

## บทที่ 4

### กระบวนการผลิตเอสเทอร์

จากการศึกษากระบวนการผลิตเอสเทอร์ด้วยวิธีการต่างๆ สามารถสรุปกระบวนการผลิตได้เป็น 4 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการเตรียมสารตั้งต้น กระบวนการสังเคราะห์ (ขั้นทำปฏิกิริยา) กระบวนการแยกผลิตภัณฑ์ และกระบวนการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ ซึ่งสิ่งที่ทำให้กระบวนการผลิตเอสเทอร์แต่ละกระบวนการแตกต่างกัน คือรูปแบบของกระบวนการย่อยๆที่แต่ละกระบวนการนำมาใช้ ซึ่งรูปแบบกระบวนการผลิตมีดังนี้

#### 4.1 กระบวนการผลิตเอสเทอร์ของมหาวิทยาลัยไอดาโฮ สหรัฐอเมริกา

มหาวิทยาลัยไอดาโฮ (University of Idaho) ได้ทำการศึกษากระบวนการ "Transesterification" เพื่อผลิตเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl Ester) จากน้ำมัน Rapeseed oil โดยกระบวนการผลิตประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

##### 4.1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

การผลิตเอทิลเอสเทอร์ด้วยกระบวนการของมหาวิทยาลัยไอดาโฮใช้สารตั้งต้น คือ น้ำมัน Rapeseed oil , เอทานอล และใช้โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีอัตราส่วนของสารตั้งต้นดังนี้

เอทานอล (EtOH) = 27.38 % โดยปริมาตรของน้ำมัน Rapeseed oil (ลิตร)

โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) = 0.01 % โดยน้ำหนักของน้ำมัน Rapeseed oil

(กิโลกรัม)

ตัวอย่างการเตรียมสารตั้งต้นสำหรับผลิตเอทิลเอสเทอร์

- น้ำมัน Rapeseed oil ปริมาณ 0.278 ลิตร (250 กรัม)

- โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2.5 กรัม (1% โดยน้ำหนักของน้ำมัน Rapeseed oil) เพื่อใช้เป็น

ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

- เอทานอลปริมาณ 0.076 ลิตร (27.38 % โดยปริมาตรของน้ำมัน Rapeseed oil)

#### 4.1.2 การทำปฏิกิริยา

นำไปผสมไฮดรอกไซด์มาละลายในเอทานอล แล้วจึงนำส่วนผสมนี้มาทำปฏิกิริยากับ น้ำมัน Rapeseed oil ในถังปฏิกิริยาซึ่งเป็นถังกวน โดยกวนอย่างต่อเนื่องเพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิห้องใช้เวลาในกระบวนการนี้ 2 ชั่วโมง

#### 4.1.3 การแยกสารผลิตภัณฑ์

หลังจากทำปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้ว นำส่วนผสมที่ได้จากการทำปฏิกิริยามาทำการแยกโดยอาศัยความหนาแน่นที่แตกต่างกันระหว่างเอสเทอร์กับกลีเซอรินซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา วิธีการ คือ นำส่วนผสมที่ได้จากการทำปฏิกิริยามาพักไว้ในถังแยก 12 ชั่วโมง เอสเทอร์และกลีเซอรินจะแยกออกจากกัน โดยกลีเซอรินจะอยู่ด้านล่างเพราะมีความหนาแน่นมากกว่าเอสเทอร์ จากนั้นนำกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ แล้วนำเอสเทอร์ที่ได้ไปทำการปรับปรุงคุณภาพ

#### 4.1.4 การปรับปรุงคุณภาพของเอสเทอร์

เนื่องจากยังมีเอทานอลและ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากการปฏิกิริยาคั่งค้างอยู่ในเอสเทอร์จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของเอสเทอร์ เพื่อให้เอสเทอร์บริสุทธิ์มากขึ้นและมีคุณภาพดีพอที่จะนำไปใช้งาน การปรับปรุงคุณภาพโดยใช้วิธี Water Extraction กระบวนการคือ พ่นน้ำด้วยความเร็วต่ำลงบนเอสเทอร์ในถังซึ่งมีการกวนเพื่อช่วยให้น้ำกระจายทั่วเอสเทอร์ น้ำที่พ่นลงไปจะกำจัดเอทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากกระบวนการนี้แล้วนำส่วนผสมระหว่างเอสเทอร์กับน้ำไปทำการแยกโดยใช้วิธีเดียวกันกับกระบวนการที่แล้ว แต่ใช้เวลา 24-48 ชั่วโมงจนกระทั่งน้ำและเอสเทอร์แยกออกจากกันแล้วจึงนำเอสเทอร์ที่ได้ไปใช้งาน

ตัวอย่างการศึกษาการผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันจาก Rapeseed oil ของมหาวิทยาลัยไอดาโฮ สามารถสรุปปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ และผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาดังนี้

##### สารตั้งต้น

- น้ำมัน Rapeseed oil 100 กิโลกรัม
- แอลกอฮอล์ (เอทานอล) 15 กิโลกรัม
- ตัวเร่งปฏิกิริยา (โซเดียมไฮดรอกไซด์) 1 กิโลกรัม

##### ผลิตภัณฑ์

- เอสเทอร์ 100 กิโลกรัม
- กลีเซอริน 10 กิโลกรัม
- เอทานอล 5 กิโลกรัม
- สบู่ (Soap) 1 กิโลกรัม

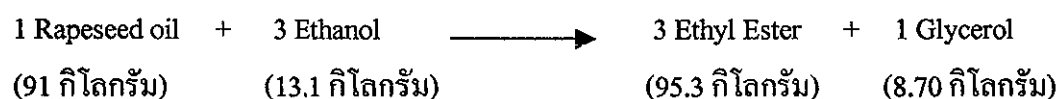
จะเห็นได้ว่าถ้าใช้ปริมาณน้ำมันพืช 100 กิโลกรัม เอสเทอร์ที่ผลิตได้ออกมาก็จะมีปริมาณ 100 กิโลกรัมเท่ากัน หมายถึงมีประสิทธิภาพในการผลิตเท่ากับ 100 %

ที่มา : <http://www.dancingrabbit.org/biodiesel/newoil>

## 4.2 กระบวนการผลิตเอสเทอร์โดยวิธี Optimization of a Batch Type Ethyl

### Ester Process

กระบวนการผลิตเอทิลเอสเทอร์ด้วยวิธี Optimization of a Batch Type Ethyl Ester Process ใช้วัตถุดิบตั้งต้นในการผลิต คือ น้ำมัน Rapeseed oil เอทานอลและโซโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีการเกิดปฏิกิริยาดังนี้



#### 4.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

- นำน้ำมัน Rapeseed oil มากรองเพื่อนำสารแขวนลอยออก
- นำโซโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์มาละลายในเอทานอล จะได้สารละลายที่ เรียกว่า โซโปแทสเซียมเอทอกไซด์ (Potassium ethoxide)

#### 4.2.2 การทำปฏิกิริยา

นำโซโปแทสเซียมเอทอกไซด์ผสมกับน้ำมัน Rapeseed oil ในถังทำปฏิกิริยาซึ่งเป็นถังกวน โดยกวนต่อเนื่องเพื่อช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยา ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

#### 4.2.3 การแยกผลิตภัณฑ์

หลังจากทำปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้วกวนต่ออีก 20 นาที แล้วจึงเติมน้ำลงไปในปริมาณ 15% ของปริมาณน้ำมัน Rapeseed oil กวนต่ออีก 20 นาที เมื่อกวนเสร็จแล้วนำส่วนผสมนี้มาทำการแยก โดยอาศัยความหนาแน่นที่แตกต่างกัน วิธีการ คือ นำส่วนผสมที่ได้จากการทำปฏิกิริยามาพักไว้ในถังแยก ใช้เวลาประมาณ 12-24 ชั่วโมง กลิเซอรินกับเอสเทอร์ จะแยกตัวออกจากกัน จากนั้นนำเอสเทอร์ไปทำการปรับปรุงคุณภาพ

#### 4.2.4 การปรับปรุงคุณภาพเอสเทอร์

เนื่องจากยังมีเอทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือจากการปฏิกิริยาคั่งค้างอยู่ในเอสเทอร์จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของเอสเทอร์ เพื่อให้เอสเทอร์บริสุทธิ์มากขึ้นและมีคุณภาพดีพอที่จะนำไปใช้งาน การปรับปรุงคุณภาพโดยใช้วิธี Water Extraction and Air Extraction โดยการผสม

เอสเทอร์กับน้ำประมาณ 30% ของปริมาตรของเอสเทอร์ที่จะปรับปรุงคุณภาพในถังล้างซึ่งเป็นถังกวนและมีการเป่าลมที่ด้านล่างถังด้วย แล้วกวนส่วนผสมพร้อมทั้งเป่าอากาศ ใช้เวลากวนประมาณ 1-2 ชั่วโมง เพื่อกระจายน้ำให้ทั่วเอสเทอร์น้ำจะกำจัดเอทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากเอสเทอร์ เสร็จจากการกวนแล้วพักส่วนผสมที่ได้ไว้อีก 2-3 วัน เพื่อให้ น้ำและเอสเทอร์แยกออกจากกันด้วยวิธีการเดียวกันกับการแยกผลิตภัณฑ์ เมื่อน้ำและเอสเทอร์แยกตัวสมบูรณ์ สามารถนำเอสเทอร์ที่ได้ไปเก็บหรือนำไปใช้งานได้

ที่มา : <http://orredc.nrel.gov/biomass/doe/rbep/biodeg/one>

#### 4.3 กระบวนการผลิตเอสเทอร์ของ National Biodiesel Board

กระบวนการผลิตเอสเทอร์ของ National Biodiesel Board นี้เป็นกระบวนการผลิตเอสเทอร์โดยใช้ Pack column แทนถังกวน ซึ่ง Pack column นี้มีลักษณะเป็นท่อภายในบรรจุ Base catalyst ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งที่มีรูพรุน เพื่อช่วยในการเร่งปฏิกิริยา เมื่อใส่น้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ที่ด้านบนของ Pack column ส่วนผสมนี้จะผ่าน Base catalyst แล้วทำปฏิกิริยากันจนกลายเป็นเอสเทอร์และกลีเซอรินเมื่อออกจาก Pack Column กระบวนการนี้มีการทำปฏิกิริยา 2 ส่วน คือ

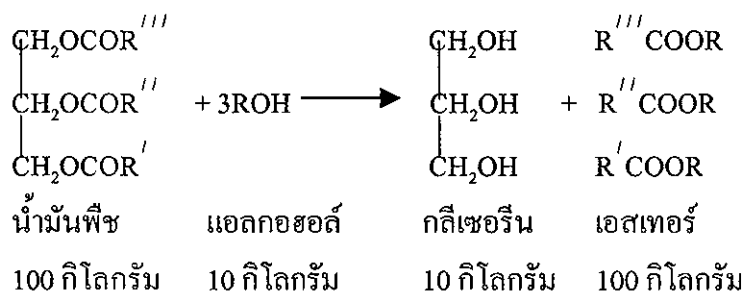
- การทำปฏิกิริยาจากการผสมแอลกอฮอล์และน้ำมันพืชเรียกว่า “Esterification”
- เมื่อส่วนผสมแอลกอฮอล์กับน้ำมันพืชทำปฏิกิริยาบน Base catalyst เรียกว่า

“Transesterification”

ข้อดีของ Pack Column มีดังนี้

- ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและความดันต่ำ (150 °F, 20 psi)
- มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูง (98%) ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย

การสังเคราะห์เอสเทอร์



ขั้นตอนการผลิตเอสเทอร์ของ National Biodiesel Board ใช้สารตั้งต้นคือ น้ำมันมะพร้าว และเอทิลแอลกอฮอล์ ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

#### 4.3.1 การผสม

นำน้ำมันมะพร้าวผสมกับเอทิลแอลกอฮอล์ เพื่อเตรียมทำปฏิกิริยาใน Pack Column

#### 4.3.2 การทำปฏิกิริยา

นำส่วนผสมที่ได้จากขั้นตอนการผสมมาใส่ลงในตัวเร่งปฏิกิริยาชื่อ Pack Column ซึ่งเป็นระบบปิด (close reaction vessel) เพื่อป้องกันการระเหยของแอลกอฮอล์ โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิประมาณ 160 °F เพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ใช้เวลา 2-8 ชั่วโมง

#### 4.3.3 การแยกสาร

หลังจากการทำปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้ว จะมีผลิตภัณฑ์ออกมา 2 ชนิด คือ กลีเซอรินและเอสเทอร์ซึ่งผสมกันอยู่ จึงต้องทำการแยกโดยอาศัยความหนาแน่นที่แตกต่างกันของสารทั้ง 2 ชนิด วิธีการคือ นำส่วนผสมที่ได้จากการทำปฏิกิริยามาพักไว้ในถังแยกไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อการแยกสมบูรณ์แล้วเอสเทอร์กับกลีเซอรินจะแยกออกจากกัน โดยกลีเซอรินจะอยู่ด้านล่าง จากนั้นนำเอสเทอร์ไปปรับปรุงคุณภาพ

#### 4.3.4 การกำจัดเอทิลแอลกอฮอล์

เนื่องจากยังมีเอทิลแอลกอฮอล์เหลือจากการทำปฏิกิริยา การกำจัดเอทิลแอลกอฮอล์โดยใช้วิธี Flash Evaporation คือ การใช้ความต่างของจุดเดือดของเอทิลแอลกอฮอล์กับเอสเทอร์ โดยนำเอสเทอร์ที่ได้จากการแยกมาพ่นให้เป็นฟิล์มบางๆ ลงในถังที่มีลมร้อนเป่าขึ้นจากล่างของถัง ซึ่งเมื่อลมร้อนผ่านชั้นฟิล์มจะทำให้แอลกอฮอล์ที่มีจุดเดือดต่ำกว่าเอสเทอร์มากระเหยออกไป

#### 4.3.5 การปรับปรุงคุณภาพเอสเทอร์

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ทำให้เอสเทอร์มีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น โดยการพ่นน้ำอุ่นลงไปเพื่อกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาและสบู่ที่ตกค้างอยู่ในเอสเทอร์ จากนั้นเป่าลมร้อนจากก้นถังให้น้ำระเหยออกจากเอสเทอร์แล้วสามารถนำเอสเทอร์ไปใช้งานได้

ที่มา : [http://www.biodiesel.org/pdf\\_file/prod\\_quality.pdf](http://www.biodiesel.org/pdf_file/prod_quality.pdf).

### 4.4 กระบวนการผลิตเอสเทอร์แบบ 2 ขั้นตอนของ Mike Pelly

กระบวนการผลิตเอสเทอร์แบบ 2 ขั้นตอนของ Mike Pelly นี้เป็นการทดลองผลิตเอสเทอร์เพื่อใช้งานเอง ซึ่งจะใช้วัตถุดิบ คือ น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (Waste Vegetable Oil, WVO) เมทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ วิธีการผลิตของ Mike Pelly นี้จะมีการทำปฏิกิริยา 2 ครั้ง ดังขั้นตอนต่อไปนี้

#### 4.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

- เตรียมน้ำมันพืช โดยนำมาอุ่นให้มีอุณหภูมิ 48-52 °C และบรรจุในถังทำปฏิกิริยา
- เตรียม Methoxide โดยใช้ เมทานอล 25% โดยปริมาตรของน้ำมันพืชผสมกับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 6.25 กรัมต่อลิตรของน้ำมันพืช

#### 4.4.2 การทำปฏิกิริยารั้งแรก

นำ Methoxide  $\frac{3}{4}$  ของปริมาณที่เตรียมไว้มาผสมกับน้ำมันพืชในถังกวน โดยกวนอย่างต่อเนื่องเพื่อช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยา ใช้เวลากวน 50-60 นาที ที่อุณหภูมิ 48-52 °C

#### 4.4.3 การแยกผลิตภัณฑ์รั้งแรก

หลังจากทำปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้ว ทำการแยกโดยอาศัยความหนาแน่นที่แตกต่างกันของสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยา คือ เอสเทอร์และกลีเซอริน วิธีการคือ นำส่วนผสมที่ได้จากการทำปฏิกิริยามาพักไว้ในถังแยกไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อเอสเทอร์แยกออกจากกลีเซอรินแล้ว นำเอสเทอร์ไปทำปฏิกิริยารั้งที่ 2

#### 4.4.4 การปฏิกิริยารั้งที่ 2

นำเอสเทอร์จากขั้นตอนแรกมาใส่ในถังกวน แล้วอุ่นให้เอสเทอร์มีอุณหภูมิ 48-52 °C นำ Methoxide ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยารั้งแรกมาผสม จากนั้นกวนอย่างต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิ 48-52 °C โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยารั้งนี้ 50-60 นาที

#### 4.4.5 การแยกผลิตภัณฑ์รั้งที่ 2

หลังจากทำปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้ว นำส่วนผสมที่ได้มาทำการแยกโดยวิธีเดียวกันกับการแยกครั้งแรก เมื่อพักไว้ 12 ชั่วโมงแล้วนำเอสเทอร์ที่ได้ไปทำการปรับปรุงคุณภาพ

#### 4.4.6 การปรับปรุงคุณภาพเอสเทอร์

เอสเทอร์ที่ได้มามีสิ่งตกค้างอยู่จึงต้องปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้งาน โดยบรรจุเอสเทอร์ลงในถังสำหรับทำการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์วัดค่า pH และปั๊มลมเพื่อเป่าฟองอากาศในเอสเทอร์ให้น้ำกระจายทั่วเอสเทอร์ วิธีการคือ ผสมเอสเทอร์กับน้ำในปริมาณเท่ากัน จากนั้นเติมส้มสายชู (Strong vinegar) เพื่อปรับค่า pH ของเอสเทอร์ให้เป็นกลางโดยเติมน้ำส้มสายชูจนกว่า pH ของสารภายในถังเท่ากับ 7 แล้วเป่าฟองอากาศอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำส่วนผสมมาทำการแยกด้วยวิธีเดียวกัน เมื่อพักไว้ครบ 12 ชั่วโมงแล้วสามารถแยกเอสเทอร์ไปใช้งานได้

ที่มา : <http://www.two-stage biodiesel process: Journey to Forever>

## 4.5 สรุปกระบวนการผลิตเอสเทอร์

จากการศึกษาและรวบรวมกระบวนการผลิตเอสเทอร์ในกระบวนการผลิตที่ต่าง ๆ กัน สามารถแยกกระบวนการผลิตออกเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

### 4.5.1 วัตถุดิบในการผลิตเอสเทอร์

วัตถุดิบในการผลิตเอสเทอร์มี 3 ชนิดดังต่อไปนี้

1. น้ำมันพืช หรือ ไขมันจากสัตว์ (Oil seed or Animal fats)
2. แอลกอฮอล์ ใช้เป็นตัวทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืชในขบวนการ Transesterification จะใช้แอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 0.225-0.2738% โดยปริมาตรของน้ำมันพืชที่จะนำมาผลิตเอสเทอร์ จากการศึกษาพบว่ามีการใช้แอลกอฮอล์ 2 ชนิดคือ

- เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl Alcohol) มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{CH}_3\text{OH}$  มีจุดเดือด  $69.7^\circ\text{C}$  ( $143^\circ\text{F}$ ) เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เป็นสารที่ติดไฟได้ง่าย (Highly Flameable liquid)

- เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  มีจุดเดือด  $78.4^\circ\text{C}$  ( $173^\circ\text{F}$ ) จุดหลอมเหลว  $-112.3^\circ\text{C}$  ( $-170^\circ\text{F}$ ) เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง

3. ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ใช้เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาในขบวนการ Transesterification ในอัตราส่วน 1-2 % โดยน้ำหนักของน้ำมันพืชที่จะนำมาผลิตเอสเทอร์ จากการศึกษาจะพบว่าที่ใช้กันมากมี 2 ชนิด คือ

- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) สูตรทางเคมี KOH มีจุดหลอมเหลวที่  $360^\circ\text{C}$  ซึ่งเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) สูตรทางเคมี NaOH มีจุดหลอมเหลวที่  $318^\circ\text{C}$  ซึ่งเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง

### 4.5.2 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบมี 2 ส่วน คือ การเตรียมน้ำมันพืช และการเตรียมสารที่จะใช้ทำปฏิกิริยา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันพืช โดยนำเอาสิ่งสกปรกและสารแขวนลอยออก เพื่อป้องกันการเกิดน้ำขณะทำปฏิกิริยา หากเกิดน้ำขณะทำปฏิกิริยาจะทำให้อัตราเกิดเอสเทอร์ลดลง โดยการกรองหรืออุ่นน้ำมันพืชให้มีอุณหภูมิ  $40-60^\circ\text{C}$  เพื่อให้สิ่งเจือปนระเหยออกไป

2. นำตัวเร่งปฏิกิริยามาผสมกับแอลกอฮอล์ในปริมาณที่จะใช้ในการผลิตเอสเทอร์ แล้วเก็บไว้ในถังเก็บเพื่อรอทำปฏิกิริยา

### 4.5.3 การทำปฏิกิริยา

การทำปฏิกิริยาหรือการสังเคราะห์จะแยกออกตามเทคโนโลยีของการเร่งการเกิดปฏิกิริยาได้ 2 วิธีดังนี้

1. การกวนผสม การทำปฏิกิริยาแบบนี้จะต้องเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยามาละลายในแอลกอฮอล์ไว้ก่อน เมื่อต้องการผลิตเอสเทอร์ จะนำสารตั้งต้นที่เตรียมไว้ทั้งหมดใส่ไปในถังทำปฏิกิริยาซึ่งเป็นถังกวนและเป็นระบบปิด โดยถังกวนจะมีใบพัดสำหรับใช้กวนเพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาให้สมบูรณ์เร็วมากขึ้น หลังจากปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้วจะได้ส่วนผสมของกลีเซอรินกับเอสเทอร์ออกมา
2. การทำปฏิกิริยาโดยใช้ Pack Column ซึ่งภายใน Pack Column จะมีตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแข็ง (Base Catalyst) บรรจุอยู่เป็นชั้นๆ หลายชั้น โดยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแข็งนี้มีลักษณะเป็นรูพรุนด้านในทำจากอลูมิเนียมหรือเหล็ก ด้านนอกเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา การทำปฏิกิริยาแบบนี้มีวิธีการคือ นำน้ำมันพืชผสมกับแอลกอฮอล์ก่อน แล้วใส่ลงใน Pack Column เพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาเมื่อน้ำมันพืชและแอลกอฮอล์ผ่าน Pack Column ไปแล้วจะได้เอสเทอร์และกลีเซอรินออกมา

### 4.5.4 การแยกเอสเทอร์และกลีเซอริน

การแยกเอสเทอร์นี้สามารถแบ่งออกได้ตามการเปลี่ยนและ ไม่เปลี่ยนเฟสของสาร

1. การแยกแบบสารไม่มีการเปลี่ยนเฟส วิธีนี้อาศัยความแตกต่างความหนาแน่นของสารที่จะทำการแยก เมื่อการทำปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้วจะได้ส่วนผสมของเอสเทอร์ และกลีเซอรินออกมา นำมาพักไว้ประมาณ 12-24 ชั่วโมงในถังแยก เอสเทอร์จะแยกชั้นกับกลีเซอริน โดยที่กลีเซอรินจะอยู่ด้านล่างของถังเพราะมีความหนาแน่นมากกว่าเอสเทอร์ ส่วนเอสเทอร์จะอยู่ด้านบน จากนั้นทำการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ ในขั้นตอนนี้จะได้อุณหภูมิของเอสเทอร์แต่ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้เนื่องจากยังมีสิ่งเจือปนอยู่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพก่อน
2. การแยกแบบสารมีการเปลี่ยนเฟสโดยการกลั่น การกลั่นนี้จะไม่ต้องรอให้เอสเทอร์และกลีเซอรินแยกตัวออกจากกัน เมื่อน้ำมันพืชทำปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้วจะนำมาเข้าหอกลั่น เพื่อกลั่นแยกกลีเซอรินออกมาจากเอสเทอร์ เพราะกลีเซอรินมีจุดเดือด 290 °C ส่วนเอสเทอร์มีจุดเดือดประมาณ 310 °C หอกลั่นแยกกลีเซอรินออกแล้วจะได้เอสเทอร์เพื่อนำไปผ่านการปรับปรุงคุณภาพ
3. การแยกแบบสารมีการเปลี่ยนเฟสโดยวิธี Evaporation วิธีการนี้จะเหมือนกับการกลั่นคือไม่ต้องรอให้เอสเทอร์แยกชั้นออกจากกลีเซอริน แต่วิธีการแยกจะใช้การพ่นของผสมระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินให้เป็นชั้นฟิล์มบางๆ ลงในถังที่มีการพ่นลมร้อนย้อนขึ้นมาจากก้นถัง เมื่อลมร้อนผ่านชั้นฟิล์มกลีเซอรินที่มีจุดเดือดต่ำกว่าจะระเหยไปกับลม ส่วนเอสเทอร์จะตกลงสู่ก้นถังและนำไปปรับปรุงคุณภาพ



#### 4.5.5 การปรับปรุงคุณภาพ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการกำจัดสิ่งเจือปนที่ยังเหลืออยู่ในเอสเทอร์ คือ แอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา เพื่อให้เอสเทอร์มีคุณภาพดีพอสำหรับใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล กรรมวิธีในการปรับปรุงคุณภาพหรือกำจัดสิ่งเจือปนออกจากเอสเทอร์โดยใช้หลักการรบกวนระบบ (Agitation) คือ การนำน้ำเข้าไปกำจัดสิ่งเจือปนโดยพยายามทำให้โมเลกุลของน้ำสัมผัสกับโมเลกุลของเอสเทอร์ให้มากที่สุด โดยการทำกรเพิ่มพื้นที่การสัมผัสมี 3 วิธีคือ

- Mechanical Stirring คือการกวน โดยความเร็วรอบที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ 50-70 RPM และใบกวนควรจะมี 2 ใบ ให้อยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างของถังกวน
- Aeration Mixing โดยการเป่าฟองอากาศเข้าไปในเอสเทอร์
- Combination Aeration and Mechanical Stirring วิธีการนี้จะเป็นการรวม 2 วิธีข้างต้นเข้าด้วยกัน

#### 4.5.6 ผลลัพท์

- เอสเทอร์ (100 % ของปริมาตรน้ำมันพืช)
- กลีเซอริน (25 % ของปริมาตรน้ำมันพืช)
- อื่นๆ (1 % ของปริมาตรน้ำมันพืช)

จากการสรุปกระบวนการผลิตที่กล่าวมาแล้ว กระบวนการที่ทำให้แต่ละเทคโนโลยีการผลิตแตกต่างกัน คือ การทำปฏิกิริยา และการแยก เมื่อนำกระบวนการดังกล่าวมาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการเลือกเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสมกับโรงงานต้นแบบที่จะทำการออกแบบ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละกระบวนการได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิต

กระบวนการ	เทคโนโลยี	ข้อดี	ข้อเสีย
การทำปฏิกิริยา	ทำปฏิกิริยาโดยการ กวนผสม	- อุปกรณ์ที่ใช้สามารถ ซื้อ และผลิต ได้เองภายในประเทศ  - เกิดปฏิกิริยาสูง	- ต้องใช้เวลาในการทำ ปฏิกิริยา
	Pack Column	- ใช้เวลาในการทำ ปฏิกิริยาน้อย  - เกิดปฏิกิริยาสูง	- ต้องซื้ออุปกรณ์จากต่าง ประเทศ
การแยก	แบบ ไม่เปลี่ยนเฟส	- อุปกรณ์ที่ใช้สามารถ ซื้อ และผลิต ได้เองภายในประเทศ	- ต้องใช้เวลานานในการแยก
	การกลั่น	- ใช้เวลาในการทำ ปฏิกิริยาน้อย	- อุปกรณ์ราคาแพงกว่าแบบ ไม่เปลี่ยนเฟส
	Evaporation	- ใช้เวลาในการทำ ปฏิกิริยาน้อย	- อุปกรณ์ราคาแพงกว่าแบบ ไม่เปลี่ยนเฟส

#### 4.6 กระบวนการผลิตที่เลือกใช้

จากการสรุปและเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตเอสเทอร์ในรูปแบบต่างๆ ทำให้สามารถเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวได้ โดยเทคโนโลยีที่เลือกใช้จะเลือกเทคโนโลยีที่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง วัสดุคิบและอุปกรณ์ที่ใช้สามารถซื้อหรือผลิตขึ้นได้เองในประเทศ เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ซึ่งเทคโนโลยีการผลิตที่เลือกใช้มีขั้นตอนของกระบวนการผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าว ดังต่อไปนี้

##### 4.6.1 วัสดุคิบในการผลิตเอสเทอร์

###### 1. น้ำมันมะพร้าว

###### 2. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) ใช้เป็นตัวทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืชในขบวนการ

Transesterification จะใช้เอทิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วน 25% ของปริมาณน้ำมันพืชที่จะนำมาผลิตเอสเทอร์

3. โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขบวนการ Transesterification ในอัตราส่วน 1.3% ของปริมาณน้ำมันพืชที่จะนำมาผลิตเอสเทอร์

#### 4.6.2 การเตรียมวัตถุดิบ

1. การปรับคุณภาพน้ำมันพืช โดยการกรองสิ่งสกปรกและสารแขวนลอยออก แล้วเก็บไว้ในถังเก็บเพื่อรอทำปฏิกิริยา

2. นำโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กับเอทิลแอลกอฮอล์ในปริมาณที่จะใช้ในการผลิตเอสเทอร์ มาละลายรวมกันแล้วเก็บไว้ในถังเก็บเพื่อรอทำปฏิกิริยา

#### 4.6.3 การทำปฏิกิริยา

นำน้ำมันมะพร้าวและสารละลายโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับเอทิลแอลกอฮอล์ที่เตรียมไว้ ใส่ถึงทำปฏิกิริยาซึ่งเป็นถังกวนที่มีการให้ความร้อนจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อให้มีอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยาเท่ากับ  $60^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง

#### 4.6.4 การแยกเอสเทอร์และกลีเซอริน

ใช้การแยกแบบสารไม่มีการเปลี่ยนเฟส โดยอาศัยความต่างของความหนาแน่น เมื่อการทำปฏิกิริยาสมบูรณ์แล้วจะได้ส่วนผสมของเอสเทอร์และกลีเซอรินออกมา นำส่วนผสมนี้ทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง เอสเทอร์จะแยกชั้นกับกลีเซอริน โดยที่กลีเซอรินจะอยู่ด้านล่างของถังเพราะมีความหนาแน่นมากกว่าเอสเทอร์ จากนั้นทำการบีบเอากลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ แล้วนำเอสเทอร์ที่ได้ไปปรับปรุงคุณภาพในขั้นตอนต่อไป

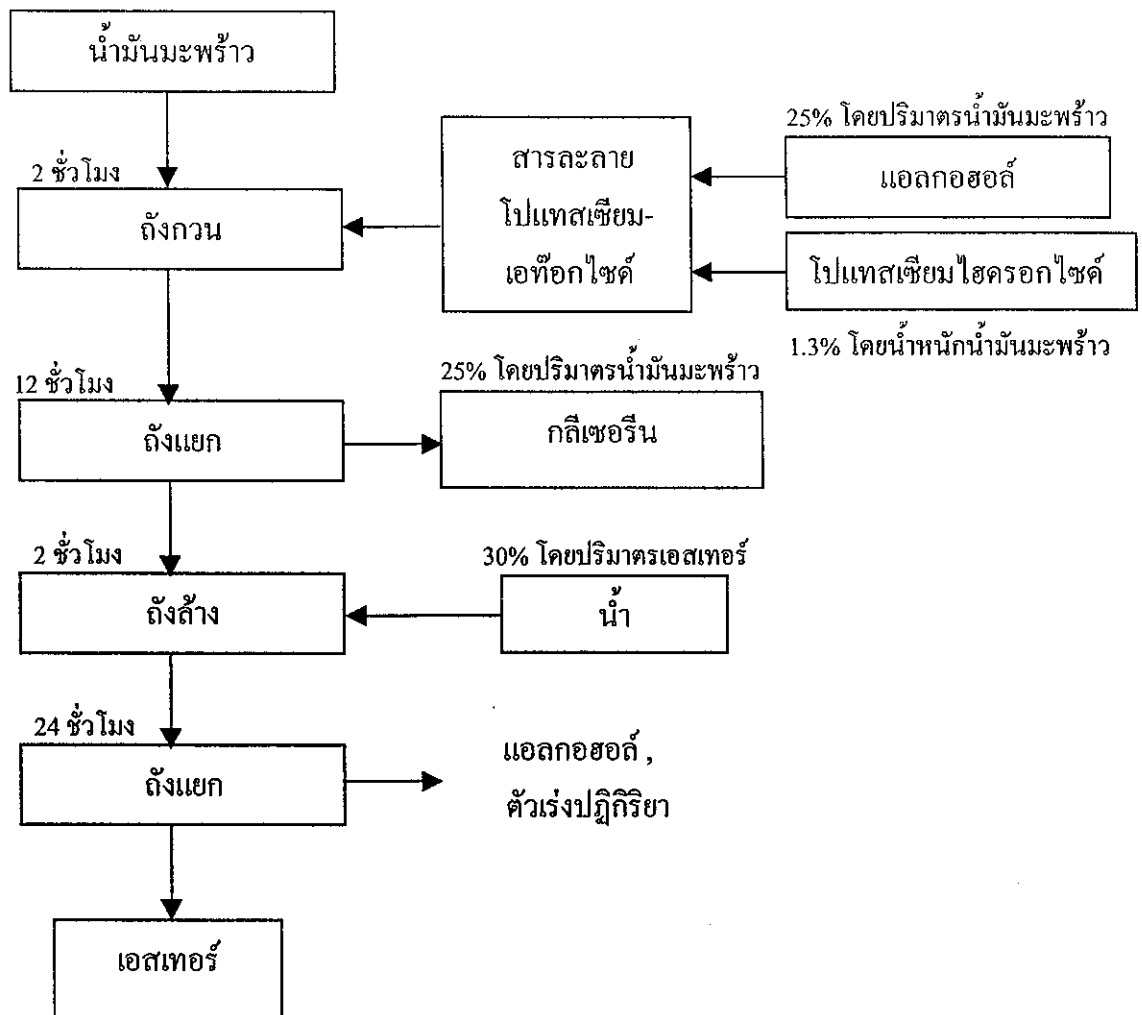
#### 4.6.5 การปรับปรุงคุณภาพ

การปรับปรุงคุณภาพหรือการล้างนี่จะเป็นการกำจัดสิ่งเจือปนที่ยังเหลืออยู่ในเอสเทอร์ โดยนำเอสเทอร์ผสมกับน้ำ 30% โดยปริมาตรของเอสเทอร์ที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพใส่ในถังล้าง ซึ่งถังล้างนี่จะเป็นถังกวน เพื่อให้ น้ำกระจายทำให้เพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างโมเลกุลของเอสเทอร์กับน้ำ ใช้เวลาในการล้าง 2 ชั่วโมง จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปทำการแยกอีกครั้ง

#### 4.6.4 การแยกเอสเทอร์และน้ำ

การแยกเอสเทอร์และน้ำในขั้นตอนนี้มีหลักการเดียวกันกับการแยกเอสเทอร์ กับกลีเซอริน แต่ใช้เวลา 24 ชั่วโมง เอสเทอร์จะแยกชั้นกับน้ำ โดยที่น้ำจะอยู่ด้านล่างของถังเพราะมีความหนาแน่นมากกว่าเอสเทอร์ จากนั้นทำการบีบน้ำออกจากเอสเทอร์ ก็จะได้เอสเทอร์ที่พร้อมนำไปใช้งาน

การผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวใช้เวลา 40 ชั่วโมงต่อการผลิต 1 ครั้ง สามารถสรุปเป็นแผนภาพแสดงลำดับการทำงาน อัตราส่วนของสาร และเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนได้ดังรูป 4.1



รูป 4.1 กระบวนการผลิตเอสเทอร์

จากเทคโนโลยีที่เลือกใช้สำหรับการผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าว ทำให้สามารถนำกระบวนการต่างๆ ไปออกแบบผังระบบการผลิต ออกแบบและคำนวณขนาดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ให้กับระบบการผลิต สำหรับโรงงานผลิตเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวที่จะทำการออกแบบรวมทั้งการประมาณราคาในส่วนของเครื่องจักรและอุปกรณ์ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป