ, 2528)

## 5. การแยกสารแขวนลอยออกจากร้ำมัน

น้ำมันที่ได้จากการบีบหรือการสกัดด้วยตัวทำละลายแล้ว เรียกว่า น้ำมันดิบ (crude oil) จะต้องนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (refining) เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ในน้ำมันดิบและดำเนินการเสื่อมคุณภาพระหว่างการเก็บ สิ่งเจือปนต่างๆ ในน้ำมันแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

5.1. อนุภาคที่ไม่ละลายในไขมัน (fat – insoluble particle) ได้แก่ เศษเนื้อเยื่อ เศษเปลือกของเมล็ดและเศษผงฝุ่น เป็นต้น สามารถกำจัดได้โดย

5.1.1 การตกตะกอน (sedimentation) เพื่อให้สิ่งเจือปนที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันตกตะกอนลงมา ใช้เวลามากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคนั้นๆ

5.1.2 การกรอง (filtration) เป็นวิธีแยกของแข็งออกจากของเหลว อนุภาคที่ไม่ละลาย เรียกว่า precipitate ส่วนของเหลวที่ผ่านการกรอง เรียกว่า filtrate

5.1.3 การแยกด้วยแรงเหวี่ยง (centrifuge) ใช้หลักการหมุนด้วยแรงเหวี่ยงที่ความเร็วรอบสูง น้ำมันและอนุภาคที่อยู่ในน้ำมันจะถูกแยกออกโดยอาศัยความหนาแน่นที่ต่างกัน

**5.2. สารแขวนลอย (colloidal suspension)** เช่น ฟอสฟาไทด์ที่ละลายน้ำ (soluble gum) คาร์โบไฮเดรต (น้ำตาล) และสารประกอบไนโตรเจน (โปรตีน) เป็นต้น กำจัดออกโดยวิธี degumming ใช้หลักการทำให้สารแขวนลอยรวมตัวกันตกตะกอนเป็นลักษณะการรวมตัวกัน (coagulation) ทำได้หลายวิธี เช่น

5.2.1 การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง (240 – 280 องศาเซลเซียส)

5.2.2 ใช้ไอน้ำหรือน้ำร้อนเพื่อเปลี่ยนสภาพของสารแขวนลอยจาก anhydrous เป็น hydrate form ซึ่งมีลักษณะคล้ายวุ้น มีความถ่วงจำเพาะสูง

5.2.3 การเติมสารเคมีลงไปทำปฏิกิริยาเคมีให้ตกตะกอน เช่น กรดฟอสฟอริก กรดซิตริก เป็นต้น

**5.3. สารประกอบที่ละลายในไขมัน (fat-soluble compounds)** ได้แก่ ฟอสฟาไทด์ที่ละลายในไขมัน (soluble gum) กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ สารประกอบอัลดีไฮด์ สเตอรอล และจีสต์ เป็นต้น

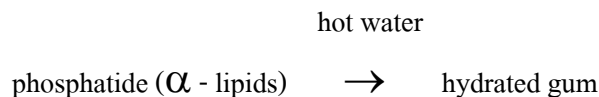
## 6. กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์

การทำน้ำมันพืชจากน้ำมันดิบจนเป็นน้ำมันบริสุทธิ์สำเร็จรูปเพื่อมุ่งใช้ประโยชน์ได้ดีที่สุด และต้านทานการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันจะต้องผ่านกระบวนการต่างๆ โดยใช้หลักการเดียวกับวิธีที่ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันพืชทั่วไป แบ่งออกเป็นดังนี้

**6.1 กระบวนการกำจัดยางเหนียว (degumming)** น้ำมันดิบจากพืชมีสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุฟอสฟอรัส มีลักษณะเป็นยางเหนียว (gum) รวมอยู่ด้วยที่เรียกว่า ฟอสฟาไทด์ (phosphatide) ได้แก่ lecithin และ cephalin ทำให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพในการเก็บรักษาหรือเมื่อถูกความร้อนจะเกิดยางเหนียวติดภาชนะและทำให้น้ำมันเสียเร็ว การกำจัดยางเหนียวมีหลักการให้ยางเหนียวรวมตัวตกตะกอนโดยใช้ความร้อนและสารเคมีต่างๆ เช่น กรดฟอสฟอริก กรดซิตริก และอื่นๆ วิธีการกำจัดยางเหนียวแบ่งตามลักษณะของการเกิดปฏิกิริยามี 2 วิธี

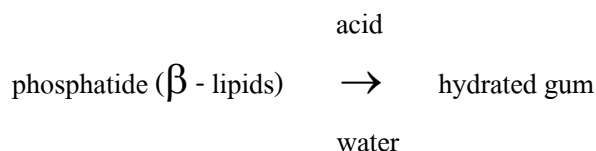
6.1.1 การใช้ความร้อนกำจัดยางเหนียว (hot water degumming) น้ำมันดิบมีฟอสฟาไทด์เป็นสารประกอบซึ่งมีลักษณะเป็นยางเหนียวทำโดยการเติมน้ำร้อนลงไปให้น้ำมันให้สารเหล่านี้เกิดสภาพไฮเดรต (hydrated form) ทำให้มีสมบัติที่ไม่ละลายในน้ำมันและมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำมัน ดังนั้นสามารถแยกออกจากน้ำมันได้ด้วยการเหวี่ยงหรือตกตะกอน การที่ใช้ความร้อนเพราะว่าเกิดสภาพไฮเดรตของยางเหนียวได้ดีกว่าในน้ำเย็น ดังรูปที่ 5





รูปที่ 5 ปฏิกิริยาการเกิดไฮเดรตของยางเหนียวด้วยน้ำร้อน  
ที่มา : องอาจ แสงรุ่ง (2530)

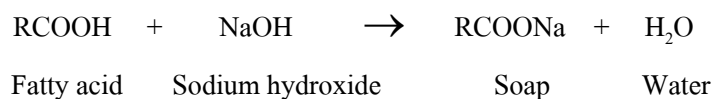
6.1.2 การใช้กรดกำจัดยางเหนียว (acid degumming) ยางเหนียวที่เป็นพวก non-hydrate จะไม่เกิดสภาพไฮเดรตกับน้ำร้อนจึงต้องใช้กรดช่วยทำปฏิกิริยาก่อนแล้วจึงเกิดสภาพไฮเดรต ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ปฏิกิริยาการเกิดไฮเดรตของยางเหนียวด้วยกรด  
ที่มา : องอาจ แสงรุ่ง (2530)

กรดทำหน้าที่ไปปรับสภาพให้เหมาะสมเพื่อให้ยางเหนียวจับกับน้ำและตกตะกอนออกมาได้ นอกจากนี้กรดยังช่วยดึงโลหะหนักที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้น้ำมันหมื่นหื่นตกตะกอนด้วยการกำจัดยางเหนียวด้วยกรดมีความจำเป็นมาก ถ้าไม่แยกยางเหนียวออกจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันในกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระมาก เนื่องจากเกิดอิมัลชัน (emulsion)

6.2 กระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ (neutralizing) น้ำมันดิบมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันหลงเหลืออยู่ในสภาพอิสระ (free fatty acid) กรดไขมันอิสระเป็นตัวการสำคัญในการทำให้น้ำมันหมื่นหื่นเก็บไว้ได้ไม่นาน เมื่อถูกความร้อนเกิดควันมากทำให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพเร็วและมีสีคล้ำเพราะกรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ง่าย การเกิดขึ้นของกลิ่นนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันนั้นว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด กรณีที่มีกรดไขมันอิสระอยู่มากจะเกิดการหมื่นหื่นอย่างรวดเร็วดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดออก วิธีการกำจัดกรดไขมันอิสระในอุตสาหกรรมน้ำมันคือ การใช้สารละลายต่าง เนื่องจากวิธีนี้สามารถกำจัดกรดไขมันอิสระได้มากโดยการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสบู่ สมการการเกิดดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ปฏิกิริยาการกำจัดกรดไขมัน  
ที่มา : องอาจ แสงรุ่ง (2530)

**6.3 กระบวนการฟอกสี (bleaching)** เป็นกระบวนการแบบกึ่งเคมีฟิสิกส์ (semi – physical chemical) โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- เพื่อกำจัดสีในน้ำมันขึ้นกับชนิดของน้ำมันแต่ละชนิดซึ่งสีต่างกัน
- เพื่อกำจัดยางเหนียวและสารประกอบโลหะ เช่น เหล็ก และทองแดง นอกจากนี้  
นั้นช่วยลด ค่าเปอร์ออกไซด์อีกด้วย
- เพื่อกำจัดสบู่ที่ยังหลงเหลือจากกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยทำ  
ปฏิกิริยากับสบู่ให้เปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระ

การฟอกสีเป็นการลดสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำมันโดยอาศัยหลักการดูดซับเพื่อดึงเอาสาร  
ที่ก่อให้เกิดสีและสิ่งเจือปนต่างๆ ในน้ำมันได้ สารฟอกสีที่ใช้ (องอาจ แสงรุ่ง, 2530) ได้แก่

- carbon black
- activated clay
- magnesium silicate

## 7. ไบโอดีเซล (biodiesel)

ไบโอดีเซล คือ น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์แปรรูปเป็นอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันซึ่งได้  
จากกระบวนการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ระหว่างสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่  
คาร์บอนสั้นๆ

ไบโอดีเซลโดยทั่วไป มีองค์ประกอบที่มีลักษณะโมเลกุลใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล  
ปิโตรเลียมซึ่งสามารถผลิตและพัฒนาได้จากไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชและสัตว์ แต่โดยส่วน  
ใหญ่แล้วจะมุ่งไปที่เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์  
โดยใช้ไตรกลีเซอไรด์ในไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์กับเมทานอลมากที่สุด

## 7.1 วิธีการนำน้ำมันพืชมาใช้แทนน้ำมันดีเซล

### 7.1.1 การใช้น้ำมันพืชเสมือนเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลโดยตรง

การใช้ไขมันและน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์เป็นแหล่งทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลโดยตรงมักจะใช้น้ำมันพืชเท่านั้น เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สัมพันธ์กับการเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ดีและเหมาะสมกว่าไขมันสัตว์ มีประสิทธิภาพการใช้งานทดแทนสูงกว่า นอกจากนี้แล้วไขมันสัตว์มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าและมีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญในการนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล เพราะจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการเตรียมไขมันสัตว์สำหรับการใช้งานโดยตรง

### 7.1.2 การเจือจางหรือการผสมตามส่วน

การเจือจางหรือการผสมตามส่วนของน้ำมันพืชสามารถนำมาละลายเข้ากันได้อย่างบริบูรณ์ในวัตถุเหลวบางชนิดเท่านั้น เช่น น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน และแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอนสั้นๆ ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเจือจางของน้ำมันดอกทานตะวันโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเป็นตัวทำละลายในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 โดยปริมาตร และผ่านการทดสอบโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้สำเร็จ แต่สารผสมนี้ไม่เหมาะจะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลประเภท direct injection ในช่วงระยะเวลายาวเพราะว่าเกิดปัญหาเกี่ยวกับการเกิดโค้กที่ปลายกระบอกของระบบหัวฉีดอย่างรุนแรง

### 7.1.3 วิธีไมโครอิมัลชัน (microemulsion)

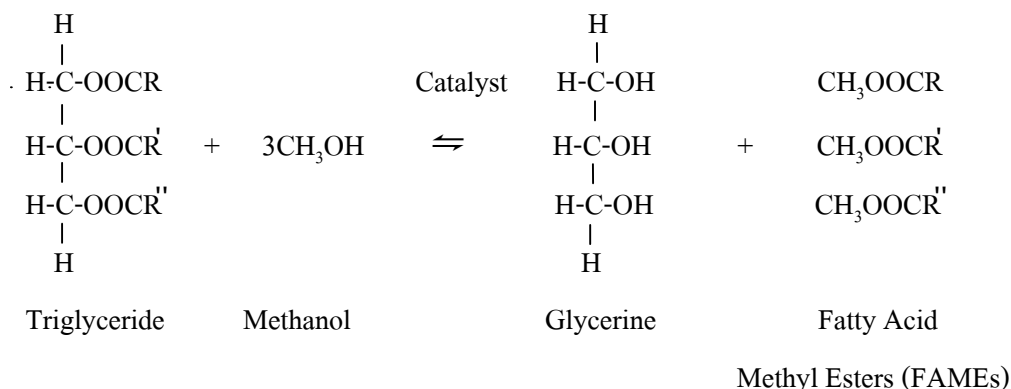
ไมโครอิมัลชันเป็นกระบวนการที่ทำให้ของเหลวมีสารแขวนลอยกระจายอยู่ เช่น การผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ ซึ่งจะมีสภาพเป็นอิมัลชันและเมื่อนำไปใช้สามารถฉีดให้เป็นฝอยได้

### 7.1.4 วิธีการแตกตัวด้วยความร้อน (thermal cracking)

วิธีการแตกตัวด้วยความร้อนเป็นการให้ความร้อนกับน้ำมันพืชในสถานะไรร้อนจนเกินไปให้น้ำมันแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลง ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมหรือใกล้เคียงสำหรับนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและโครงสร้างเนื่องจากความร้อนของไตรกลีเซอไรด์จะให้สารประกอบเคมีอินทรีย์หลายประเภท เช่น อัลเคน อัลคีน อัลคาไดอิน แอโรเมติก และกรดคาร์บอกซิลิก เป็นต้น

### 7.1.5 วิธีการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ (transesterification)

กระบวนการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์บางครั้งนิยม เรียกว่า แอลกอฮอล์ไลซิส หมายถึง ปฏิกิริยาเคมีระหว่างไตรกลีเซอไรด์ไขมันหรือน้ำมันกับแอลกอฮอล์เพื่อก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์อัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอริน กระบวนการนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่อปรับปรุงคุณภาพทางเชื้อเพลิงที่พัฒนาจากไตรกลีเซอไรด์ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะลดค่าความหนืดของเชื้อเพลิงลงในกระบวนการเคลื่อนย้ายเอสเทอร์ส่วนใหญ่จะใช้แอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอนสั้นในการทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะเมทานอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่มีข้อได้เปรียบในเชิงพาณิชย์สูง เช่น มีราคาถูก และมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เหมาะสม คือ เป็นแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่สั้นที่สุดและเป็นของเหลวมีจุดเดือดสูงซึ่งช่วยเพิ่มอัตราในการทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้มากที่สุด



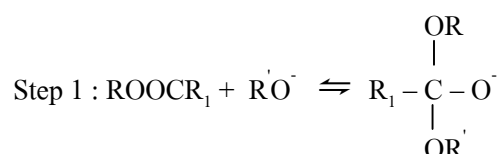
รูปที่ 8 ปฏิกิริยา Transesterification

ที่มา : Srivastava and Prasad (1999)

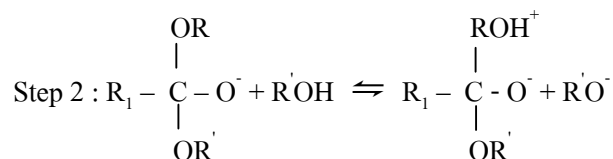
โดยทางทฤษฎีแล้วปริมาณสัมพันธ์ (stoichiometric) ของปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ที่บริบูรณ์ต้องประกอบด้วยอัตราส่วนเชิงโมลของสารตั้งต้น 3 ต่อ 1 ระหว่างแอลกอฮอล์ต่อกลีเซอไรด์ แต่ในทางปฏิบัติพบว่า ปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์สามารถผันกลับได้ ดังนั้นถ้าต้องการผลิตภัณฑ์อัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือน้ำมันดีเซลชีวภาพมากขึ้น ต้องเพิ่มจำนวน โมลแอลกอฮอล์มากขึ้นด้วยเพื่อขับเคลื่อนให้สภาวะสมดุลเคลื่อนเข้าใกล้ผลิตภัณฑ์มากที่สุด ปฏิกิริยาการเคลื่อนย้ายเอสเทอร์สามารถเพิ่มอัตราเร็วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาหลายชนิด เช่น เบส กรด หรือเอนไซม์ก็ได้ (วิภาวดี ปริพัฒน์ไพโรจน์, 2546)

## 7.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยา transesterification

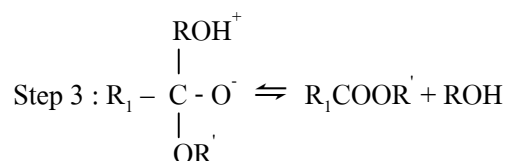
ปฏิกิริยา transesterification จะเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้โดยเปลี่ยนจากไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นไดกลีเซอไรด์ จากนั้นเปลี่ยนเป็นโมโนกลีเซอไรด์ และสุดท้ายก็คือกลีเซอริน ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยา transesterification เมื่อใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ก็คือ



หมู่คาร์บอนิลอะตอมจากโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับแอนไอออนของแอลกอฮอล์เกิดเป็น tetrahedral intermediate



tetrahedral intermediate ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์เกิดการได้คืนแอนไอออนของแอลกอฮอล์ (regenerate anion alcohol) และ tetrahedral intermediate ตัวใหม่



tetrahedral intermediate จากขั้นตอนที่ 2 แยกตัวเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับไดกลีเซอไรด์

R – OH : Diglyceride

R<sub>1</sub> : Long Chain Alkyl Group

R : Short Alkyl Group

(Ma and Hanna, 1999 quoting Sridharan and mathai, 1974 ; Eckey, 1956)

### 7.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยา transesterification

#### 7.3.1 ความชื้น (moisture) และกรดไขมันอิสระ (free fatty acid)

วัตถุดิบเริ่มต้นใช้ไตรกลีเซอไรด์ในการทำปฏิกิริยา transesterification ซึ่งมีค่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% หากค่าความเป็นกรดไขมันอิสระมากกว่า 1% จำเป็นต้องกำจัดกรดไขมันอิสระออกโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยาให้เป็นกลาง แต่ถ้าไม่กำจัดกรดไขมันอิสระออกจะทำให้เกิดสบู่ขึ้นซึ่งมีผลดังนี้

- มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นและลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา
- เพิ่มค่าความหนืดและเกิดเจล
- การแยกกลีเซอรินยากมากขึ้น

(Ma and Hanna, 1999 quoting Wright *et al.*, 1944)

Ma and Hanna (1999) อ้างจาก Ma และคณะ (1998) ศึกษาปัจจัยของกรดไขมันอิสระและน้ำจากปฏิกิริยา transesterification ด้วย beef tallow พบว่า ปริมาณน้ำใน beef tallow ควรที่จะต่ำกว่า 0.06% w/w และปริมาณกรดไขมันอิสระควรต่ำกว่า 0.5% w/w เพื่อที่จะให้การเกิดปฏิกิริยาดีที่สุด

#### 7.3.2 สัดส่วนเชิงโมล (molar ratio)

ปฏิกิริยา transesterification จะเป็นไปตามปริมาณสัมพัทธ์โดยใช้แอลกอฮอล์ 3 โมล ทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล เพื่อให้เกิดผลได้ คือ เอสเทอร์กรดไขมัน 3 โมล และกลีเซอริน 1 โมล สัดส่วนเชิงโมลจะขึ้นกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ เช่น ในกรณีถ้าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต้องใช้สัดส่วนบิวทานอลกับน้ำมันถั่วเหลือง 30 : 1 แต่ถ้าใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต้องใช้สัดส่วนบิวทานอลต่อน้ำมันถั่วเหลือง 6 : 1 ผลได้ของเอสเทอร์ก็ไม่แตกต่างกัน

(Ma and Hanna, 1999 quoting Freedman *et al.*, 1986)

Ma and Hanna (1999) อ้างจาก Nye and Southwell (1983) ศึกษาพบว่า ที่สัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 จะเกิดการเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ดีที่สุดแต่เมื่อปริมาณกรดไขมันในน้ำมันมากขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มสัดส่วนเชิงโมลเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 15 : 1 และใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

### 7.3.3 ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยา transesterification ประกอบด้วย

ก. ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมเมทอกไซด์ โพแทสเซียมเอไมด์ และ โพแทสเซียมไฮโดรด์

ข. ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด เช่น กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก และกรดไฮโดรคลอริก

ค. ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทอื่นเช่น โลเบส

ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่างในปฏิกิริยา transesterification จะเกิดเร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด (Ma and Hanna, 1999 quoting Freedman *et al.*, 1984) แต่ถ้าในน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณน้ำที่สูงตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดจะเหมาะสมกว่า (Ma and Hanna, 1999 quoting Sprules and Price, 1950 ; Freedman *et al.*, 1984)

### 7.3.4 เวลาการทำปฏิกิริยา (reaction time)

อัตราการเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้นกับเวลาทำปฏิกิริยา เช่น ปฏิกิริยา transesterification ของน้ำมันเมล็ดถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย เมล็ดดอกทานตะวัน และเมล็ดถั่วเหลืองโดยใช้สัดส่วนเมทานอลกับน้ำมัน 6 : 1 โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ 1% ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันดอกทานตะวันจะเกิดผลได้ 80% หลังจาก 1 นาที แต่หลังจาก 1 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันทั้ง 4 ชนิด จะเหมือนกัน ซึ่งมีค่า ผลได้ 93 – 98 % (Ma and Hanna, 1999 quoting Freedman *et al.*, 1984)

Ma and Hanna (1999) อ้างจาก Ma และคณะ (1998) ศึกษาปัจจัยเวลาการทำปฏิกิริยา transesterification จาก beef tallow ด้วยเมทานอล พบว่า ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นช้ามากในช่วงนาทีแรกเพื่อที่จะเกิดการผสมและละลายของเมทานอลเข้าไปใน beef tallow แต่หลังจากนาทีแรกผ่านไปถึง 5 นาที ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเร็วมากและจะเสร็จบริบูรณ์ภายใน 15 นาที ในช่วงการเริ่มต้นการเกิดปฏิกิริยาจะมีไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์อยู่สูงแล้วจะค่อยลดลงเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น จนถึงที่สุดกระบวนการจะมีปริมาณของโมโนกลีเซอไรด์อยู่เป็นปริมาณที่สูงกว่าไดกลีเซอไรด์

### 7.3.5 อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา ( reaction temperature)

ปฏิกิริยา transesterification จะใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดน้ำมันที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา เช่น เมทาโนไลซิสของน้ำมันละหุ่ง กับ methyl ricinoleate อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาจะเหมาะสมที่ 20 – 35 องศาเซลเซียส สัดส่วนเชิงโมล 6 : 1 – 12 : 1 ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.005 – 0.35 % โดยน้ำหนักน้ำมัน (Ma and Hanna, 1999 quoting Smith, 1949)

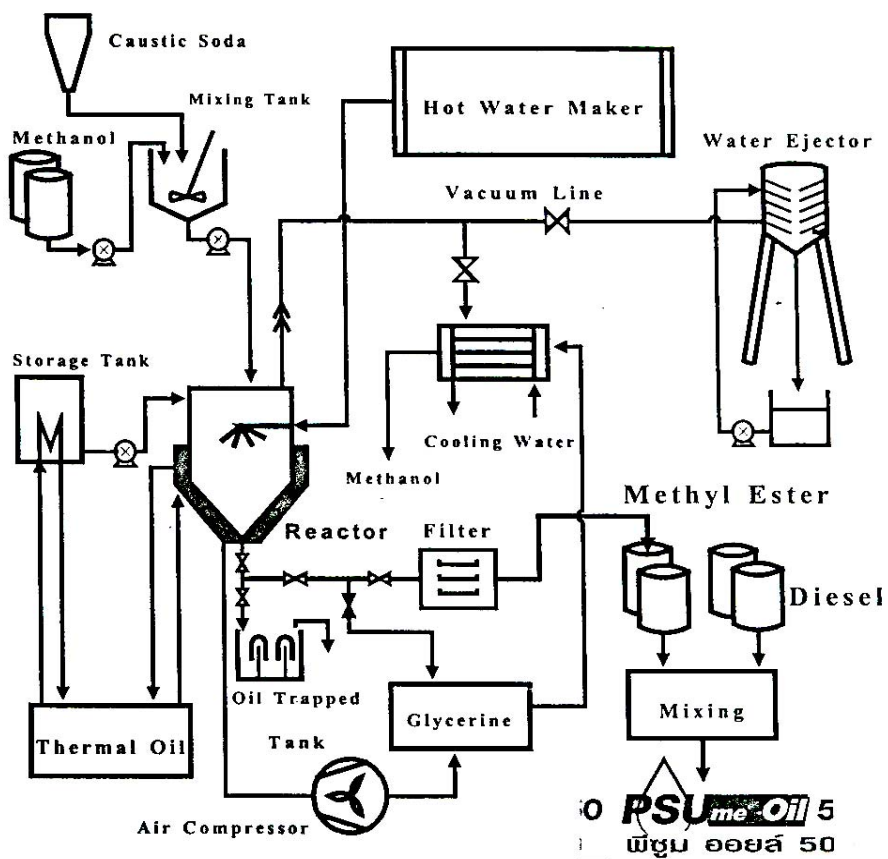
Ma and Hanna (1999) อ้างจาก Freedman และคณะ (1984) จากการศึกษาปฏิกิริยา transesterification ของน้ำมันถั่วเหลืองบริสุทธิ์กับเมทานอล (6 : 1) โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ 1% ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ คือ 32 45 และ 60 องศาเซลเซียส ผลได้ของเอสเทอร์เท่ากับ 64% 87% และ 94% ตามลำดับ

## 8. กระบวนการผลิตไบโอดีเซลระดับ Pilot Plant

### 8.1 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง

ชาคริต ทองอุไร และคณะ (2544) ทำการผลิตไบโอดีเซลจากผลิตผลปาล์มน้ำมัน ได้แก่ น้ำมันทอดใช้แล้ว น้ำมันปาล์มดิบเกรดบี (หีบสกัดแบบรวมน้ำมันเปลือกและน้ำมันเมล็ดใน) ที่ผ่านกระบวนการแยกยางเหนียวและลดกรด น้ำมันปาล์มรีไฟน์ ไชปาล์มสเตียรินทั้งชนิดปกติ (iodine value 38) และชนิด super hard (iodine value 26) กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์แสดง ดังรูปที่ 9





รูปที่ 9 กระบวนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง  
 ที่มา : ชาคริต ทองอุไร และคณะ (2544)

ขั้นตอนการผลิตมีดังนี้

### 8.1.1 การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะถูกเตรียมให้เหมาะสมก่อนเข้าทำปฏิกิริยา โดยหากเป็นน้ำมันปาล์มดิบจะต้องผ่านกระบวนการแยกยางเหนียวและลดกรดให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% ก่อน ส่วนวัตถุดิบจากน้ำมันที่ใช้ทอดแล้วจะถูกนำมาขจัดโปรตีนออกโดยการทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกและล้างด้วยน้ำ วัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% แล้ว จะถูกนำไปขจัดน้ำออกโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ประมาณ 20 นาที โดยมีการกวนเพื่อให้การระเหยของน้ำเป็นไปได้ทั่วถึงยิ่งขึ้น สำหรับไขปาล์มสเตียรินชนิด superhard ซึ่งผลิตที่โครงการส่งเสริมอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มขนาดเล็ก ได้ถูกขจัดน้ำออกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะสูญญากาศ 600 – 700 มิลลิเมตรปรอท

### 8.1.2 การเตรียมนสารละลายแอลกอฮอล์

ปฏิกิริยา transesterification จะใช้เมทิลแอลกอฮอล์หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเมทานอล เข้าทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ถูกเลือกใช้เพราะมีราคาถูก โดยเมทานอลต้องไม่มีน้ำเจือปนเกินกว่า 1% การเตรียมนสารละลายกระทำโดยการนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 – 5 ส่วน มาละลายในเมทานอล 100 ส่วนโดยน้ำหนัก ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เตรียมเป็นไปตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในวัตถุดิบ หากกรดไขมันอิสระมีปริมาณสูงก็ต้องใช้โซดาไฟในสัดส่วนที่สูงตามไปด้วย

### 8.1.3 การทำปฏิกิริยา

น้ำมันที่ถูกขจัดน้ำแล้วถูกทำให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเติมสารละลายแอลกอฮอล์ลงไปอย่างช้าๆ (เติมให้หมดภายใน 10 นาที) สัดส่วนน้ำมันต่อสารละลายแอลกอฮอล์โดยน้ำหนักเท่ากับ 5 ต่อ 1 ทำการกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างทั่วถึงเป็นเวลาประมาณ 15 นาที ด้วยอัตราการกวนปานกลาง (500 รอบ/นาที) อุณหภูมิในช่วงนี้จะลดลงเหลือประมาณ 65 องศาเซลเซียส การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ได้เมทิลเอสเทอร์และกลีเซอริน แต่ปฏิกิริยานี้ผันกลับได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหยุดกวนเพื่อแยกผลผลิตตัวใดตัวหนึ่งออก เมื่อหยุดกวนกลีเซอรินซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่า (ประมาณ 1.26 กรัม/มิลลิลิตร) จะแยกชั้นออกจากชั้นเมทิลเอสเทอร์ โดยแยกตัวตกลงมาที่ก้นถัง ดังนั้นในชั้นเมทิลเอสเทอร์จะเหลือกลีเซอรินอยู่น้อย ปฏิกิริยาการเกิดเมทิลเอสเทอร์จะสามารถดำเนินต่อไปอย่างช้าๆ เมื่อทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 – 4 ชั่วโมง น้ำมันก็จะทำปฏิกิริยาไปมากกว่า 95%

#### 8.1.4 การแยกกลีเซอริน

กลีเซอรินจะถูกถ่ายออกไปภาชนะ โดยการถ่ายออกทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ในขณะที่ยังร้อนอยู่เพราะหากทิ้งไว้ให้เย็น ชั้นกลีเซอรินจะกลายเป็นของแข็ง

#### 8.1.5 การล้างสิ่งปนเปื้อนออก

เมทิลเอสเทอร์ที่ได้ยังปนเปื้อนด้วยสารอื่นๆ เช่น สบู่ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไขมันอิสระหรือน้ำมัน กลีเซอรินที่ละลายอยู่ในชั้นเมทิลเอสเทอร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาและน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด ดังนั้นจึงต้องทำการขจัดออกด้วยการล้างด้วยน้ำอุ่นหลายๆครั้ง ปริมาณน้ำที่ใช้แต่ละครั้งประมาณ 1 ต่อ 4 ของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ เมื่อเติมน้ำเพียงพอแล้วรอให้น้ำแยกชั้นจากเมทิลเอสเทอร์เป็นเวลาพอสมควร (ประมาณ 5 – 10 นาที) ก็ถ่ายน้ำออกด้านล่าง เติมน้ำอุ่นเพื่อล้างใหม่ การล้างจะกระทำ 4 – 5 ครั้ง และเพิ่มการกวนในการล้างครั้งหลังๆ

#### 8.1.6 การขจัดน้ำออกขั้นสุดท้าย

เมื่อล้างสิ่งปนเปื้อนออกหมดแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือการขจัดน้ำที่หลงเหลือในชั้นเมทิลเอสเทอร์ออก ซึ่งกระทำโดยการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลาอย่างน้อย 20 นาที เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นก็สามารถนำไปเก็บเพื่อใช้งานต่อไป

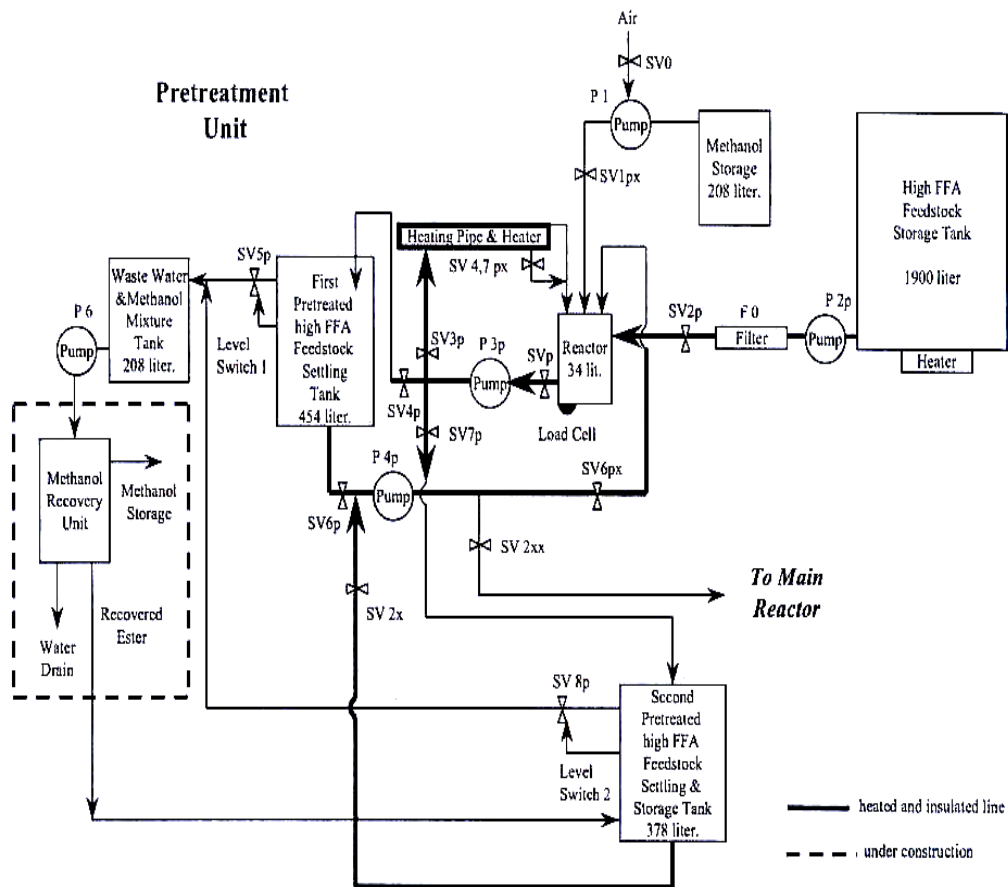
เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากผลิตผลปาล์มน้ำมันต่างๆ เช่น น้ำมันทอดใช้แล้ว น้ำมันปาล์มดิบ (เกรดบี) น้ำมันปาล์มรีไฟน์ ไบโพลัมสเตียร์น และ superhard ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เมทิลแอลกอฮอล์เป็นสารเข้าทำปฏิกิริยาและใช้โซดาไฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยกรรมวิธีการผลิต 6 ขั้นตอน คือ การเตรียมน้ำมัน การเตรียมสารละลาย การทำปฏิกิริยา การแยกกลีเซอริน การล้าง และการขจัดน้ำ พบว่า เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์เกือบ 100% เมื่อทดสอบด้วยเทคนิค Thin Layer Chromatograph (TLC) ภาวะการผลิตที่เหมาะสมใช้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทิลแอลกอฮอล์เป็น 1 : 6 หรือเมทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 20% โดยน้ำหนัก และโซดาไฟ 0.5 – 1% ของน้ำมัน อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 60 – 80 องศาเซลเซียส โดยมีการกวนประมาณ 15 – 30 นาที และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาต่อนาน 3 – 4 ชั่วโมง เมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีสมบัติหลายประการใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว เช่น ความหนาแน่น ความหนืด ค่าความร้อน และช่วงอุณหภูมิการกลั่นแต่จุดไหลเทจะ

สูงกว่าน้ำมันดีเซลเนื่องจากมีสัดส่วนเมทิลเอสเทอร์ที่อิ่มตัวซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงในปริมาณที่สูง (ชาคริต ทองอุไร และคณะ, 2544)

## 8.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด

Canakci and Van Gerpen (2001) ผลิตไบโอดีเซลจาก น้ำมันถั่วเหลือง yellow grease และ brown grease ด้วยกระบวนการผลิตที่ประกอบ 2 ส่วนดังนี้

**ส่วนที่ 1 : Pretreatment** เป็นการลดค่าของกรดไขมันอิสระให้น้อยกว่า 1% ซึ่งอุปกรณ์การผลิตแสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 กระบวนการผลิตในส่วน Pretreatment  
ที่มา : Canakci and Van Gerpen (2001)

ในส่วนแรกจะมีวิธีการผลิตดังนี้

**1.1 การให้ความร้อนแก่วัตถุดิบ** ได้แก่ yellow grease และ brown grease ด้วยระบบให้ความร้อนขนาด 1.2 kW ซึ่งติดตั้งอยู่กับถังเก็บวัตถุดิบขนาด 1900 ลิตร เพื่อทำให้เกิดการละลาย

**1.2 การกรอง** เมื่อวัตถุดิบละลายแล้วจะถูกปั๊มผ่านตัวกรองขนาด 20 ไมครอน ซึ่งทำมาจากเซลลูโลส ด้วยปั๊ม P 2p (ตามรูปที่ 10) เพื่อช่วยแยกสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ละลายออกจากวัตถุดิบ เช่น เศษเนื้อ เศษกระดูก

**1.3 การทำปฏิกิริยาขั้นต้น** วัตถุดิบที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกเก็บอยู่ในถังปฏิกรณ์ ขนาด 34 ลิตรซึ่งทำด้วยเหล็กปลอดสนิมโดยจะมี load cell ติดตั้งอยู่ที่ถังเพื่อชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์ เมื่อได้น้ำหนักตามที่ต้องการจึงเติมเมทานอลซึ่งบรรจุในถัง 208 ลิตร และตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดลงไปโดยอาศัยปั๊มลม  $P_1$  ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

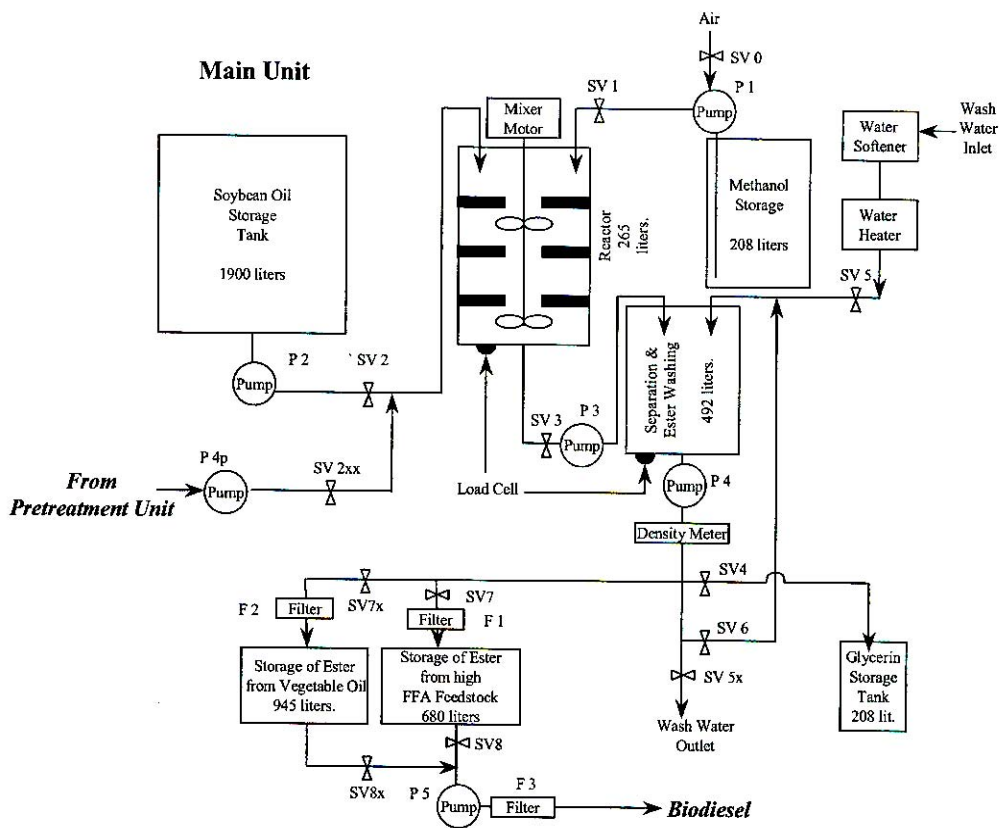
**1.4 การแยกเมทานอลและน้ำขั้นต้น** จากการทำปฏิกิริยาขั้นต้นทำให้กรดไขมันในวัตถุดิบเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์และน้ำโดยต้องแยกน้ำออกจากสารผสมที่ได้เพราะจะมีผลต่อการทำปฏิกิริยาในขั้นต่อไป จากการเก็บสารผสมที่ได้จากการทำปฏิกิริยาขั้นต้นในถังขนาด 454 ลิตร เพื่อแยกสารผสมระหว่างเมทานอล - น้ำออกจากวัตถุดิบที่เหลือโดยหลังจากปล่อยให้เกิดการแยกตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมทานอล - น้ำจะลอยขึ้นมาอยู่ด้านบนของถัง สามารถแยกออกโดยใช้ระบบควบคุมโซลินอยด์วาล์ว เข้าไปเก็บในถังขนาด 208 ลิตรเพื่อทำการแยกคืนเมทานอลต่อไป

**1.5 การแยกคืนเมทานอล** ซึ่งขั้นตอนนี้ยังไม่ได้ดำเนินการแต่สามารถติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อแยกเมทานอลออกจากน้ำกลับมาใช้อีก (เส้นประตามรูปที่ 10)

**1.6 การทำปฏิกิริยาขั้นที่สอง** วัตถุดิบที่เหลือจากการแยกเมทานอล - น้ำออกแล้วจะถูกปั๊มกลับมาถังปฏิกรณ์ขนาด 34 ลิตรอีกครั้งด้วยปั๊ม  $P_{4p}$  (ตามรูปที่ 10) เพื่อทำปฏิกิริยากับเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

**1.7 การแยกเมทานอลและน้ำขั้นที่สอง** จากการทำปฏิกิริยาขั้นที่สองวัตถุดิบที่ได้จะถูกปั๊มเข้าสู่ถังขนาด 378 ลิตรด้วยปั๊ม  $P_{3p}$  (ตามรูปที่ 10) เพื่อช่วยแยกสารผสมระหว่างเมทานอล - น้ำออกจากวัตถุดิบที่ต้องการ โดยวัตถุดิบที่ได้จะมีค่ากรดไขมันอิสระน้อยกว่า 1%

**ส่วนที่ 2 : Transesterification** อุปกรณ์การผลิตแสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 กระบวนการผลิตในส่วน Main Unit

ที่มา : Canakci and Van Gerpen (2001)

ในส่วนนี้หากวัตถุดิบที่ใช้ทำการผลิตเป็นน้ำมันถั่วเหลืองในถังขนาด 1900 ลิตร จะถูกปั๊มเข้าถังปฏิกรณ์ด้วยปั๊ม P 2 (ตามรูปที่ 11) หรือหากเป็นวัตถุดิบจากส่วนที่ 1 (Pretreatment) ก็จะถูกปั๊มเข้ามาโดยอาศัยปั๊ม P 4p (ตามรูปที่ 11) เข้าทำปฏิกิริยา transesterification ในถังปฏิกรณ์ขนาด 265 ลิตร ที่มีใบกวนหมุนที่ความเร็วรอบ 1750 รอบ/นาที และติดตั้ง load cell ด้านล่างของถังเพื่อชั่งน้ำหนักสารเข้าทำปฏิกิริยาที่แน่นอน เดิมเมทานอลเข้าสู่ถังปฏิกรณ์โดยอาศัยปั๊ม P1 (ตามรูปที่ 11) และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด กวนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นจึงปล่อยเข้าสู่ถังขนาด 492 ลิตร เพื่อแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์และล้างน้ำ ด้านล่างของถังติดตั้ง load cell เพื่อหาปริมาณของกลีเซอริน ปริมาณน้ำที่ล้าง และเอสเทอร์ที่ได้ เมื่อกลีเซอรินแยกตัวออกมาจะถูกปั๊มเข้าไปเก็บในถังขนาด 208 ลิตร โดยอาศัยปั๊ม P 4 (ตามรูปที่ 11) ทำการล้างเอสเทอร์ด้วยน้ำอุ่น (60 องศาเซลเซียส) เพื่อแยกสบู่และกลีเซอรินที่หลงเหลือในเอสเทอร์โดยพ่นเป็นฝอยผ่านฝักบัว

4 ตัว ที่ติดอยู่ด้านบนของถังเพื่อช่วยให้เกิดการกระจายตัวได้ทั่วถึง น้ำอุ่นที่ใช้จะถูกปั๊มเข้ามาโดย อาศัยการปั๊ม P 4 วนกลับเข้ามา ส่วนน้ำทิ้งจะถูกปล่อยแยกออกไป เอสเตอร์ที่ล้างน้ำเสร็จแล้วจะถูก กรองผ่านตัวกรองขนาด 20 ไมครอน ก่อนที่จะถูกเก็บในถังขนาด 945 ลิตร ซึ่งใช้เก็บเอสเตอร์จาก น้ำมันถั่วเหลือง ส่วนเอสเตอร์จาก yellow grease หรือ brown grease จะเก็บในถังขนาด 680 ลิตร ไปโอดีเซลที่ผลิตได้ยังคงมีส่วนประกอบของน้ำหลงเหลืออยู่และเตรียมการที่จะใช้ flash type drying เพื่อขจัดน้ำออกในอนาคต

จากการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง yellow grease และ brown grease ด้วย กระบวนการผลิตที่ประกอบ 2 ส่วน พบว่า

กรณีที่ 1 : การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง พบว่า การทำปฏิกิริยามี 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 1% โดยน้ำหนัก น้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลน้ำมันต่อเมทานอลเท่ากับ 1 : 6 ทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และ ขั้นตอนที่สอง ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ 0.1% สัดส่วนเชิงโมล น้ำมันต่อเมทานอล 1 : 3 ผลได้ของเอสเตอร์ 94% ต้นทุนการผลิต 1.584 ดอลลาร์/แกลลอน

กรณีที่ 2 : การผลิตไบโอดีเซลจาก yellow grease พบว่า การทำปฏิกิริยา ส่วนที่ 1 (Pretreatment) การทำปฏิกิริยาขั้นแรกจะใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 5% สัดส่วนเชิงโมลน้ำมันต่อเมทานอล 1 : 20 อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 55 – 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนในการทำปฏิกิริยาในขั้นที่สองใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 5% สัดส่วน เชิงโมลน้ำมันต่อเมทานอล 1 : 40 อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 55 – 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และการทำปฏิกิริยาในส่วนที่ 2 : Transesterification จะใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณ 0.82% สัดส่วนเชิงโมลน้ำมันต่อเมทานอล 1 : 6 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ผลได้ ของเอสเตอร์ 90.2% ต้นทุนการผลิต 1.20 ดอลลาร์/แกลลอน

กรณีที่ 3 : การผลิตไบโอดีเซลจาก brown grease พบว่า การทำปฏิกิริยาส่วนที่ 1 (Pretreatment) จะใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 10% สัดส่วนเชิงโมลน้ำมันต่อ เมทานอล 1 : 20 อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 55 – 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับการทำให้ ปฏิกิริยาขั้นแรก ส่วนในการทำปฏิกิริยาในขั้นที่สองจะใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 10% สัดส่วนเชิงโมลน้ำมันต่อเมทานอล 1 : 40 อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 55 – 60 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 1 ชั่วโมง และการทำปฏิกิริยาในส่วนที่ 2 : Transesterification จะใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 0.21% สัดส่วนเชิงโมลน้ำมันต่อเมทานอล 1 : 6 เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่ อุณหภูมิห้อง ผลได้ของเอสเตอร์ 69% ต้นทุนการผลิต 0.911 ดอลลาร์/แกลลอน



## 9. การวิเคราะห์ต้นทุนทางวิศวกรรม

การวิเคราะห์ต้นทุนทางวิศวกรรมส่วนใหญ่จะเน้น โครงการที่มีการลงทุนในทรัพย์สินจริง ซึ่งแตกต่างจากการลงทุนทางการเงิน โครงการประเภทนี้จะมีอายุโครงการนาน มีตัวเลือกของโครงการจำกัด ดังนั้นการตัดสินใจลงทุนในทรัพย์สินจริง จึงต้องพิจารณาให้รอบคอบ ทั้งใน ส่วนค่าเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ความเสี่ยงและความไม่แน่นอนในอนาคต การวิเคราะห์ต้นทุนและ การวิเคราะห์ผลกำไรที่ถูกต้องแม่นยำจะช่วยให้การตัดสินใจลงทุนเป็นไปอย่างรอบคอบ

### 9.1 ประเภทของต้นทุนที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

#### 9.1.1. เงินลงทุนเบื้องต้นและต้นทุนดำเนินการ

ก. เงินลงทุนเบื้องต้น (Initial Investment) เป็นค่าใช้จ่ายเพื่อซื้อที่ดิน สิ่งปลูกสร้าง เช่น โรงงาน คลังสินค้า อาคารสำนักงาน เครื่องจักรอุปกรณ์ เครื่องมือ คอมพิวเตอร์ และสิ่งสนับสนุนการผลิต ผู้ลงทุนอาจพิจารณาเลือกซื้อถือกรรมสิทธิ์หรือเช่าเพื่อลดวงเงินที่ จะต้องใช้ลงทุนในทรัพย์สินถาวรแสดงถึงขนาดของการลงทุน บริษัทที่มีทรัพย์สินถาวรเกินกว่า 200 ล้านบาท ถือเป็นบริษัทขนาดใหญ่ หากมีสินทรัพย์ถาวรน้อยกว่านี้จัดเป็นวิสาหกิจขนาดกลาง หรือขนาดย่อม (เอสเอ็มอี)

ข. ต้นทุนดำเนินการ (Operating Cost) เป็นรายจ่ายที่นำไปหักจากรายได้ เหลือเป็นกำไรจากการดำเนินการ เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่าโซฮูยโรงงาน ต้นทุนส่วนนี้ จะปรากฏอยู่ในงบกำไรขาดทุนของบริษัท

ค. ต้นทุนรวม (Total Cost) เป็นผลรวมของเงินลงทุนเบื้องต้นและต้นทุน ดำเนินการ

#### 9.1.2. ต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน

ก. ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost, FC) คือ ต้นทุนส่วนที่ไม่เปลี่ยนแปลงตาม ปริมาณงาน ปริมาณงานที่ทำหรือผลิตอาจจะอยู่ในรูปใดรูปหนึ่ง เช่น จำนวนชั่วโมงแรงงาน จำนวนหน่วยที่ผลิต น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ จำนวนวัตถุดิบที่ใช้ แม้ปริมาณงานจะน้อยหรือมาก ต้น ทุนส่วนนี้จะเท่ากัน จึงเรียกว่า ต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่าเช่า ดอกเบี้ยจ่าย ค่าเสื่อมราคา (โรงงาน อาคาร เครื่องจักร) เงินเดือนของฝ่ายบริหารและฝ่ายวิจัย แสดงดังรูปที่ 12

ข. ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost, VC) คือ ต้นทุนส่วนที่เปลี่ยนแปลง ตามปริมาณงานผลิต ถ้าผลิตมากก็จ่ายมาก ผลิตน้อยก็จ่ายน้อย เช่น ค่าจ้างแรงงาน ค่าวัตถุดิบ ค่า พลังงาน แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันกับปริมาณการผลิต  
ที่มา : นवलศรี เอิบกมล (2546)

## 9.2 การวิเคราะห์ต้นทุน

**9.2.1. พฤติกรรมของต้นทุน** ต้นทุนอาจจะแยกได้ประเภทต่างๆ ตามที่กล่าวมาแล้ว สำหรับการดำเนินกิจกรรมทางธุรกิจและการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนมักจะจำแนกต้นทุนออกเป็นต้นทุนคงที่ และต้นทุนแปรผัน

**9.2.2. ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมของต้นทุน** ประกอบด้วย การควบคุมความสัมพันธ์กับปริมาณการผลิต การตัดสินใจของฝ่ายผู้บริหาร การเปลี่ยนแปลงของต้นทุน และการกำหนดปริมาณการผลิต

### 9.2.3. การกะประมาณต้นทุน

การประมาณต้นทุนมักจะอาศัยข้อมูลในอดีตเพื่อหาต้นทุนในอนาคต มีวิธีหาอยู่ 3 ทางดังนี้ คือ

#### ก. วิธีทางวิศวกรรมศาสตร์

เป็นวิธีการหาความแปรผันโดยตรงของต้นทุน จากข้อมูลต้นทุนในอดีต จากข้อกำหนดและนโยบายของฝ่ายบริหารหรือจากการศึกษาของวิศวกรอุตสาหกรรม วิธีนี้เหมาะสำหรับต้นทุนบางประเภทที่คิดด้วยวิธีอื่นไม่ได้ เช่น ต้นทุนแปรผันเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงวิธีการผลิตจากเครื่องจักรใหม่ที่ไม่มีต้นทุนจากอดีตมาสนับสนุน เป็นต้น

### ข. วิธีการกำหนดจุดสูงสุดต่ำ

วิธีนี้อาศัยข้อมูลของต้นทุนจากบัญชีต้นทุน โดยใช้ค่าของต้นทุนที่ปริมาณการผลิตสูงสุดและที่ปริมาณการผลิตต่ำสำหรับช่วงการผลิตใดๆ มาเขียนเป็นเส้นกราฟในลักษณะสมการเชิงเส้น

### ค. วิธีทางสถิติ

การนำเอาวิธีการกำหนดจุดสูงสุดต่ำซึ่งใช้จุด 2 จุดมาทำเป็นสมการเส้นตรง มีโอกาสเกิดความผิดพลาดสูงเพราะมีข้อมูลน้อยเกินไป จึงได้มีการเอาวิธีการทางสถิติที่เรียกว่า Least Square Method เพื่อหาทิศทางที่เป็นไปได้ทั้งเส้นตรงและเส้นโค้ง จากชุดข้อมูลที่มีหลายๆ ชุด โดยการวิเคราะห์จะเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร คือ ตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม (นवलศรี เอิบกมล, 2546)

## 9.3 การวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์การผลิตไปโอดีเซล

การศึกษาทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการผลิตไปโอดีเซล เช่น ต้นทุนการผลิต หรือ จุดคุ้มทุน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การประเมินต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการผลิตไบโอดีเซล

	Nelson <i>et al.</i> , (1994)	Noordam and Withers (1996)	Bender (1999)
Plant capacity	100,000 tonne/year	7,800 tonne/year	10,560 tonne/year
Process type	Alkaline – catalyzed continuous process	Alkaline – catalyzed batch process	Alkaline – catalyzed continuous process
Raw material	Beef tallow	Canola seed oil	Animal fats
Total capital cost	\$12 million	Not reported	\$3.12 million
Total manufacturing cost	\$34 million	\$5.95 million	Not reported
Biodiesel break – even price	\$340/tonne	\$763/tonne	\$420/tonne
Glycerine credit	\$6 million (\$600/tonne)	\$0.9 million (\$1,450/tonne glycerine)	\$1.2 million for technical grade glycerine (\$1,470/tonne) ; \$0.72 million for crude glycerine (\$660/tonne)

ที่มา : Zhang *et al.*, (2003)

Zhang *et al.*, (2003) อ้างจาก Nelson และคณะ (1994) พิจารณาการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไบโอดีเซลจาก beef tallow ทำปฏิกิริยา transesterification กับ เมทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง กำลังการผลิตประมาณ 100,000 ตัน/ปี พบว่า ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อต้นทุนไบโอดีเซล คือ ราคาวัตถุดิบ กำลังการผลิต และราคา กลีเซอรินซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้

Zhang *et al.*, (2003) อ้างจาก Noordam and Withers (1996) พิจารณาการประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไบโอดีเซลจาก Canola seed กำลังการผลิตประมาณ 7,800 ตัน/ปี พบว่า ต้นทุนของวัตถุดิบ (ราคา Canola seed และราคา Canola meal) และราคาผลพลอยได้ (กลีเซอริน) ที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อจุดคุ้มทุนไบโอดีเซล โดยเฉลี่ยราคา Canola seed ที่เพิ่มขึ้น \$0.01/kg ทำให้มีผลต่อต้นทุนไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น \$0.03/kg แต่เมื่อราคากลีเซอรินเพิ่มขึ้น \$0.11/kg ทำให้ต้นทุนไบโอดีเซลลดลงประมาณ \$0.01/kg

## 10. การวัดปริมาณเมทิลเอสเทอร์โดยใช้เทคนิค Thin Layer Chromatography – Flame Ionization Detection (TLC/FID)

Thin Layer Chromatography – Flame Ionization detection (TLC/FID) เป็นการแยกของผสมในสารละลาย เช่น แยกไขมัน วิธีนี้ประกอบด้วยแท่งแก้วที่เคลือบบางๆ ด้วยตัวดูดซับ (adsorbent) เช่น ซิลิกาเจล หรืออะลูมินา แท่งแก้วที่ถูกเคลือบแล้วจะปล่อยให้แห้งแล้วด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงภายในระยะเวลาที่กำหนด เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการกระตุ้น (activation) เป็นการกำจัดน้ำออกจากตัวดูดซับ การแยกด้วยวิธีนี้ใช้หลักที่ว่าสารแต่ละชนิดมีอัตราการเคลื่อนที่บนตัวดูดซับไม่เท่ากัน บางชนิดอาจถูกดูดซับไว้ด้วยตัวดูดซับซึ่งเป็นส่วนคงที่ แต่บางชนิดอาจถูกพาเคลื่อนที่ การแยกทำเหมือนกันกับโครมาโทกราฟีแบบกระดาษโดยให้ตัวทำละลายชะล้างขึ้นไปข้างบน การแยกเกี่ยวข้องกับการดูดซับ พันธะไฮโดรเจน และการแลกเปลี่ยนประจุ การตรวจหาค่าแห่งของไขมันที่แยกออกจากกันใช้ Flame Ionization Detection

วิภาวดี ปริพัฒน์ไพโรจน์ (2546) อ้างจาก Freedman และคณะ (1984) วิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์จากน้ำมันพืชโดยใช้อัลคาไลน์และกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้เทคนิค TLC/FID พบว่า อัลคาไลน์สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่ากรด

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ikwaugwu และคณะ (2000) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพารา (*Hevea brasiliensis*) จากไนจีเรีย อบเมล็ดยางด้วยตู้อบที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง กระเทาะเปลือกออก นำส่วนที่เป็นเนื้อใน (kernel) มาบดด้วยเครื่องบด (mill) สกัดน้ำมันด้วย Soxhlet extractor ใช้ petroleum-ether เป็นตัวทำละลาย นำน้ำมันมาทำให้บริสุทธิ์ ผลิตเป็นเมทิลเอสเทอร์ใช้สัดส่วนเชิงโมลน้ำมันต่อเมทานอล 1 : 6 ทำปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 1% NaOH อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง พบว่า เมล็ดยางพารา (seed) จะมีน้ำมันอยู่ 45.63% เถ้า 2.71% ความชื้น 3.71% โปรตีน 22.17% และคาร์โบไฮเดรต 24.21% ค่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีผลต่อร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์ โดยที่ 1% โซเดียมไฮดรอกไซด์จะให้ร้อยละเมทิลเอสเทอร์สูงสุด การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์จะลดค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และความหนืดลงได้ น้ำมันเมล็ดยางพาราที่ทำให้บริสุทธิ์แล้ว เมื่อผลิตเป็นเมทิลเอสเทอร์จะให้ร้อยละผลได้เมทิลเอสเทอร์ 84% มากกว่าน้ำมันเมล็ดยางพาราที่ยังไม่ทำให้บริสุทธิ์ (ผลได้เมทิลเอสเทอร์ 74.64%) เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยางพารามีสมบัติทางเชื้อเพลิงดีกว่าน้ำมันชนิดอื่น ๆ และใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

องอาจ แสงรุ่ง (2530) ศึกษาการปรับปรุงน้ำมันเมล็ดยางพาราเพื่อเป็นเชื้อเพลิง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์เป็นดังนี้ กระบวนการกำจัดยางเหนียวใช้ กรดฟอสฟอริก 0.5% โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที กระบวนการ กำจัดกรดไขมัน ใช้ NaOH มากเกินพอ 10% ของน้ำหนักกรดไขมันอิสระ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที กระบวนการฟอกสี ใช้ activated clay 4% โดยน้ำหนักน้ำมัน อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และการรักษาคุณภาพน้ำมันใช้ BHT (Butylated Hydroxytoluene) 0.02% โดยน้ำหนักน้ำมัน สังเกตการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีเล็กน้อยในช่วงเวลา 120 วัน การใช้น้ำมันเมล็ดยางพารา 40% ผสมกับน้ำมันดีเซล 60% ในเครื่องยนต์จะมีปริมาณเหล็กในน้ำมัน หล่อลื่นเพิ่มขึ้น 28.57%

มุกิตา ชันบุรพา และคณะ (2545) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช 3 ชนิด คือ น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันเมล็ดในปาล์ม และน้ำมันเมล็ดละหุ่ง ครั้งละ 800 กรัม ด้วยปฏิกิริยา transesterification ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH 0.1% 0.5% และ 1% ของน้ำหนักน้ำมัน กับสัดส่วน น้ำหนักเมทานอลต่อน้ำมัน 1:10 1:6.67 และ 1:5 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง และความเร็วยกวนในการกวน 500 รอบ/นาที พบว่า ผลได้สูงสุดจากน้ำมันเมล็ดฝ้ายเท่ากับ 94.9% ที่สัดส่วนน้ำหนักเมทานอลต่อน้ำมัน 1:6.67 ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5% ของน้ำหนักน้ำมัน ผลได้สูงสุดจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มเท่ากับ 92.1% ที่สัดส่วนน้ำหนักเมทานอลต่อน้ำมันและ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเดียวกันกับน้ำมันเมล็ดฝ้าย ผลได้สูงสุดจากน้ำมันละหุ่งเท่ากับ 83.6% ที่สัดส่วนน้ำหนักเมทานอลต่อน้ำมัน 1:5 และตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5% น้ำหนักน้ำมัน วิเคราะห์ เมทิลเอสเทอร์ในผลผลิตจากการดูแสงอินฟราเรดของหมู่เมทิลและคาร์บอนิลด้วยเทคนิค FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) โดยเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันทั้ง 3 ชนิด มีสมบัติใกล้เคียงกันโดยมีความหนาแน่นและความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่จุดกลั่นเริ่มต้น (initial boiling point, IBP) ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทั้งนี้ น้ำมันเมล็ดฝ้ายให้ไบโอดีเซลสมบัติใกล้เคียงกับ น้ำมันดีเซลมากที่สุด

ชาคริต ทองอุไร และคณะ (2544) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากผลิตผลปาล์มน้ำมัน คือ น้ำมันทอดใช้แล้ว น้ำมันปาล์มรีไฟน์ น้ำมันปาล์มแยกยางเหนียวและลดกรดชนิดหีบรวม (เกรดบี) ไขปาล์มสเตียรีนและ superhard stearin ด้วยกระบวนการ transesterification แบบกะ โดยใช้เมทิลแอลกอฮอล์เป็นสารเข้าทำปฏิกิริยาและใช้โซดาไฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า กรรมวิธีการ ผลิตอาจแบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอนคือ การเตรียมน้ำมัน การเตรียมสารละลาย การทำปฏิกิริยา การแยกกลีเซอริน การล้าง และการขจัดน้ำ ผลได้ของเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์เกือบ 100% สภาวะการผลิตที่เหมาะสม โดยใช้สัดส่วนเชิงโมลของน้ำมันต่อเมทิลแอลกอฮอล์เป็น 1:6

หรือเมทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 20% โดยน้ำหนัก และโซดาไฟ 0.5 – 1% ของน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 – 80 องศาเซลเซียส โดยมีการกวนประมาณ 15 – 30 นาที และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาต่อนาน 3 – 4 ชั่วโมง เมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีสมบัติหลายประการใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว เช่น ความหนาแน่น ความหนืด ค่าความร้อน และช่วงอุณหภูมิการกลั่น แต่จุดไหลเทจะสูงกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากมีส่วนเมทิลเอสเทอร์ที่อิมตัวที่มีจุดหลอมเหลวสูงในปริมาณมาก

Canakci และ Van Gerpen (1999) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดจะใช้เวลานานกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างและปริมาณน้ำต้องน้อยกว่า 0.5% เพื่อให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูง ปัจจัยจากสัดส่วนเชิงโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยา มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรด

Canakci และ Van Gerpen (2001) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบที่มีกรดไขมันอิสระสูงระดับ Pilot Plant ด้วยวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลือง yellow grease และ brown grease ผ่านกระบวนการผลิตที่ประกอบด้วย 2 ส่วน โดยส่วนแรก : Pretreatment unit จะทำหน้าที่ลดระดับกรดไขมันอิสระให้ต่ำกว่า 1% และส่วนที่สอง : Main reaction unit จะเกิดปฏิกิริยา transesterification เป็นไบโอดีเซล พบว่า การเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 1% สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 ส่วน yellow grease (กรดไขมันอิสระ 9%) และ brown grease (กรดไขมันอิสระ 40%) ทำปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดก่อนเพื่อลดค่ากรดไขมันอิสระโดยใช้กรดทำปฏิกิริยา 2 step ในส่วนแรก และส่วนที่สองใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.21% เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง yellow grease และ brown grease ต่อ 1 กิโลกรัม มีค่าเป็น 1.584 1.200 และ 0.911 ดอลลาร์ ตามลำดับ

Zhang และคณะ (2003) วิเคราะห์ความว่องไวและประเมินต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์จากการผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันที่ใช้ทอดแล้ว (waste cooking oil) ผ่านกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องต่างๆ กัน 4 กระบวนการ พบว่า กระบวนการที่ 1 ผลิตไบโอดีเซลจาก virgin vegetable oil ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทด่าง ต้นทุนต่ำสุด เนื่องจากกำลังผลิตไม่มากนัก และอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการทำด้วย carbon steel ทั้งหมด กระบวนการผลิตที่ 2 ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้ทอดแล้ว ซึ่งต้องผ่านกระบวนการลดกรดไขมันอิสระลงก่อนจึงจะนำไปทำปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทด่างทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น และกระบวนการที่ 3 และ 4 ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้ทอดแล้ว โดยทำปฏิกิริยาด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดโดยตรงไม่ต้องผ่านกระบวนการลด

กรดไขมันอิสระ ทำให้ต้นทุนการผลิตทั้งสองกระบวนการต่ำกว่ากระบวนการผลิตด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง เมื่อวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลต่างๆ ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility) ประกอบด้วย กำลังการผลิต (Plant capacity) ราคาน้ำมันที่ใช้ทอดแล้ว และราคาไบโอดีเซล

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดยางพาราสำหรับผลิตไบโอดีเซล
2. เพื่อศึกษาขั้นตอนที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพารา
3. เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพารา