

b154233

**การศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอริน
ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยการกวนแยก**

พัชรินทร์ เงินใบอ่อน

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์**

2550

การศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอริน

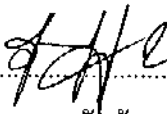
ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยการกวนแยก

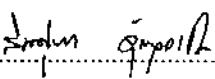
พัชรินทร์ เงินใบอ่อน

คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาดำเนินการหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์..... อัสมา สุรัตน์..... ปรชชกรกรรมการ
(ดร.วิสาขา ภูจินดา)

รองศาสตราจารย์..... ..... กรรมการ
(ดร.ชัยชัย สุขดิษฐ์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์..... ..... กรรมการ
(ดร.เอ็นสุภา จ้อยจุลเจิม)

รองศาสตราจารย์..... ..... กณบดี
(ดร.สากล จริยวิทยานนท์)

วันที่ 23 เดือน ๙ พ.ศ. 2550

บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยการกวนแยก
ชื่อผู้เขียน	นางสาวพัชรินทร์ เงินใบอ่อน
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
ปีการศึกษา	2550

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินใช้วิธีการกวนแยก โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกวนแยกเอสเทอร์และกลีเซอริน และศึกษาประสิทธิภาพการแยกชั้นเอสเทอร์และกลีเซอรินจากการกวนแยกที่ความเร็ว และเวลาในการกวนแยกต่าง ๆ และการเติมกรดกับไม่เติมกรด ทำการทดลองโดยวางรูปแบบการทดลอง $4 \times 3 \times 2$ Factorial Arrangement Plus Control Group (3 ซ้ำ) สำหรับความเร็วรอบที่ใช้ในการกวนแยก ใช้ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที การเติมกรดใช้กรดซัลฟูริก 98% จำนวน 1 มิลลิลิตร และการไม่เติมกรด โดยมีการตั้งทิ้งไว้เป็นกลุ่มควบคุม

ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกมีแนวโน้มมากขึ้น และแยกได้เร็วขึ้นเมื่อเทียบจากการตั้งทิ้งไว้ และการเพิ่มความเร็วรอบจากการกวนเป็น 100 และ 300 รอบต่อนาที ตามลำดับ แต่ลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบจาก 600 เป็น 900 รอบต่อนาที และระยะเวลาการกวนที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบที่ใช้ในการกวนแยก เมื่อกวนแยกที่ความเร็วรอบต่างกัน เวลาการกวนแยกที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินแยกออกได้สูงสุดก็จะแตกต่างกันตามความเร็วรอบที่ใช้ โดยการเติมกรดปริมาณ 1 มิลลิลิตรต่อของผสมระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ใช้ระยะเวลาการกวน 15 นาที ให้ประสิทธิภาพ

(4)

การแยกกลีเซอรินสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 100 เพิ่มขึ้นจากการตั้งทิ้งไว้โดยไม่กวนแยก ซึ่งมีประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินเท่ากับ ร้อยละ 81.25

สรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ใช้ระยะเวลาในการกวน 15 นาที ดังนั้น การกวนแยกสามารถนำมาใช้ในการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ได้ ถ้าใช้ความเร็วรอบและระยะเวลาการกวนที่เหมาะสม

ABSTRACT

Title of Thesis	Feasibility Study of Glycerin Separated from Ester Using Mixing Technique
Author	Miss Patcharin Ngenbaion
Degree	Master of Science (Environmental Management)
Year	2007

The objectives of this study were to find out the feasibility of glycerol separated from ester using a mixing technique, to investigate the optimal condition of glycerol separated from ester and to study efficiency of glycerol separated from ester using different speeds and periods of mixing.

The experimental design was used 4 x 3 x 2 Factorial Arrangement Plus Control Group with three replications. The speeds of mixing used in this study were 100, 300, 600 and 900 rpm and the times used to mix were at 5, 15 and 30 minutes. With an addition of H₂SO₄ and without H₂SO₄ were also investigated. The speed of mixing of 0 rpm was used as a control group.

The result illustrated that the volume of glycerin tended to increase with increase of mixing speeds from 0 to 100 and 300 rpm, respectively but it was decreased with the increase of mixing speeds from 600 to 900 rpm, respectively. Moreover, appropriate mixing time used depended on the speeds of mixing, i.e. when a slow mixing was used, a long mixing time should be applied. When an addition of sulfuric acid followed by a mixing speed of 300 rpm and the mixing time of 15 minutes was employed, the optimal condition of this experiment was found having the efficiency of glycerin separation of 100 % which increased from the control group, having the efficiency of 81.25 %.

(6)

From this study, as compared between the mixing only and the addition of sulfuric acid before mixing, the highest volume of glycerin was achieved when the addition of sulfuric acid followed by a mixing speed of 300 rpm and a period of mixing of 15 minute was employed. Thus, it could be concluded that it is viable to use a mixing techniques to separate glycerin from ester if an appropriate mixing speed and mixing period are used.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชาชา ภูจินดา ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้กรุณาให้ความรู้ ความเข้าใจ คำแนะนำต่าง ๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สีนสุภา จุ้ยจตุเจิม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย สุกคิชู้ ที่กรุณาได้รับเป็นกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา รวมทั้งการให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการทางเคมี ของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อุทิศตนประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และสนับสนุนให้การศึกษาอย่างเต็มความสามารถเสมอมา และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการประสานงานระหว่างการศึกษ และจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณเกษร บัวทอง และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือให้การทดลองในห้องปฏิบัติการทางเคมี และอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาที่ได้เข้าไปทำวิทยานิพนธ์ที่ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒเป็นไปด้วยความราบรื่นตลอดการทดลอง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาการจัดการสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณพรสวรรค์ มากมณี คุณกาญจน์ตุมาศ บุรพผล คุณฉวีรัตน์ มะลิมาศ และคุณสถาพร เป็นตามว่า ที่มีส่วนช่วยเหลือในการค้นคว้าข้อมูล ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจตลอดระยะเวลาที่ผู้เขียนได้ทำการศึกษาวิจัย

ขอขอบคุณ คุณเพชร ชลกิจ และ ครอบครัวของผู้เขียน พี่สาว และน้องชายที่ได้สนับสนุนผู้เขียน รวมถึงคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อไสว เงินใบอ่อน และคุณแม่สวาท เงินใบอ่อน ผู้มีพระคุณสูงสุด ที่ให้โอกาสในการศึกษาและเป็นแบบอย่างในการดำเนินชีวิตแก่ผู้เขียนมาตลอด

พัชรินทร์ เงินใบอ่อน

มิถุนายน 2550

สารบัญ

	หน้า
<u>บทคัดย่อ</u>	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(14)
<u>บทที่ 1</u> บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.7 นิยามศัพท์	7
<u>บทที่ 2</u> แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ข้อมูลพื้นฐานของไบโอดีเซล (Biodiesel)	9
2.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล	13
2.3 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล	33
2.4 ระบบการแยกสารโดย Vortex Separator	40
2.5 คุณสมบัติของไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล	43
2.6 ก๊าซเรือนกระจกและการใช้ประโยชน์	48
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	51

<u>บทที่ 3</u>	วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1	วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี	63
3.2	วิธีการวิจัย	63
<u>บทที่ 4</u>	ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1	ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการตั้งทิ้งไว้	71
4.2	ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์ โดยการกวนแยกที่ระดับความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที	75
4.3	ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ระดับความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที	91
4.4	อิทธิพลของความเร็วรอบในการกวนแยกที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน	108
4.5	อิทธิพลของระยะเวลาในการกวนแยกที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน	111
4.6	อิทธิพลของการเติมกรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน	113
4.7	อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบของการกวนแยก ระยะเวลาการกวน และการเติมกรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน	116
4.8	อิทธิพลของปริมาณกรดซัลฟูริกที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน	135
4.9	การพิสูจน์สมมติฐาน	137
<u>บทที่ 5</u>	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผลการทดลอง	140
5.2	ข้อเสนอแนะ	148
<u>บรรณานุกรม</u>		150
<u>ภาคผนวก</u>		
	ภาคผนวก ก การเตรียมการทดลองและการเก็บข้อมูล	157
<u>ประวัติผู้เขียน</u>		165

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	กรดไขมันชนิดต่าง ๆ	25
2.2	คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ	26
2.3	บริษัทผู้ผลิตและเทคโนโลยีระบบการผลิตไบโอดีเซล	35
2.4	มาตรฐาน ไบโอดีเซลที่ทางราชการกำหนด	38
2.5	ลักษณะการทำงานของระบบ Vortex Separator ทั้ง 3 ระบบ	42
2.6	ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันดีเซลและผลต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์	45
2.7	คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล	46
4.1	ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการตั้งทิ้งไว้ที่เวลาต่าง ๆ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง	74
4.2	ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	76
4.3	ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	80
4.4	ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	84
4.5	ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	88

4.6	ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรด ซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลา การกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	92
4.7	ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรด ซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลา การกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	98
4.8	ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรด ซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลา การกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	102
4.9	ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรด ซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลา การกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	105
4.10	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที	108
4.11	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่ระยะเวลาในการกวนแยก 5, 15 และ 30 นาที	111
4.12	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยจากการกวนแยกเพียงอย่างเดียว และการเติมกรดตาม ด้วยการกวนแยก	113
4.13	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว รอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ใช้ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง	116
4.14	ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินโดยการกวนแยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ใช้ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที	117
4.15	ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินจากการเติมกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการ กวนแยกที่ระดับความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที	118
4.16	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยเติมกรดตามด้วยการกวน แยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ของการกวนแยก เพียงอย่างเดียว และการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้ง ไว้ 5 นาที	121

4.25	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมกรดที่ปริมาณต่างๆ ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 15 นาที	135
4.26	เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยจากการกวนที่ความเร็วต่างๆ	137
4.27	เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยจากการกวนที่ระยะเวลาการกวนต่างๆ	138
4.28	เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยจากการไม่เติมและเติมกรด	139
5.1	ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที	141
5.2	ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที	141

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	กรอบแนวคิดในการศึกษา	6
2.1	ความต้องการใช้น้ำมันสำเร็จรูปเดือนตุลาคม พ.ศ. 2548 – ตุลาคม พ.ศ. 2549	10
2.2	ความต้องการใช้ไบโอดีเซลเดือนตุลาคม พ.ศ. 2548 – ตุลาคม พ.ศ. 2549	11
2.3	ภาพลำต้นและผลของปาล์ม	15
2.4	ภาพลำต้นและผลของมะพร้าว	16
2.5	ภาพดอกและเมล็ดของถั่วเหลือง	17
2.6	ภาพลำต้นและฝักของถั่วลิสง	18
2.7	ภาพลำต้นและฝักของเมล็ดกระทู้ง	19
2.8	ภาพดอกและฝักของงา	20
2.9	ภาพดอกและเมล็ดของทานตะวัน	21
2.10	ภาพลำต้นและเมล็ดสบู่ดำ	22
2.11	แผนภูมิปริมาณน้ำมันพืชใช้แล้วของกลุ่มผู้ใช้แต่ละประเภท	24
2.12	ผังอย่างง่ายในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์	28
2.13	การเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมัน	29
2.14	ผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล	47
2.15	ความสัมพันธ์ระหว่างจุดเยือกแข็งกับเปอร์เซ็นต์กลีเซอรอลในสารละลาย	49
2.16	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของสารละลายกลีเซอรอล	50
2.17	สมดุลไอ-ของเหลวของกลีเซอรอลกับน้ำ	50

3.1	รูปแบบการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการแยกชั้นระหว่าง เอสเทอร์ และกลีเซอริน โดยวิธีการกวนแยก	64
3.2	แสดงแบบจำลองการแยกตัวของกลีเซอรินจากเอสเทอร์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	67
4.2	ลักษณะของของผสมระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินภายหลังจากทำ ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเสร็จสิ้น ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 0 นาที	73
4.3	ลักษณะของกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการตั้งทิ้งไว้เพียงอย่าง เดียวเมื่อเวลาตั้งทิ้งไว้ผ่านไป 5 นาที	73
4.4	ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	75
4.5	ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการตั้งทิ้งไว้ และการกวนแยกที่ ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดย การตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	77
4.6	ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการตั้งทิ้งไว้ และการกวนแยกที่ ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้ง ทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	81
4.7	ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการตั้งทิ้งไว้ และการกวนแยกที่ ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดย ตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	85
4.8	ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการตั้งทิ้งไว้ และการกวนแยกที่ ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดย ตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	89
4.9	ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการเติมกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วย การกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	93
4.10	แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของไบโอดีเซลก่อน (ซ้าย) และหลังการ เติมกรด (ขวา)	94
4.11	แสดงลักษณะเกลือที่เกิดขึ้นในกรวยแยกภายหลังจากการเติมกรดซัลฟูริก 98%	95
4.12	ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยเติมกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการ กวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาทีที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ	99

4.13	ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยเติมกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการ กวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาดังกล่าว	103
4.14	ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยเติมกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการ กวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาดังกล่าว	106
4.15	เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวน แยกที่ความเร็วรอบต่าง ๆ	109
4.16	เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการใช้ ระยะเวลาการกวนแยกต่าง ๆ	112
4.17	เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการวิธีการ กวนแยก กับการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก	114
4.18	เปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบ และระยะเวลาในการกวน แยกที่มีต่อปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาดังตั้งไว้ 5 นาที	119
4.19	เปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบ และระยะเวลาในการกวน แยกที่มีต่อปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาดังตั้งไว้ 24 ชั่วโมง	119
4.20	เปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบ และระยะเวลาการเติมกรดที่มีต่อ ปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาดังตั้งไว้ 5 นาที	124
4.21	เปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบ และระยะเวลาการเติมกรดที่มีต่อ ปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาดังตั้งไว้ 24 ชั่วโมง	124
4.22	เปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการกวนแยก และการเติม กรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาดังตั้งไว้ 5 นาที	129
4.23	เปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการกวนแยก และการเติม กรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาดังตั้งไว้ 24 ชั่วโมง	129
4.24	เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมกรด ซัลฟูริก 98% ที่ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 1.5 มิลลิลิตร	136
5.1	แผนภาพสรุปผลการทดลอง	142

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในสภาวะปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูงมาก โดยเฉพาะน้ำมันดีเซล ในปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณการใช้มากถึง 50.4 ล้านลิตรต่อวัน คิดเป็น 36 % ของปริมาณการใช้น้ำมันสำเร็จรูปของประเทศไทย (กรมธุรกิจพลังงาน, 2549) อีกทั้งวิกฤติปัญหาน้ำมันโลกที่มีการปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ประเทศขาดดุลการค้าในการนำเข้าน้ำมัน นอกจากนี้ผลกระทบที่เกิดขึ้น คือ มลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ไม่ว่าจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น และยังทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกเพิ่มขึ้น ดังนั้น ความตื่นตัวในเรื่องการจัดการพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักสำหรับภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การคมนาคม และการขนส่งของประเทศ ทำให้ต้องมีการหาแหล่งพลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนอื่น ๆ เช่น ไบโอดีเซล ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ เชื้อเพลิงชีวภาพ เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยพลังงานทดแทนน้ำมันที่ได้รับความสนใจ และมีการพัฒนาทั้งทางด้านเทคโนโลยีการผลิต การจัดหาแหล่งวัตถุดิบ คือ พลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) ประเภทไบโอดีเซล และแก๊สโซฮอล์ ซึ่งเป็นการสนองนโยบายของประเทศที่ต้องการเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงาน และการลดการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ อีกทั้งเป็นการลดมลพิษเพื่อให้อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมโดยรวมดีขึ้น ทำให้หลายหน่วยงานได้ทำการศึกษา วิจัย และพัฒนาวัตถุดิบภายในประเทศไทย เช่น การใช้พืชน้ำมันชนิดต่าง ๆ รวมถึงการนำน้ำมันพืชที่ใช้ในการประกอบอาหารแล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซล เพื่อเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูงในการพัฒนาให้เป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญของประเทศไทย

น้ำมันไบโอดีเซลเป็นสารพวกเอสเทอร์ที่สามารถผลิตได้จากน้ำมันหรือไขมันของพืชและสัตว์โดยผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) โดยในกระบวนการผลิตจะทำการผสมน้ำมันหรือไขมันกับแอลกอฮอล์ เพื่อให้ทำปฏิกิริยากันจนเกิดเป็น

น้ำมันในรูปของเอสเทอร์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล จึงสามารถใช้ไบโอดีเซลแทนน้ำมันดีเซลได้โดยไม่ต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนตร์แต่อย่างใด

ข้อมูลการใช้น้ำมันไบโอดีเซล (ดีเซลหมุนเร็ว บี 5) ในช่วงระหว่างเดือนมกราคม - ตุลาคม พ.ศ. 2549 อยู่ที่ระดับเฉลี่ยวันละ 0.089 ล้านลิตร (กรมธุรกิจพลังงาน, 2549) ประกอบกับยุทธศาสตร์ไบโอดีเซลที่จัดทำโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานที่คณะรัฐมนตรีได้ให้ความเห็นชอบแล้วเมื่อ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 มีเป้าหมายส่งเสริมให้มีการผลิตและการใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 3 ของการใช้น้ำมันดีเซลในปี พ.ศ. 2554 หรือคิดเป็นไบโอดีเซลประมาณ 720 ล้านลิตร/ปี ซึ่งจะประกอบด้วยกำหนดให้ผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วน 2% (ไบโอดีเซล 2% และน้ำมันดีเซล 98%) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 (คิดเป็นไบโอดีเซลประมาณวันละ 1.6 ล้านลิตร) ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสม และทั่วทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2553 เพื่อใช้ในภาคคมนาคมขนส่ง และส่งเสริมให้ชุมชนผลิตไบโอดีเซลใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 1 ของการใช้น้ำมันดีเซลในปี พ.ศ. 2554 หรือวันละ 0.8 ล้านลิตร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549ก) ทำให้จำเป็นต้องมีการเพิ่มปริมาณการผลิตให้เพียงพอต่อปริมาณความต้องการใช้ภายในประเทศ

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้นจะประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ กระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน การแยกชั้น และการล้าง ในขั้นตอนที่สอง คือ ขั้นตอนการแยกชั้น เป็นการแยกชั้นระหว่างเมทิลหรือเอทิลเอสเทอร์และกลีเซอริน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการแยกชั้นประมาณ 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นข้อจำกัดด้านระยะเวลาที่ต้องใช้เวลาในการแยกนานสำหรับการพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลเพื่อการพาณิชย์ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาวิธีการที่จะทำให้การแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วขึ้น โดยวิธีการที่ผู้วิจัยสนใจศึกษา คือ การกวนแยก ซึ่งจากการศึกษา พบว่า ความเร็วรอบของการปั่นกวนจะมีผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Fangrui and Milford, 1999 อ้างถึงใน ณัฐพงศ์ เสนาธิบตี และวิธาน เกียรติอุบลไพบูล, 2544: 6) จึงทำการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์ คือ ช่วยให้การแยกเอสเทอร์และกลีเซอรินเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และยังช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ขึ้น โดยจะทำการศึกษาความเร็วของการกวนแยก ระยะเวลาการกวน และการเติมสารเคมี เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการพัฒนาคุณภาพและผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินให้เร็วยิ่งขึ้นโดยใช้วิธีการกวนแยก

2.2.2 วัตถุประสงค์ย่อย

1. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกวนแยกเอสเทอร์และกลีเซอริน
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการแยกชั้นเอสเทอร์และกลีเซอรินจากการกวนแยกที่ความเร็วและเวลาในการกวนแยกต่าง ๆ และการเติมกรดกับไม่เติมกรด

1.3 สมมติฐานการวิจัย

จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้นำมาตั้งเป็นสมมติฐานในการศึกษา ดังต่อไปนี้

สมมติฐานที่ 1 การกวนแยกโดยใช้ความเร็วในการกวนที่แตกต่างกัน จะทำให้ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์ในระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 2 การกวนแยกโดยใช้ระยะเวลาในการกวนต่างกัน จะทำให้ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์ในระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 3 การเติม และไม่เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% จะทำให้ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์ในระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

1. ทำการผลิตไบโอดีเซลโดยผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันในขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 % โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 กวนที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยานาน 30 นาที

2. ศึกษาปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์โดยการตั้งทิ้งไว้

3. ศึกษาปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาในการกวน 5, 15 และ 30 นาที

4. ศึกษาปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% จำนวน 1 มิลลิลิตร และทำการกวนแยกที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาในการกวน 5, 15 และ 30 นาที

5. เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การแยกตัวของกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ เพื่อหาความเร็วรอบและระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการกวนแยก

6. ทำการศึกษาปริมาณสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ที่เหมาะสมในการเติมจำนวน 0.5, 1.0 และ 1.5 มิลลิลิตร เพื่อแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ โดยการใช้ความเร็วรอบและระยะเวลาที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบในขั้นตอนที่ 5

1.4.2 ขอบเขตด้านประชากรและพื้นที่

ไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลองเป็นไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ิฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์ม และเมทานอล ดังรายละเอียดที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.4.1 ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

1.4.3 ขอบเขตด้านระยะเวลา

ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549 มิถุนายน พ.ศ. 2550

1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย

ตัวแปรในการวิจัยที่ใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอริน ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยการกวนแยกนั้น จะประกอบไปด้วย

1.5.1 ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ได้แก่

1.5.1.1 ความเร็วในการกวนแยก คือ ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที

1.5.1.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนแยก ได้แก่ 5, 15 และ 30 นาที

1.5.1.3 การเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% จำนวน 1 มิลลิลิตร ต่อของผสมเอสเทอร์และกลีเซอริน 600 มิลลิลิตร

1.5.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variables) ได้แก่

- 1.5.2.1 ปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์ โดยการตั้งทิ้งไว้
- 1.5.2.2 ปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์ โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที
- 1.5.2.3 ปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์ โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที
- 1.5.2.4 ความเป็นไปได้ในการใช้วิธีกวนแยกในขั้นตอนการแยกกลีเซอรินและเอสเทอร์ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

1.5.3 ตัวแปรควบคุม (Control Variables) ได้แก่

- 1.5.3.1 สภาพที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลอง อันได้แก่
 - (1) อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน คือที่ 60 องศาเซลเซียส
 - (2) เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน 30 นาที
 - (3) ความเร็วรอบที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน 600 รอบต่อนาที
- 1.5.3.2 สภาพที่ใช้ในการแยกเอสเทอร์และกลีเซอริน
 - (1) ปริมาณเอสเทอร์และกลีเซอรินที่ใช้ในการทดลองการแยกชั้น 150 มิลลิลิตร
 - (2) อุณหภูมิที่ใช้ในการแยกชั้น คือ ที่อุณหภูมิห้อง
 - (3) อุปกรณ์ที่ใช้ในการแยก คือ กรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร

ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ตัวแปรควบคุม และตัวแปรตาม ดังรายละเอียดตามแผนภูมิที่ 1.1

1.7 นิยามศัพท์

1.7.1 นิยามศัพท์ทั่วไป

1.7.1.1 เชื้อเพลิงชีวภาพ คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากชีวมวล (Biomass) หรือ สารที่ได้จากพืชและสัตว์โดยมีพื้นฐานจากการสังเคราะห์แสง แล้วก็รวบรวมพลังงานจากดวงอาทิตย์เอาไว้ในรูปของพลังงานเคมี

1.7.1.2 ไบโอดีเซล หมายถึง เชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากไขมันสัตว์ น้ำมันจากพืช หรือสาหร่ายขนาดเล็ก รวมถึงน้ำมันที่ใช้แล้วจากการปรุงอาหาร นำมาผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล และมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้ภาวะอุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนไขมันให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Ester) หรือเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Ethyl Ester) ขึ้นอยู่กับประเภทของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต และมีกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง

1.7.1.3 กลีเซอรอล หมายถึง เป็นสารจำพวกแอลกอฮอล์ มีสูตรโมเลกุลคือ $C_3H_8(OH)_3$ มีลักษณะเป็นของเหลวชั้นละลายน้ำได้ดี รสหวานเล็กน้อย สารชนิดนี้ไม่มีพิษ ใช้ทำยารักษาโรค และส่วนประกอบในเครื่องสำอาง

1.7.1.4 กลีเซอริน หมายถึง ผลผลิตพลอยได้ของการผลิตดีเซลชีวภาพ มีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีพิษ หนืด ค่อนข้างคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชัน ทำให้สามารถเก็บรักษาให้ไม่มีกลิ่น รส สีได้นาน ซึ่งบางครั้งเราสามารถเรียกกลีเซอรินในความหมายของกลีเซอรอลที่ยังไม่บริสุทธิ์ (ยังไม่แยกสารปนเปื้อนออก)

1.7.1.5 เอสเทอร์ หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์กับกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งเอสเทอร์จะถูกเรียกตามหมู่อัลคิลเป็นส่วนหนึ่งของแอลกอฮอล์ และตามด้วยอัลคาโนเอท ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก ตัวอย่างปฏิกิริยา เช่น เมทานอลทำปฏิกิริยากับ บิวทิริกแอซิด จะได้ สารประกอบที่ชื่อว่า เมทิลบิวทีเรท ($C_3H_7-COO-CH_3$)

1.7.1.6 ASTM มาจากคำว่า American Society for Testing and Materials เป็นสมาคมแห่งสหรัฐอเมริกา ซึ่งทำการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคในการทดสอบคุณภาพของวัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ ในธุรกิจน้ำมัน

1.7.1.7 ค่าซีเทน หมายถึง หน่วยการวัดความสามารถในการต้านทานการน็อคของเครื่องยนต์

1.7.1.8 จุดไหลเท คือ อุณหภูมิ ณ จุดที่น้ำมันดิบแข็งตัวและไม่สามารถไหลได้ สะดวก หมายถึงว่า ถ้าอุณหภูมิของน้ำมันดิบต่ำกว่าจุดไหลเท น้ำมันดิบก็จะเป็นไขแข็ง ไหลไม่ได้ และในทางตรงกันข้าม หากอุณหภูมิสูงกว่าจุดไหลเท ไข หรือ wax ที่ผสมอยู่ในน้ำมันดิบก็จะ หลอมตัวเข้ากับน้ำมันดิบ ทำให้น้ำมันดิบไหลได้

1.7.1.9 ความหนืด คือ หน่วยวัดความต้านทานภายในของการไหลของของเหลว หรือก๊าซ ความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

1.7.2 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.7.2.1 ความเร็วรอบในการกวน หมายถึง จำนวนรอบของเส้นทางที่เดินทาง ตั้งแต่จุดเริ่มต้น และมาจบที่จุดเริ่มต้นอีกครั้งต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น มอเตอร์หมุนด้วยความเร็ว รอบ 100 รอบต่อนาที

1.7.2.2 ระยะเวลาในการกวนแยก หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการกวนแยก เพื่อ แยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

1.7.2.3 การกวนแยก หมายถึง การกวนที่กำหนดความเร็วต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยอาศัยหลักการแยกแบบ Vortex Separation สำหรับการวิจัยนี้จะใช้เครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) เป็นอุปกรณ์ ในการแยก และได้กำหนดความเร็วในการกวนแยกไว้ที่ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที

1.7.2.4 อัตราเร็วในการแยก หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณกลีเซอรินที่แยก ออกจากเอสเทอร์ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้หน่วยเวลาเป็นนาที โดยมีสูตรคำนวณ ดังนี้

$$\text{อัตราเร็วในการแยก (มิลลิลิตร/ นาที)} = \frac{\text{ปริมาณกลีเซอริน ที่วัดได้ที่ระยะเวลาที่ศึกษา (มิลลิลิตร)}}{\text{เวลา (นาที)}}$$

1.7.2.5 ประสิทธิภาพในการแยก หมายถึง ประสิทธิภาพในแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยก โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพในการแยก (\%)} = \frac{\text{ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากของผสมกลีเซอรินและเอสเทอร์}}{\text{ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกมาสูงสุด}} \times 100$$

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอริน โดยการใช้วิธีการ
กวนแยกในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทบทวนแนวคิด หลักการ ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและ
ต่างประเทศ ดังนี้

- 2.1 ข้อมูลพื้นฐานของไบโอดีเซล
- 2.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล
- 2.3 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล
- 2.4 ระบบการแยกสารโดยใช้ Vortex Separator
- 2.5 คุณสมบัติของไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล
- 2.6 กลีเซอรินและการใช้ประโยชน์
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

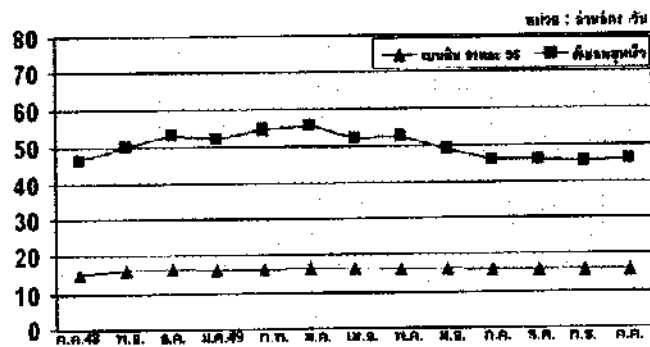
2.1 ข้อมูลพื้นฐานของไบโอดีเซล (Biodiesel)

2.1.1 ความหมายของน้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel Oil)

น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel Oil) เป็นสารพวกเอสเทอร์ที่ผลิตจากน้ำมันหรือไขมันของพืช
หรือสัตว์ที่ใช้แล้วหรือยังไม่ได้ใช้ มาแปรสภาพโดยผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานเอส
เทอริฟิเคชัน (Transesterification) หรือการเปลี่ยนให้เป็นเอสเทอร์ โดยในกระบวนการผลิตจะผสม
น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ (เมทานอล หรือเอทานอล) เพื่อให้ทำปฏิกิริยาจนเกิดเป็น
น้ำมันชนิดใหม่ในรูปเอสเทอร์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซล จึงสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงใน
เครื่องยนต์ดีเซล (ปราโมทย์ ฉูวาทักษะ, 2548 ; คณะกรรมการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร, 2545
อ้างถึงใน จินดนา อุบลวัฒน์, 2548:53)

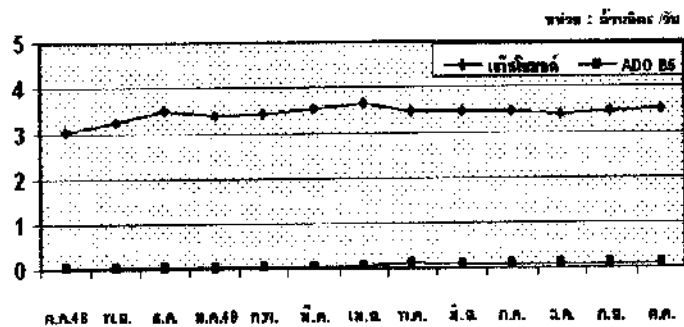
2.1.2 สถานการณ์น้ำมันดีเซล และไบโอดีเซล

จากการเปิดเผยของอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน (กรมธุรกิจพลังงาน, 2549) ถึงปริมาณการใช้ น้ำมันดีเซลหมุนเร็วในระหว่างเดือนมกราคม – ตุลาคม พ.ศ. 2549 พบว่า ยังคงปรับตัวลดลงจากช่วง เดียวกันของปี พ.ศ. 2548 อย่างค่อนเนื่องตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2548 โดยมีปริมาณการใช้อยู่ที่ ระดับวันละ 50.408 ล้านลิตร ลดลง 4.247 ล้านลิตรหรือ ร้อยละ 7.8 ดังแสดงในภาพที่ 2.1 การใช้ น้ำมันที่ลดลงเป็นผลจากราคาที่ยังอยู่ในระดับสูง เมื่อเปรียบเทียบกับราคาเฉลี่ยในช่วงเดียวกันปีก่อน แม้ราคาขายปลีกในช่วงเดือนสิงหาคม – ตุลาคม พ.ศ. 2549 ที่ผ่านมาจะมีการปรับลดลงโดยตลอดก็ ตาม โดยน้ำมันดีเซลหมุนเร็วมีราคาแพงกว่าช่วงเดียวกันของปีก่อน 6.49 บาท/ลิตร ทำให้ประชาชน มีพฤติกรรมประหยัดพลังงาน และเปลี่ยนไปใช้พลังงานทดแทนอื่นเพิ่มขึ้น เช่น ดีเซลหมุนเร็ว บี 5 การใช้อยู่ที่ระดับวันละ 0.089 ล้านลิตร เพิ่มขึ้นจากปีก่อน เกือบ 9 เท่าตัว ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.1 ความต้องการใช้น้ำมันสำเร็จรูปเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2548 - ตุลาคม พ.ศ. 2549

แหล่งที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน, 2549



ภาพที่ 2.2 ความต้องการใช้ไบโอดีเซลเดือนตุลาคม พ.ศ. 2548 – ตุลาคม พ.ศ. 2549

แหล่งที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน, 2549

ปริมาณนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงตั้งแต่เดือนมกราคม – กันยายน พ.ศ. 2549 ที่ผ่านมามีที่ระดับวันละ 138,528 ล้านลิตร (871,333 บาร์เรล/วัน) มูลค่า 612,483 ล้านบาท เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อน ปริมาณนำเข้ลดลงร้อยละ 2.3 แต่มูลค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 21.7 โดยเป็นการนำเข้าน้ำมันดิบวันละ 133,527 ล้านลิตร (839,877 บาร์เรล/วัน) มูลค่า 591,238 ล้านบาท ปริมาณลดลงร้อยละ 1.3 แต่มูลค่าเพิ่มขึ้น 23.4 และน้ำมันสำเร็จรูป วันละ 5,001 ล้านลิตร (31,455 บาร์เรล/วัน) มูลค่า 21,245 ล้านบาท ปริมาณลดลง ร้อยละ 24.2 และมูลค่าลดลงร้อยละ 12.8 เป็นผลจากการใช้ที่ชะลอตัวลงโดยเฉพาะการนำเข้าน้ำมันเตาในเดือนกันยายนที่ผ่านมา เนื่องจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเปลี่ยนเชื้อเพลิงบางส่วนจากน้ำมันเตาไปเป็นถ่านหิน และพลังงานทดแทน สำหรับการส่งออกน้ำมันสำเร็จรูปอยู่ที่ระดับวันละ 22,591 ล้านลิตร (142,096 บาร์เรล/วัน) มูลค่า 104,458 ล้านบาท ทั้งปริมาณและมูลค่า เพิ่มขึ้นร้อยละ 17.2 และ 45.5 ตามลำดับ (กรมธุรกิจพลังงาน, 2549)

2.1.3 ยุทธศาสตร์ไบโอดีเซล (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549 ข)

ไบโอดีเซลมีการใช้อย่างแพร่หลายในต่างประเทศทั้งในสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย ยุโรป และญี่ปุ่น วิธีการใช้ คือ ใช้แทนน้ำมันดีเซล 100% หรือผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่าง ๆ สำหรับประเทศไทย เมื่อวันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 คณะรัฐมนตรีได้ให้ความเห็นชอบยุทธศาสตร์ไบโอดีเซล ตามที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน เสนอยุทธศาสตร์ดังกล่าวมีเป้าหมายเพื่อส่งเสริมให้มีการผลิตไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 3 ของการใช้น้ำมันดีเซลในปี พ.ศ. 2554 หรือคิดเป็นปริมาณไบโอดีเซล 880 ล้านลิตร/ปี ซึ่งจะ

ประกอบด้วย การกำหนดให้ผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วน 2% น้ำมันดีเซล 98% ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 เป็นต้นไป ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสม และทั่วทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2553 เพื่อใช้ในภาคการขนส่ง และส่งเสริมให้ชุมชนผลิตไบโอดีเซลใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 1 ของการใช้ น้ำมันดีเซลในปี พ.ศ. 2554 โดยใช้ทั้งภาคขนส่ง และเกษตรกรรม สำหรับวัตถุประสงค์ที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตไบโอดีเซล จะมาจากน้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันปาล์ม และไขมันสัตว์

2.1.4 วิสัยทัศน์ของยุทธศาสตร์ไบโอดีเซล (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549ข) กำหนดไว้ 3 ประการ คือ

- เพื่อสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ และชุมชนอย่างยั่งยืน
- เพื่อสร้างศักยภาพของชุมชนให้เป็นแหล่งผลิตพลังงาน
- เพื่อสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมไบโอดีเซลในประเทศ

ต่อมา เมื่อวันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2548 คณะรัฐมนตรีได้มีมติเห็นชอบในหลักการตามที่กระทรวงพลังงาน และคณะกรรมการพัฒนา และส่งเสริมเชื้อเพลิงชีวภาพ เสนอแผนการปฏิบัติการ การพัฒนา และส่งเสริมไบโอดีเซล พร้อมทั้งเห็นชอบให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องดำเนินการให้เป็นไปตามแผนปฏิบัติการดังกล่าว กล่าวคือ ให้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์กำหนดเขตพื้นที่ที่เหมาะสม ในการปลูกปาล์มน้ำมัน (Zoning) ให้แล้วเสร็จภายใน 6 เดือน จัดทามล็ดพันธุ์ปาล์ม ส่งเสริมการปลูกปาล์ม น้ำมันและพืชน้ำมัน และศึกษาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับเกษตรกร กำหนดให้ภาคใต้ และภาคตะวันออก (จันทบุรี และระยอง) เป็นฐานปลูกปาล์มน้ำมัน พัฒนาและทำโครงการนำร่อง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ประสาน และจัดทำความร่วมมือกับประเทศเพื่อนบ้าน ในการปลูกพืชน้ำมันเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลของไทยในลักษณะของ Contract Farming ทั้งนี้ การกำหนดพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในท้องที่ใด ให้คำนึงถึงความเป็นไปได้ของผลผลิต และความเหมาะสม สอดคล้องกับระบบการขนส่งของปาล์ม (Logistic) ไปยังผู้ผลิต และผู้ใช้ไบโอดีเซลด้วย

นอกจากนี้ยังให้กระทรวงการคลัง พิจารณาจัดตั้งนิติบุคคลเฉพาะกิจ (SPV) เพื่อส่งเสริม การปลูกปาล์มน้ำมัน และพืชน้ำมัน รวมทั้งการผลิตไบโอดีเซลและมอบหมายให้ธนาคารเพื่อ การเกษตรและสหกรณ์ (ธ.ก.ส.) สนับสนุนสินเชื่อแก่ SPV เพื่อดำเนินธุรกิจปาล์มน้ำมัน โดย กระทรวงการคลังเป็นผู้ค้ำประกันให้กระทรวงพลังงาน และกระทรวงอุตสาหกรรมส่งเสริมการผลิต และการใช้ไบโอดีเซลให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ ทั้งนี้คณะรัฐมนตรีเห็นชอบในหลักการวงเงิน งบประมาณ 1,300 ล้านบาท (ปี พ.ศ. 2548 - 2555) เพื่อใช้เป็นเงินทุนหมุนเวียนส่งเสริมการปลูก 800 ล้านบาท การวิจัยและพัฒนาการบริหารจัดการ 500 ล้านบาท

ในการพิจารณาของคณะรัฐมนตรีในครั้งนี้ กระทรวงพลังงาน ร่วมกับกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และกระทรวงการคลัง ได้เสนอแผนปฏิบัติการการพัฒนาและส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซล ระหว่างปี พ.ศ. 2548 - 2555 ไว้ว่าในปี พ.ศ. 2548 - 2549 จะจัดทำมาตรฐานไบโอดีเซลและส่งเสริมผลิตไบโอดีเซลในชุมชน โดยใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว และน้ำมันปาล์มดิบ กำลังการผลิตรวม 0.6 ล้านลิตร/วัน ในปี พ.ศ. 2549 เป็นต้นไป จะผลิตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์ โดยมีเป้าหมายจะจำหน่ายไบโอดีเซล 5% (ไบโอดีเซล 5% ผสมน้ำมันดีเซล 95%) บางพื้นที่ในภาคใต้ และกรุงเทพมหานคร และจะขยายจนทั่วประเทศในปี พ.ศ. 2554 โดยมีกำลังการผลิตรวม 79 ล้านลิตร/วัน ในปี พ.ศ. 2555 จะจำหน่ายไบโอดีเซล 10% ผสมน้ำมันดีเซล 90% ทั่วประเทศ โดยมีกำลังการผลิตรวม 85 ล้านลิตร/วัน

ในการผลิตไบโอดีเซลตามจำนวนดังกล่าวจำเป็นต้องมีการจัดหาวัตถุดิบเพื่อนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล และวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการให้ปริมาณน้ำมันสูง คือ ปาล์มน้ำมัน จึงได้มีการกำหนดให้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตจาก 2.7 ตัน/ไร่/ปี เป็น 3.3 ตัน/ไร่/ปี พร้อมทั้งกำหนดพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันภายในประเทศเพิ่มขึ้นอีก 4 ล้านไร่ และขยายพื้นที่เพาะปลูกในประเทศเพื่อนบ้านในลักษณะ G to G อีก 1 ล้านไร่ สำหรับพื้นที่เพาะปลูกในประเทศ 4 ล้านไร่ นั้นจะเป็นพื้นที่ในภาคใต้ 1.8 ล้านไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ปลูกแทนยางพารา 0.5 ล้านไร่ ปลูกแทนทุเรียน เงาะ และกาแฟ 0.3 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ไร่ - นาไร่ 1 ล้านไร่ พื้นที่ในภาคตะวันออก 1.7 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ปลูกแทนทุเรียน และเงาะ 0.4 ล้านไร่ และพื้นที่ใหม่ 1.3 ล้านไร่ พื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 0.5 ล้านไร่ โดยมีระยะเวลาในการขยายพื้นที่เพาะปลูกทั้ง 4 ล้านไร่ ดังนี้

ปี พ.ศ. 2548	ขยายพื้นที่เพาะปลูกจำนวน	0.26	ล้านไร่
ปี พ.ศ. 2549	ขยายพื้นที่เพาะปลูกจำนวน	0.60	ล้านไร่
ปี พ.ศ. 2550	ขยายพื้นที่เพาะปลูกจำนวน	0.67	ล้านไร่
ปี พ.ศ. 2551	ขยายพื้นที่เพาะปลูกจำนวน	1.07	ล้านไร่
ปี พ.ศ. 2552	ขยายพื้นที่เพาะปลูกจำนวน	1.40	ล้านไร่

2.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

2.2.1 วัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

น้ำมันพืช และไขมันสัตว์เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล น้ำมันพืช เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่ว น้ำมันรำข้าว น้ำมันเมล็ดคางพารา น้ำมันละหุ่ง หรือน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ และน้ำมันและไขมันจากสัตว์ เช่น น้ำมันหมู น้ำมันโค น้ำมันกระบือ เป็นต้น

การพิจารณาเลือกน้ำมันพืชชนิดใดมาใช้ ต้องคำนึงถึงปริมาณ และองค์ประกอบของน้ำมันพืชชนิดนั้น และความเหมาะสมของปริมาณการเพาะปลูกพืชในพื้นที่นั้น ๆ ด้วย เช่น ปาล์มน้ำมัน และมะพร้าวเป็นพืชน้ำมันที่มีการปลูกมากในประเทศไทย

สำหรับวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย ได้แก่ น้ำมันพืชใช้แล้ว และน้ำมันพืชสกัดอีก 8 ชนิด โดยมีรายละเอียดดังนี้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549๗)

2.2.1.1 น้ำมันปาล์ม

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงถึง 0.6 - 0.8 ตัน/ไร่/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น ซึ่งปาล์มน้ำมันสามารถผลิตได้เองภายในประเทศ และมีราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น การใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมันจะก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม และรายได้โดยรวมของประเทศ โดยน้ำมันปาล์มแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ 1) น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) สกัดได้จากส่วนเปลือกสดของผลปาล์มน้ำมัน 2) น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Rude Palm Oil) สกัดได้จากเมล็ดในของผลปาล์มน้ำมัน การใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย และแบ่งกลุ่มการนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้ 1) อุตสาหกรรมด้านอาหาร น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์มประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภท เช่น น้ำมันทอด น้ำมันปรุงอาหาร มายองเนส ฯลฯ รวมถึงผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ เช่น วิตามินอี วิตามินเอ 2) อุตสาหกรรมโพลิโอเคมีคอล น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ นำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตสินค้าอุปโภคบริโภคผ่านกระบวนการทางเคมี ได้แก่ (1) การผลิตกรดไขมันเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรม (2) การผลิตเมทิลเอสเทอร์ เป็นสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำมันปาล์มและเมทิลแอลกอฮอล์ และมีผลพลอยได้ที่สำคัญ และมีมูลค่าสูง คือ กลีเซอรอล เมทิลเอสเทอร์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งในด้านพลังงาน (ไบโอดีเซล) หรือใช้เป็นสารสำหรับผลิตอนุพันธ์ของกรดไขมันประเภทต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ภาพลำต้นและผลของปาล์ม

แหล่งที่มา: โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพ
รัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, 2549

ปริมาณการบริโภคและความต้องการใช้น้ำมันปาล์มภายในประเทศจะกระจายไปยังผู้ใช้
ระดับต่าง ๆ คือ การบริโภคโดยตรงในรูปแบบน้ำมันพืชสำหรับปรุงอาหารร้อยละ 65 ของการผลิตทั้งหมด
และอีกประมาณร้อยละ 35 จะใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสบู่
อุตสาหกรรมเครื่องสำอางและยา อุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และใช้เป็น
น้ำมันหล่อลื่นเครื่องจักรในอุตสาหกรรมสิ่งทอและถลุงแร่ เป็นต้น และความต้องการใช้น้ำมัน
ปาล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ และอยู่ในอัตราที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันพืช
ที่ราคาถูกกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ และสามารถใช้อย่างหลากหลายทั้งอุตสาหกรรม
บริโภคและอุปโภค จึงได้มีการนำน้ำมันปาล์มไปใช้ทดแทนน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ทดแทนกันได้
นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับราคาในตลาดโลกที่สูงขึ้น ทำให้ความแตกต่างของราคาภายใน และภายนอก
ประเทศไม่จูงใจให้มีการลักลอบนำเข้า ความต้องการใช้น้ำมันปาล์มในประเทศจึงมากขึ้น

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง นิยมปลูกมากในจังหวัดภาคใต้ของไทย
ซึ่งถือว่าเป็นเขตเศรษฐกิจปาล์มน้ำมัน ได้แก่ จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูล ตรัง
ประจวบคีรีขันธ์ ระนอง นครศรีธรรมราช สงขลา และพังงา เพราะจากผลตอบแทนการปลูกปาล์ม
น้ำมันดีกว่าการปลูกพืชชนิดอื่น เช่น ยางพาราและการทำนาข้าว จึงเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรขยาย
พื้นที่ปลูกเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะราคาน้ำมันปาล์มในตลาดโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยปริมาณการ
ผลิตทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2548/49 ปาล์มน้ำมันมีเนื้อที่ให้ผลผลิต 2,031,691 ไร่ โดยมีผลผลิตปาล์ม
สด 5,513,002 ตัน เฉลี่ยผลผลิตต่อไร่อยู่ที่ 2,714 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2549)

2.2.1.2 น้ำมันมะพร้าว

มะพร้าวนั้นสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน แต่วัตถุประสงค์ที่สำคัญในการปลูกมะพร้าว คือ การนำเอาเนื้อมะพร้าวไปใช้ประโยชน์ด้านอาหารเสียเป็นส่วนใหญ่ แสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ภาพถ่ายต้นและผลของมะพร้าว

แหล่งที่มา: โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, 2549

มะพร้าวจัดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากคนไทยรู้จักใช้เนื้อมะพร้าวในการบริโภคเป็นอาหารทั้งคาวและหวานในชีวิตประจำวัน ซึ่งจากสำนักงานสถิติแห่งชาติได้เคยสำรวจ พบว่า ประชากรไทย 1 คน จะบริโภคเนื้อมะพร้าวประมาณ ปีละ 8,273.2 กรัม หรือประมาณ 18 ผล/คน/ปี ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีผลเมืองประมาณ 60 ล้านคน จะใช้ผลมะพร้าวประมาณ 1,080 ล้านผล หรือประมาณ 33% ของผลผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือ 67% นั้นจะอยู่ในรูปของอุตสาหกรรมหรือส่งออกต่อไป สำหรับปริมาณการผลิตและการใช้ทั้งประเทศในปี 2548/49 นั้นการปลูกมะพร้าวมีเนื้อที่ให้ผลผลิต 772,344.32 ไร่ โดยมีปริมาณผลผลิตอยู่ที่ 949,421.48 ตัน เฉลี่ยผลผลิตต่อไร่อยู่ที่ 1,344.13 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2549)

2.2.1.3 น้ำมันถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนกล่าวคือ ส่วนต่างๆ ของถั่วเหลืองคือ ใบ ลำต้น เปลือก เมื่อกีบเกี้ยวและนวดรีบรื้อแล้ว และกลบไถลงสู่ดินรวมทั้งปมที่ตกค้างในดินจะเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ค้ำที่สุด ในส่วนของเปลือกถั่วเหลืองนำมาถองรวมกันใช้เพาะเห็ดที่เรียกว่า

“เห็ดถั่วเหลือง” นำมาทำอาหารรับประทานได้และเมล็ดของถั่วเหลืองนำมาใช้เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แสดงภาพดอกและเมล็ดของถั่วเหลือง

แหล่งที่มา: โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, 2549

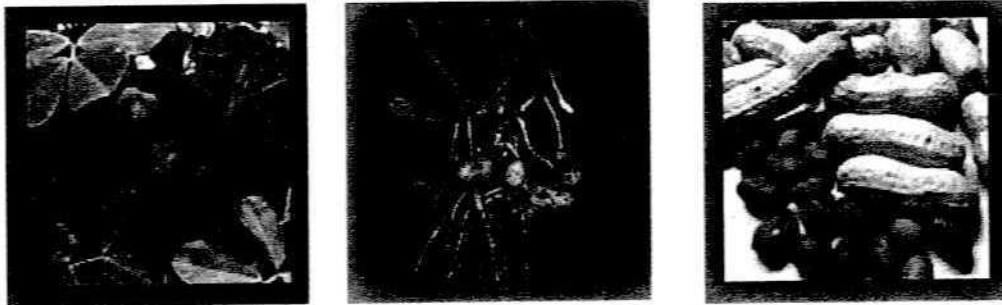
ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เพราะเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมภายในประเทศหลายชนิด แหล่งผลิตถั่วเหลืองในปัจจุบันได้กระจายไปทุกภาคของประเทศไทย จากการพยากรณ์โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2548/49 พบว่า ภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองมากที่สุด คือ 688,055 ไร่ และภาคอื่น ๆ ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง มีพื้นที่การปลูก 235,894 และ 104,649 ไร่ ตามลำดับ และในอดีตที่ผ่านมารัฐบาลมีนโยบายเร่งรัดการผลิตถั่วเหลืองให้เพียงพอใช้ในประเทศ โดยดำเนินการเร่งรัดการผลิตควบคู่กับการกำหนดมาตรการควบคุมการนำเข้าเมล็ดถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ความคุ้มครองเกษตรกรผู้ผลิตถั่วเหลือง ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นมา โดยตลอดแต่ยังไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ภายในประเทศ โดยเฉพาะช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 5 (ปี พ.ศ. 2525 - 2529) อัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่เพาะปลูก และผลผลิตถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 23 และร้อยละ 33 ตามลำดับ แม้ว่าภาวการณ์ผลิตจะฝกผัน ในขณะที่พืชแข่งขันอื่น เช่น ข้าวนาปรัง ถั่วเขียว ข้าวโพด เป็นต้น มีแนวโน้มราคาสูงขึ้น ประกอบกับเกษตรกรมักประสบปัญหาภัยธรรมชาติ เช่น ฝนแล้ง น้ำท่วมอยู่เสมอ ทำให้เกษตรกรขาดแรงจูงใจในการผลิตถั่วเหลือง จึงหันไปปลูกพืชอย่างอื่นแทน เป็นสาเหตุให้พื้นที่และผลผลิตถั่วเหลืองมีแนวโน้มลดลง สำหรับปริมาณการผลิตและการใช้ทั้งประเทศนั้น พบว่า ในปี พ.ศ.

2548/49 นั้นการปลูกถั่วเหลืองมีเนื้อที่ให้ผลผลิต 1,039,215 ไร่ โดยมีปริมาณผลผลิตอยู่ที่ 249,964 ตัน เฉลี่ยผลผลิตต่อไร่อยู่ที่ 241 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2549)

ประเทศไทยผลิตถั่วเหลืองไม่เพียงพอับความต้องการใช้ จึงต้องพึ่งการนำเข้าถั่วเหลืองจากต่างประเทศเป็นหลัก ความเคลื่อนไหวราคาถั่วเหลืองในตลาดโลกมีอิทธิพลต่อราคาถั่วเหลืองภายในประเทศ ในปี พ.ศ. 2547 เศรษฐกิจโลกมีการขยายตัวในอัตราสูง โดยเฉพาะประเทศจีน ส่งผลให้ความต้องการใช้เมล็ดถั่วเหลืองปรับตัวสูงขึ้นคู่กับผลผลิตที่เพิ่มขึ้น ราคาถั่วเหลืองโลกจึงปรับตัวสูงขึ้น ทำให้ราคาถั่วเหลืองของไทยอยู่ในเกณฑ์สูง อย่างไรก็ตามปี พ.ศ. 2548 เศรษฐกิจโลกยังขยายตัวอย่างต่อเนื่องประกอบกับการระบอบของเชื้อไข้หวัดนกในประเทศเพื่อนคลาขลยคาดว่าราคาถั่วเหลืองภายในประเทศยังอยู่ในเกณฑ์ดี

2.2.1.4 น้ำมันถั่วลิสง

ถั่วลิสงเป็นพืชตระกูลถั่วที่สามารถปลูกได้ทั้งปี และสามารถนำมาใช้บริโภคได้หลากหลายรูปแบบทั้งในการบริโภคสด นำไปประกอบอาหารและขนมต่าง ๆ ปัจจุบันการผลิตถั่วลิสงไม่เพียงพอับความต้องการใช้ภายในประเทศ จึงมีการนำเข้าถั่วลิสงจากต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น ถั่วลิสงสามารถนำไปเป็นอาหารโดยตรง เช่น ถั่วต้ม ถั่วทอด ถั่วชุบแป้งทอด ถั่วตัด ถั่วเคลือบ ถั่วป่น บริโภคทางอ้อม เช่น น้ำมันพืช ผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ และปุย ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ภาพถ่ายดินและฝักของถั่วลิสง

แหล่งที่มา: โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, 2549

ปริมาณการผลิตทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2548/49 พบว่า การปลูกถั่วลิสงมีเนื้อที่ให้ผลผลิต 294,895 ไร่ โดยมีปริมาณผลผลิตอยู่ที่ 76,966 ตัน เฉลี่ยผลผลิตต่อไร่อยู่ที่ 261 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2549)

2.2.1.5 น้ำมันละหุ่ง

การปลูกและการใช้ประโยชน์จากน้ำมันละหุ่งนั้นแพร่หลายมากในเขตร้อน และกึ่งร้อนของทวีปแอฟริกา เอเชีย และยุโรป มาเป็นเวลาช้านาน บราซิลเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ รองลงไป ได้แก่ อินเดีย รัสเซีย จีน ไทย และอาร์เจนตินา ในปี พ.ศ. 2530 ประเทศไทยผลิตละหุ่งได้ 31,800 ตัน จากพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 283,000 ไร่ และเป็นมูลค่าที่เกษตรกรขายได้ 283 ล้านบาท น้ำมันละหุ่งมีคุณสมบัติเฉพาะตัว ซึ่งไม่สามารถนำเอาน้ำมันพืชชนิดอื่นมาใช้ทดแทนได้ เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตเรซิน (Resin) และเส้นใยเทียม พลาสติก หนังเทียม น้ำมันชักเงา น้ำมันผสมสี ฉนวนไฟฟ้า ฯลฯ น้ำมันละหุ่งหลังจากผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้ว นำไปใช้ผลิตยารักษาโรค ยาระบาย เครื่องสำอางชนิดต่างๆ และสบู่ อุตสาหกรรมเหล่านี้ได้ขยายตัวมากขึ้น เนื่องจากตลาดมีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยปริมาณการผลิตทั้งประเทศ ในปี พ.ศ. 2548/49 พบว่าการปลูกละหุ่งมีเนื้อที่ให้ผลผลิต 18,675 ไร่ และมีปริมาณผลผลิตอยู่ที่ 318.08 ตัน เฉลี่ยผลผลิตต่อไร่อยู่ที่ 151.40 กิโลกรัม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549) ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ภาพถ่ายต้นและฝักของเมล็ดละหุ่ง

แหล่งที่มา: โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, 2549

2.2.1.6 น้ำมันงา

งาเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญประเภทหนึ่งของประเทศไทย จัดเป็นพืชล้มลุก มีผลเป็นฝัก เมล็ดเล็ก ๆ สีขาว หรือสีดำ มีการเพาะปลูกมานาน ปลูกง่าย อายุสั้น ลงทุนน้อย ทนต่อสภาพแห้งแล้ง ได้ดี ถิ่นและรสของเมล็ดงามีลักษณะคล้ายกับถั่ว องค์ประกอบที่สำคัญในเมล็ดงา คือ น้ำมัน ซึ่งมีอยู่ประมาณ 44 - 60% ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการปรุงอาหาร ผลิตภัณฑ์ ทำสบู่ ยา และ น้ำมันหล่อลื่น นอกจากนี้ยังเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางบางชนิด ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ภาพดอกและฝักของงา

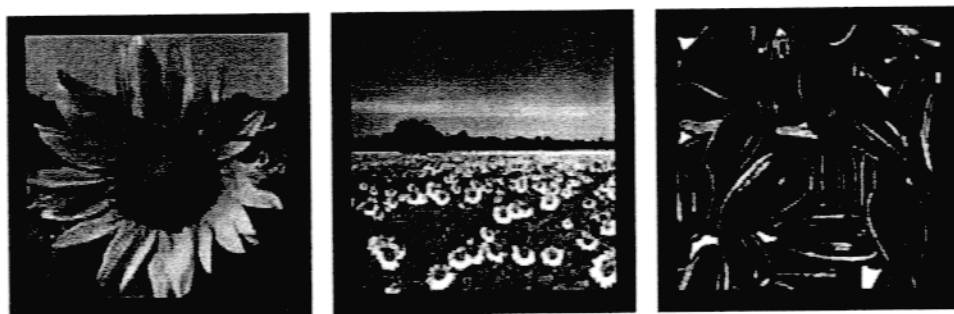
แหล่งที่มา: โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, 2549

ในปี พ.ศ. 2548/49 มีการเพาะปลูกงาโดยมีเนื้อที่ให้ผลผลิต 179,209 ไร่ มีปริมาณผลผลิตอยู่ที่ 28,186.34 ตัน เฉลี่ยผลผลิตต่อไร่อยู่ที่ 288.77 กิโลกรัม ราคาที่เกษตรกรขายได้อยู่ที่ 26.85 บาท/กิโลกรัม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549)

2.2.1.7 น้ำมันเมล็ดทานตะวัน

ทานตะวันจัดเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญทางเศรษฐกิจรองจากถั่วเหลือง และปาล์มน้ำมัน ทานตะวันเป็นพืชที่ทนต่อสภาพแล้งได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับพืชไร่อื่น ๆ เช่น ข้าวโพด และยังมีความคุ้มค่าทางโภชนาการสูง ส่วนกากที่ได้หลังจากการสกัดน้ำมันแล้วมีโปรตีน 40 - 50 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันทานตะวันมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวประมาณ 88 เปอร์เซ็นต์ ประโยชน์จากน้ำมันทานตะวันนั้นสามารถใช้สำหรับบริโภค ทำสบู่ อุตสาหกรรมฟอกสี เคทือบผิวผลไม้ ในลักษณะจี๊ตัง เช่น ทำเทียนไข หรือเครื่องสำอาง และนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น เนยเทียม น้ำมันสลัด ครีม และนมที่มี

ไขมัน ใช้บริโภคโดยตรง เช่น ไข่เม็ลล์มาคั่วอบเกลือหรือนำเม็ลล์ที่สมบูรณ์มากะเทาะเปลือกเอาเนื้อไปปรุงแต่งรสชาติ กากนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์และนำไปทำ Lecithin เพื่อใช้ในทางการแพทย์ ในการลดคอเลสเตอรอลในคนไข้ที่มีโคเลสเตอรอลในเส้นเลือด ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ภาพดอกและเมล็ดของทานตะวัน

แหล่งที่มา: โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, 2549

โดยประเทศไทยมีแหล่งปลูกที่สำคัญในประเทศไทย ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดลพบุรี สระบุรี ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดนครสวรรค์ เพชรบูรณ์ อุทัยธานี พะเยา ดาก เชียงราย เชียงใหม่ แพร่ น่าน ภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดสระแก้ว ปราจีนบุรี จันทบุรี ภาคตะวันตก ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี สุพรรณบุรี ราชบุรี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา ศรีสะเกษ หนองบัวลำภู ขอนแก่น ความต้องการผลผลิตเม็ลล์ทานตะวันของโรงงานสกัดน้ำมันและอุตสาหกรรมอาหารมีความต้องการปีละประมาณ 100,000 ตัน ซึ่งประเทศไทยสามารถเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกทานตะวัน แต่เม็ลล์พันธุ์มีราคาค่อนข้างสูงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ แต่อย่างไรก็ตาม การผลิตทานตะวันยังเป็นสิ่งจำเป็น เพราะทุกปีประเทศไทยต้องนำเข้าเม็ลล์และผลิตภัณฑ์จากทานตะวันไม่ต่ำกว่าปีละ 700 ล้านบาท ถ้ามีการส่งเสริมการปลูกทานตะวันได้อย่างเพียงพอ นอกจากทดแทนการนำเข้าแล้วยังสามารถส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศได้อีกด้วย สำหรับปริมาณการผลิตในปี พ.ศ. 2548/49 นั้น พบว่า การปลูกทานตะวันมีเนื้อที่ให้ผลผลิต 249,078 ไร่ โดยมีปริมาณผลผลิตอยู่ที่ 20,173.41 ตัน เม็ลล์ผลผลิตต่อไร่อยู่ที่ 162.71 กิโลกรัม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549)

2.2.1.8 น้ำมันสบู่ดำ

สบู่ดำ เป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่ง น้ำมันที่ได้จากเมล็ดสบู่ดำ สามารถใช้กับเครื่องยนต์ ดีเซลที่เกษตรกรใช้อยู่ได้ โดยไม่ต้องใช้น้ำมันชนิดอื่นผสมอีก ใช้เป็นสมุนไพรรักษาโรค ใช้ปลูกเป็นแนวรั้วเพื่อป้องกันสัตว์เลื้อยเข้าทำลายผลผลิต เนื่องจากมีสารพิษ Hydrocyanic มีกลิ่นเหม็นเขียว สบู่ดำจึงเป็นพืชที่นำให้ความสนใจเป็นอย่างยิ่งในสถานะที่ราคาน้ำมันดีเซลมีราคาสูงอย่างในปัจจุบัน สบู่ดำมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* Linn. อยู่ในวงศ์ไม้ยางพารา ปัจจุบันสบู่ดำมีปลูกอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย มีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น ภาคเหนือ เรียกว่า มะหุ้งฮั่ว ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เรียกว่า มะเขยหรือสีหลอด ภาคใต้ เรียกว่า มนคาะ ดังแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ภาพถ่ายต้นและเมล็ดสบู่ดำ

แหล่งที่มา: โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, 2549

ประโยชน์ของสบู่ดำ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ ขงจากก้านใบ ใช้ป่ายรักษาโรคปากนกกระจอก ห้ามเลือด แก้ปวดฟัน แก้คันเป็นฝีขาว โดยผสมกับน้ำมันมะรดาป่ายลิ้น ถัดต้นคัดเป็นท่อนคั้นน้ำให้เติกกินแก้ขางตาขโมย คัดเป็นท่อนแช่น้ำอาบแก้โรคพุพอง ใช้เป็นแนวรั้วป้องกันสัตว์เลื้อย เช่น โค กระบือ ม้า แพะ เข้าทำลายผลผลิต เมล็ดหีบน้ำมัน ใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล ใช้บำรุงรากคม ใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้กากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน ซึ่งมีธาตุอาหารหลักมากกว่าปุ๋ยหมักและมูลสัตว์หลายชนิด ยกเว้นมูลไก่ที่มีฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมากกว่าและยังมีสารพิษ Curcin มีฤทธิ์เหมือนสลด เมื่อกินเข้าไปแล้วจะทำให้ท้องเดิน

น้ำมันที่ได้จากการสกัดเมล็ดสบู่ดำสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ โดยไม่ต้องใช้ส่วนผสมและไม่ทำให้เครื่องยนต์เสียหาย กากเมล็ดสบู่ดำที่เหลือจากการสกัดน้ำมันมีปริมาณ

โนโตรเจนสูง ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการ จึงสามารถนำไปเป็นปุ๋ยอินทรีย์ของพืชได้ (ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร, 2548 อ้างถึงใน ปิติพันธุ์ สุปัญญาพันธ์, 2549: 36)

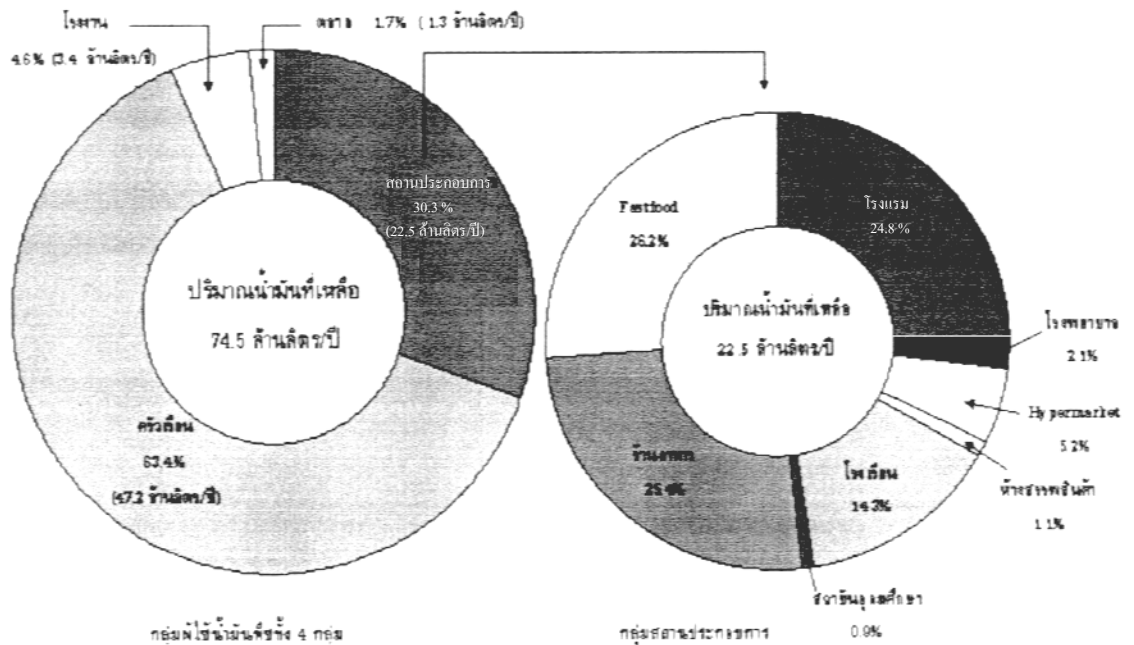
2.2.1.9 น้ำมันพืชใช้แล้ว

แนวทางการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซลทดแทนการนำเข้าน้ำมันดีเซลจากต่างประเทศเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล แก้ปัญหาการค่าน้ำมันแพง และส่งผลดีต่อสุขภาพของประชาชน โดยทำการพยากรณ์ด้วยหลักวิชาการทางสถิติถึงปริมาณน้ำมันพืชที่เหลือจากกลุ่มใช้น้ำมันพืชทั้งกลุ่มทั่วประเทศนั้น พบว่า ปริมาณน้ำมันพืชที่เหลือทั้งหมดของทุกกลุ่มเท่ากับ 74.5 ล้านลิตร/ปี โดยกลุ่มครัวเรือนมีปริมาณน้ำมันพืชเหลือมากที่สุด คือ 47.2 ล้านลิตร/ปี หรือ คิดเป็นร้อยละ 63.4 รองลงมา คือ สถานประกอบการ 22.5 ล้านลิตร/ปี หรือ คิดเป็นร้อยละ 30.3 โรงงานอุตสาหกรรม 3.4 ล้านลิตร/ปี หรือ คิดเป็นร้อยละ 4.6 และ ผู้นำจำหน่ายของทอดในตลาด 1.3 ล้านลิตร/ปี หรือ คิดเป็นร้อยละ 1.7 (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548 อ้างถึงใน ปิติพันธุ์ สุปัญญาพันธ์, 2549: 36)

ทั้งนี้หากพิจารณาเฉพาะกลุ่มสถานประกอบการ จะพบว่า ปริมาณน้ำมันพืชที่เหลือทั้งหมดของกลุ่มสถานประกอบการ เท่ากับ 22.5 ล้านลิตร/ปี โดยกลุ่มฟาสต์ฟู้ดส์ มีปริมาณน้ำมันพืชเหลือมากที่สุด คือ 5.9 ล้านลิตร/ปี หรือคิดเป็นร้อยละ 26.2 รองลงมา คือ ร้านอาหาร 5.7 ล้านลิตร/ปี หรือคิดเป็นร้อยละ 25.3 โรงแรม 5.6 ล้านลิตร/ปี หรือคิดเป็นร้อยละ 24.8 โรงเรียน 3.2 ล้านลิตร/ปี หรือคิดเป็นร้อยละ 14.3 Hypermarket 1.2 ล้านลิตร/ปี หรือคิดเป็นร้อยละ 5.2 โรงพยาบาล 0.48 ล้านลิตร/ปี หรือคิดเป็นร้อยละ 2.1 ห้างสรรพสินค้า 0.24 ล้านลิตร/ปี หรือคิดเป็นร้อยละ 1.1 และสถาบันอุดมศึกษา 0.21 ล้านลิตร/ปี หรือ คิดเป็นร้อยละ 0.9

หากพิจารณาถึงปริมาณน้ำมันที่ซื้อทั้งหมดของทุกกลุ่ม เท่ากับ 573.9 ล้านลิตร/ปี โดยกลุ่มครัวเรือนมีปริมาณการซื้อน้ำมันพืชมากที่สุด คือ 429.2 ล้านลิตร/ปี หรือคิดเป็นร้อยละ 74.8 รองลงมา คือ สถานประกอบการ 83.8 ล้านลิตร/ปี หรือคิดเป็นร้อยละ 14.6 โรงงานอุตสาหกรรม 51.7 ล้านลิตร/ปี หรือคิดเป็นร้อยละ 9.0 และผู้นำจำหน่ายของทอดในตลาด 9.2 ล้านลิตร/ปี หรือคิดเป็นร้อยละ 1.6

ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาร้อยละของปริมาณน้ำมันที่เหลือเทียบกับน้ำมันที่ซื้อพบว่า กลุ่มที่มีร้อยละน้ำมันที่เหลือเทียบกับน้ำมันที่ซื้อมากที่สุด คือ กลุ่มสถานประกอบการ (26.9 เปอร์เซ็นต์) รองลงมา คือ กลุ่มผู้ขายของทอดในตลาด (13.8 เปอร์เซ็นต์) กลุ่มครัวเรือน (11.0 เปอร์เซ็นต์) และกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม (6.0 เปอร์เซ็นต์) ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 แผนภูมิปริมาณน้ำมันพืชใช้แล้วของกลุ่มผู้ใช้แต่ละประเภท

แหล่งที่มา: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สถาบันจัดการและอนุรักษ์พลังงาน, 2549

ในน้ำมันที่นำมาผลิตไบโอดีเซลนั้น จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบสำคัญ คือ ไตรกลีเซอไรด์ มีโครงสร้างเป็น C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว มีปริมาณกรดไขมันถึงร้อยละ 94 - 96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ความแตกต่างของน้ำมันที่ได้จากพืชและสัตว์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับส่วนของอนุกรมกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในไตรกลีเซอไรด์ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กรดไขมันชนิดต่างๆ

กรดไขมัน	จำนวน C	สูตรโมเลกุล	แหล่งธรรมชาติ
Capric	8	$C_7H_{15}COOH$	มะพร้าว
Capric	10	$C_7H_{15}COOH$	มะพร้าว
Lauric	12	$C_7H_{15}COOH$	มะพร้าว
Myristic	14	$C_7H_{15}COOH$	มะพร้าว ปลาวาฬ วัว ควาย แกะ หมู
Myristoleic	14	$C_7H_{15}COOH$	ปลาวาฬ หมู
Palmitic	16	$C_7H_{15}COOH$	หมู ไก่สัตว์ เมล็ดฝ้าย มะพร้าว
Palmitoleic	16	$C_7H_{15}COOH$	เม่นฮาดเคน ปลาวาฬ หมู
Stearic	18	$C_7H_{15}COOH$	พืชและสัตว์ที่ให้น้ำมันทุกชนิด
Oleic	18	$C_7H_{15}COOH$	พืชและสัตว์ที่ให้น้ำมันทุกชนิด
Linoleic	18	$C_7H_{15}COOH$	เมล็ดฝ้าย ถั่ว ข้าวโพด เมล็ดลิน ไก่สัตว์
Linolenic	18	$C_7H_{15}COOH$	เมล็ดลิน ถั่ว ปลาวาฬ
Arachidic	20	$C_7H_{15}COOH$	หมู ถั่ว ข้าวโพด
Arachidonic	20	$C_7H_{15}COOH$	เม่นฮาดเคน ปลาวาฬ เมล็ดลิน
Clupanadonic	22	$C_7H_{15}COOH$	เม่นฮาดเคน ปลาวาฬ
Lignoceric	24	$C_7H_{15}COOH$	ข้าวโพด

แหล่งที่มา: วัชร ทยสมุท อพารวิศว์ ครอบงูท และสุรชัย พันแก้ว, 2542 อ้างถึงใน นิตยา ลิ่นจี่ และบุพดี ดวงสวัสดิ์, 2544: 5

น้ำมันพืชเป็นสารที่ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ที่อุณหภูมิสูง หลังจากเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเกิดขึ้น สารเหนียวขึ้น น้ำมันพืชส่วนใหญ่มีคาร์บอนระหว่าง 12 - 18 ตัว เป็นองค์ประกอบในกรดไขมัน และมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวแตกต่างกัน น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงจะมีค่าไอโอดีนต่ำ ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชเป็นดัชนีบอกระดับการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้มากหรือน้อย ดังนั้น การเลือกใช้น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำในการทำไบโอดีเซล จะเกิดสารเหนียวจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในเครื่องยนต์ต่ำ

ชนิดของน้ำมันพืชแบ่งตามค่าไอโอดีนเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ (พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล, 2544 อ้างถึงใน อนุรักษ์ เสนาธิบดี และวิธาน เกียรติกุล, 2544: 9)

- 1) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนระหว่าง 160 - 230 หรือเรียกว่าน้ำมันซักแห้ง (Drying Oil) เป็นน้ำมันที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้มาก
- 2) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนระหว่าง 125 - 150 หรือเรียกว่าน้ำมันกึ่งซักแห้ง (Semi - Drying Oil)
- 3) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำกว่า 120 หรือเรียกว่าน้ำมันไม่ซักแห้ง (Non - Drying Oil)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ

น้ำมันพืช	ความถ่วงจำเพาะ ^{21°C} (กรัม/มิลลิลิตร)	ความหนืด ^{21°C} (เซนติพอยต์)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กิโลกรัม)
น้ำมันถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
น้ำมันทานตะวัน	0.918	60.0	39,490
น้ำมันมะพร้าว	0.915	51.9	37,540
น้ำมันถั่วลิสง	0.914	67.1	39,470
น้ำมันปาล์ม	0.898	88.6	39,550
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39,720
น้ำมันเมล็ดสับจั่ว	0.915	36.9 ^{38°C}	39,000
น้ำมันคัสเชล	0.845	3.8	46,800

แหล่งที่มา: พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล, 2544 อ้างถึงใน อนุรักษ์ เสนาธิบดี และวิธาน เกียรติกุล
ไพบุล, 2544: 9

2.2.2 การผลิตไบโอดีเซล (Fangrui and Milford, 1999 อ้างถึงใน ณัฐพงศ์ เสนาธิบดิ์ และ วิชาน เกียรติอุบลไพบูล, 2544: 9)

2.2.2.1 การนำมาใช้โดยตรงและการผสม (Direct use and blending)

การนำมาใช้โดยตรง คือ การนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนตดีเซล โดยไม่ต้องเติมสารเคมีอื่นเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน ความพยายามใช้น้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าดเป็นตัวทำละลายผสมกับน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์โดยตรงในสัดส่วนต่าง ๆ เพื่อต้องการลดความหนืดของน้ำมันพืช และไม่ให้เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาวนั้น ในทางปฏิบัติปัญหาที่เห็นได้ชัด คือ น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์มีความหนืดสูงเพราะมีส่วนประกอบของกรดไขมันอิสระสูงอยู่ ทำให้เกิดเป็นยางเหนียวจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษากับปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจากการเผาไหม้ และเกิดคราบคาร์บอนสะสม

2.2.2.2 การทำเป็นไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

การทำไมโครอิมัลชันเป็นการกระจายอนุภาคของเหลวที่แขวนลอยในตัวกลางของเหลวอีกชนิดหนึ่งอย่างสมดุล ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1 - 150 นาโนเมตร โดยของเหลวทั้งสองชนิดไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และกระจายตัวอยู่ได้ด้วยสารลดแรงดึงผิวชนิดมีประจุและไม่มีประจุ วัตถุประสงค์ของวิธีการนี้ คือ เพื่อแก้ปัญหาเรื่องความหนืดของน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ที่มีค่าสูง โดยใช้ตัวทำละลาย เช่น เมทานอล เอทานอล และ 1 - บิวทานอล ในการทำไมโครอิมัลชัน วิธีนี้สามารถปรับปรุงลักษณะการฉีดเป็นละอองฝอยของน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์จากหัวฉีด

2.2.2.3 การแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal Cracking or Pyrolysis)

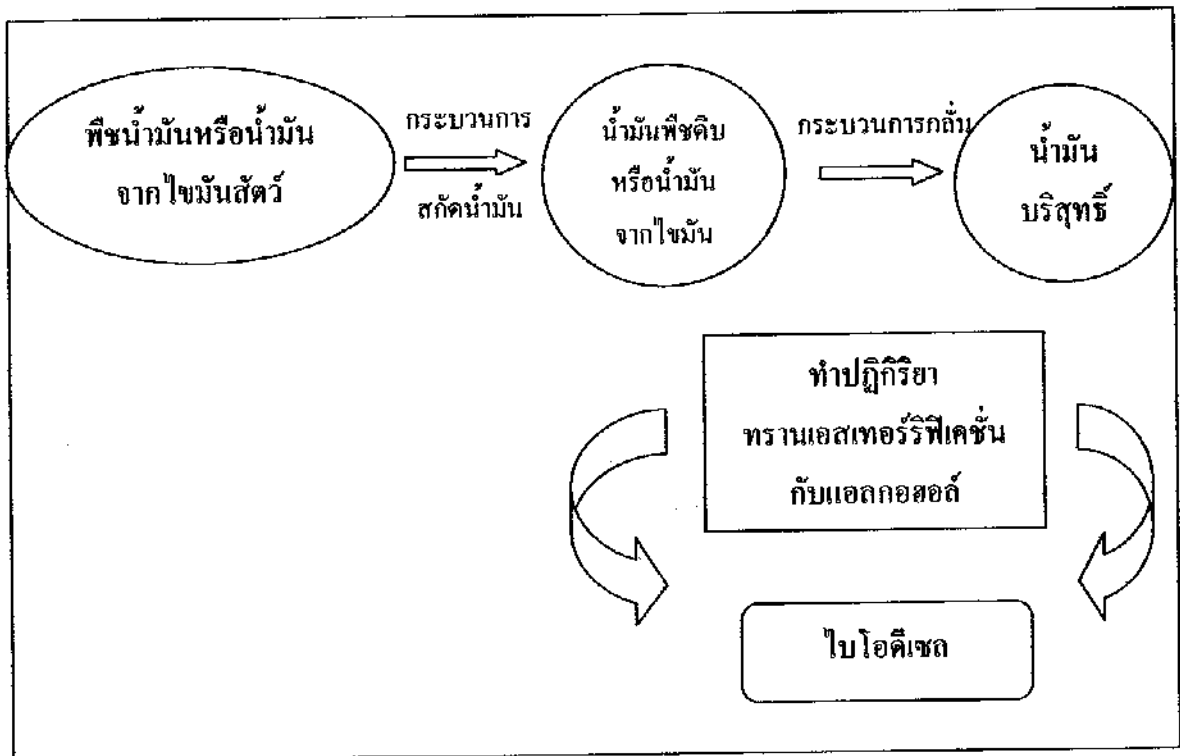
กระบวนการไพโรไลซิสเป็นการเปลี่ยนสารหนึ่งไปเป็นสารอื่น ๆ มากกว่าหนึ่งสารโดยใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวหรือ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วยโดยไม่ใช้อากาศหรือออกซิเจน และการแตกพันธะทางเคมีไปเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ วัตถุประสงค์ที่ไพโรไลซิสอาจเป็นน้ำมันพืช น้ำมันจากไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

2.2.2.4 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)

ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ และแอลกอฮอล์เพื่อเกิดเป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มผลอัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลผลิตด้วย เนื่องจากปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ การใช้แอลกอฮอล์

มากเกินพอจะช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางผลิตภัณฑ์ได้ดี ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

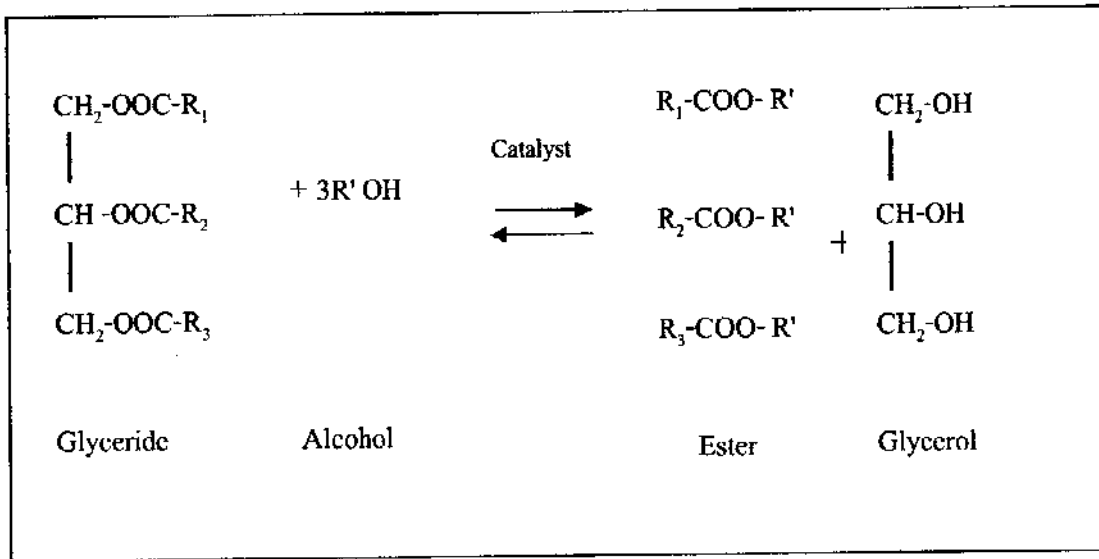
กระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริเฟชัน แสดงดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างง่ายในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์

แหล่งที่มา: Fangrui and Milford , 1999 อ้างถึงใน ฉัฐพงษ์ เสนาธิบดี และวิธาน เกียรติอุบลไพฑูร, 2544 : 6

ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริเฟชันเป็นปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ของไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น คือ เอสเทอร์และกลีเซอรอล ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังภาพที่ 2.13 ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริเฟชันมักจะมีตัวเร่งปฏิกิริยาและ การใช้แอลกอฮอล์ที่มากเกินพอจะช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางผลิตภัณฑ์มากขึ้น



ภาพที่ 2.13 การเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมัน

แหล่งที่มา: Fangrui and Milford , 1999 อ้างถึงใน ณัฐพงศ์ เสนาธิบดี และวิธาน เกียรติกุลบล โพลู, 2544: 6

อะลิฟาติกแอลกอฮอล์ (Aliphatic alcohol) ชนิดปฐมภูมิและทุติยภูมิที่มีหมู่ไฮดรอกซิล หมู่เดี่ยวและมีคาร์บอน 1 - 8 อะตอม เช่น เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล และเอมิลแอลกอฮอล์ สามารถนำมาใช้ทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งระหว่างแอลกอฮอล์ต่าง ๆ เหล่านี้ เมทานอลและเอทานอลนิยมนำมาใช้ในการทำปฏิกิริยามากที่สุด โดยเฉพาะเมทานอลเพราะมีราคาถูก และประโยชน์ในด้านคุณสมบัติทางกายภาพ นั่นคือความมีขี้ผึ้งและเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโซ่สั้นที่สุด ซึ่งจะสามารถทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้เร็วมาก มวลสารสัมพันธ์ (Stoichiometric) ของการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันอย่างสมบูรณ์ คือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์กับไตรกลีเซอไรด์ เท่ากับ 3 : 1 ในทางปฏิบัติจะต้องใช้อัตราส่วนที่สูงกว่านี้เพื่อให้สมดุลของปฏิกิริยามีทิศทางที่จะได้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์มากที่สุด ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันสามารถเร่งได้โดยใช้ด่าง กรด หรือเอนไซม์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด เช่น กรดซัลฟูริก กรดซัลโฟนิก และกรดไฮโดรคลอริก ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์นั้นสามารถใช้ไลเปส (Lipase) ได้ การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเร็วกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปกติจะใช้เวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง

การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น ไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืชจะต้องเป็นแอนไฮดริสอย่างแท้จริง (ปริมาณน้ำ ≤ 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และปราศจากกรดไขมันอิสระ (ปริมาณกรดไขมันอิสระ ≤ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เพราะว่าจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification) ขึ้นบางส่วน สบู่จะลดการเกิดเอสเทอร์และจะทำให้เกิดการแยกของเอสเทอร์กับกลีเซอรอล รวมถึงทำให้การล้างผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำทำได้ยากขึ้น การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต้องการใช้ไตรกลีเซอไรด์ที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิสระต่ำ ๆ ถ้ามีน้ำหรือกรดไขมันอิสระในไตรกลีเซอไรด์ควรใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดแทน ไตรกลีเซอไรด์สามารถทำให้บริสุทธิ์ได้โดยใช้ปฏิกิริยาการทำสบู่แล้วค่อยทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นด่าง

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์จะประกอบด้วย ส่วนผสมเอสเทอร์ กลีเซอรอล แอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยา โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ การแยกสิ่งเจือปนออกเพื่อให้ได้เอสเทอร์บริสุทธิ์ทำได้ยาก โมโนกลีเซอไรด์ทำให้เกิดความขุ่นในรูปของผสมของเอสเทอร์ ปัญหานี้เห็นได้ชัดโดยเฉพาะ การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น ไขวัว สิ่งเจือปนเหล่านี้ก่อให้เกิดจุดหมอก (Cloud Point) และจุดไหลเท (Pour Point) สูงขึ้น นอกจากนี้กรดไขมันที่อยู่ในรูปของเอสเทอร์ของไขวัว จะเป็นกรดไขมันอิ่มตัวจำนวนมาก (ประมาณ 50 % โดยน้ำหนัก) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้มีจุดหมอกและจุดไหลเทสูงกว่าเอสเทอร์ของน้ำมันพืช อย่างไรก็ตามองค์ประกอบเหล่านี้ก็มีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น ในการทำอาหาร สารซักล้าง และการทำเครื่องสำอาง เป็นต้น กลีเซอรอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมจะสามารถนำกลับไปใช้ได้ การแยกกลีเซอรอลทำได้โดยการตกตะกอนหรือแยกโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันและไขมันตามธรรมชาติเป็นกระบวนการที่นิยมที่สุดในการผลิตไบโอดีเซล วัตถุประสงค์ของกระบวนการนี้ คือ การลดความหนืดของน้ำมันหรือไขมันลง แม้ว่าวิธีไมโครอิมัลชันและวิธีการผสมน้ำมันด้วยตัวทำละลายสามารถลดความหนืดได้ แต่ยังคงมีปัญหาในเรื่องประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ และเกิดคราบคาร์บอน ส่วนวิธีไพโรไลซิสนั้นจะผลิตก๊าซโซลีนออกมามากกว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพ ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนอย่างง่ายได้ดังนี้ คือ ในตอนแรกไตรกลีเซอไรด์จะถูกทำให้เป็นไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ จากนั้นในขั้นสุดท้ายโมโนกลีเซอไรด์ก็จะถูกทำให้เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน อันดับของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับสภาวะของปฏิกิริยา ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Fangrui and Milford, 1999 อ้างถึงใน ณัฐพงศ์ เสนาธิปติ และวิธาน เกียรติอุบลไพบูล, 2544: 6) คือ

- 1) อัตราส่วนโดยโมลของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์
- 2) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
- 3) อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา
- 4) ปริมาณของกรดไขมันอิสระกับน้ำในน้ำมันและไขมัน
- 5) ความเร็วรอบในการปั่นกวน

จากงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา พบว่า อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ค่อน้ำมันที่ใช้กันมากคือ อัตราส่วน 6 ต่อ 1 (Fangrui and Milford, 1999 อ้างถึงใน ณัฐพงศ์ เสนาธิบดี และวิธาน เกียรติอุบลไพบูล, 2544: 8) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นค่ามีประสิทธิภาพมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดหรือเอนไซม์ ปริมาณของค่า และค่าที่ใช้ควรอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 1 % โดยน้ำหนักของน้ำมันหรือไขมัน (Muniyapp, Brammer and Noureddini, 1996 อ้างถึงใน ณัฐพงศ์ เสนาธิบดี และวิธาน เกียรติอุบลไพบูล, 2544: 6) การใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงจะช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้นและจะลดเวลาในการทำปฏิกิริยาลง (Fangrui and Milford, 1999 อ้างถึงใน ณัฐพงศ์ เสนาธิบดี และวิธาน เกียรติอุบลไพบูล, 2544: 6)

2.2.3 สารเคมีที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

- 1) แอลกอฮอล์ เป็นสารที่แตกตัวให้หมู่อัลคิล (Alkyl Group) เพื่อรวมตัวกับกรดไขมันเกิดเป็นเอสเทอร์ใหม่ ที่นิยม ได้แก่ เมทานอลให้หมู่เมทิล และเอทานอลให้หมู่เอทิล
- 2) ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมโยงให้กรดไขมันอิสระแตกตัวออกมาจากไตรกลีเซอไรด์และทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ขณะเดียวกันหมู่ไฮดรอกซิลก็จะเข้าไปรวมตัวกับส่วนของกลีเซอรอลในไตรกลีเซอไรด์ เป็นกลีเซอรอลโมเลกุล ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่นิยม ได้แก่ เบสแก่ เช่น NaOH หรือ KOH และกรดแก่ เช่น HCl หรือ H₂SO₄

2.2.4 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชโดยใช้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน
กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช มีรายละเอียดดังนี้

- 1) วัตถุดิบ และสารเคมี
 1. น้ำมันพืช 2,000 มิลลิลิตร
 2. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 1 %
 3. เมทานอล (Methanol) หรือ เอทานอล (Ethanol) 25 %

2) ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

1. ชั่งสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 5 กรัม ต่อปริมาตรของน้ำมันพืช 1 ลิตร
2. คววมethanol จำนวน 25% ของน้ำมันพืช แล้วผสมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ คนให้เข้ากัน จะได้สารละลายโพแทสเซียมเมธอกไซด์ (อาจควมด้วยใบพัด 20 รอบต่อนาที เพื่อเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์)
3. นำน้ำมันพืชปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร อุ้มน้ำมันพืชให้ได้อุณหภูมิ 45 - 55 องศาเซลเซียส ใช้เวลานานประมาณ 20 นาที ถึง 1 ชั่วโมง ขึ้นกับปริมาณของน้ำมันพืช
4. เทสารละลายโพแทสเซียมเมธอกไซด์ลงในน้ำมันพืชที่อุ่น คนเข้ากันประมาณ 15 - 20 นาที อุณหภูมิ 50 - 60 องศาเซลเซียส
5. ยกส่วนผสมลงจากเตา ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน ให้เกิดการแยกชั้นระหว่างชั้นเมทิลเอสเทอร์กับชั้นกลีเซอริน
6. แยกน้ำมันไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) ส่วนบนออกจากกลีเซอรินด้านล่าง ถ้าต้องการเลี่ยงปฏิกิริยาการเกิดสบู่ขึ้น ให้เติมกรด เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ลงไปในสัดส่วนโมลที่เท่ากัน
7. ล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำอุ่นปริมาตร 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารทั้งหมด จำนวน 3 ครั้ง เพื่อกำจัดแอลกอฮอล์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ตกค้าง (ห้ามเทน้ำอย่างแรง หากไม่เติมกรดก่อน เนื่องจากจะทำให้เกิดสบู่ขึ้นได้)
8. ก่อนการล้างครั้งต่อไป ต้องทิ้งให้ไบโอดีเซลแยกชั้นก่อน
9. จะได้ไบโอดีเซลประมาณ 2,000 มิลลิลิตร

ไบโอดีเซลที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ เพียงแต่มีการปรับแต่งเล็กน้อย เช่น หน่วงเวลาการฉีดพ่นน้ำมันออกไป 2 - 3 องศา เพื่อแก้ไขผลที่เกิดขึ้นจากค่าซีเทนที่สูงขึ้นของไบโอดีเซล

เมื่อเริ่มต้นใช้ไบโอดีเซลควรใช้ไส้กรองน้ำมันใหม่และควรตรวจสอบว่าในระบบเชื้อเพลิงไม่ควรมีส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่เป็นยาง ถ้ามีให้เปลี่ยนเพราะไบโอดีเซลจะทำปฏิกิริยากับยาง ทำให้เสื่อมเร็วขึ้น

2.3 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล

เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล แบ่งได้เป็น 3 กระบวนการ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2547: 4 - 5) ได้แก่

1) กระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification process)

เป็นกระบวนการที่ใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเมทานอล มีข้อดี คือ เป็นเทคโนโลยีที่มีการลงทุนไม่สูงนัก เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิต่ำ และความดันต่ำกว่า 2 บรรยากาศ ผลได้ของปฏิกิริยาสูงถึง 98% แต่กระบวนการนี้จะไม่เหมาะกับวัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง เนื่องจากจะเกิดสบู่ และส่งผลให้ผลผลิตของกระบวนการลดลง

2) กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification process)

เป็นกระบวนการที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเมทานอล จะสามารถใช้ได้กับวัตถุดิบทุกชนิด และค่ากรดไขมันอิสระทุกระดับ แต่ข้อด้อย คือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน และใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน จึงทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูงกว่า

3) กระบวนการ 2 ขั้นตอน (Two - Stage process)

เป็นการแก้ปัญหาจุดด้อยของ 2 กระบวนการข้างต้น กล่าวคือ สามารถใช้ได้กับน้ำมันที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูง ในขณะที่เดียวกันก็มีการใช้พลังงานต่ำ โดยหลักการ คือ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด เปลี่ยนกรดไขมันของน้ำมันเป็นสารเอสเทอร์ในขั้นตอนแรก และในขั้นตอนที่สอง ใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเช่นเดียวกับกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ถึงแม้ว่ากระบวนการนี้จะใช้พลังงานต่ำกว่ากระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันอย่างเดียว แต่หากวัตถุดิบมีค่ากรดสูงมาก ๆ กระบวนการในขั้นตอนแรกจะใช้เวลามากขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของไบโอดีเซลสูงขึ้นตามไปด้วย

2.3.1 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2547: 5)

เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์ สามารถแบ่งกระบวนการที่ใช้ได้ 3 ประเภท ได้แก่ แบบกะ แบบต่อเนื่องด้วยวิธีทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน และแบบต่อเนื่องชนิด 2 ขั้นตอน ใช้ทั้งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และทรานเอสเทอร์ฟิเคชันควบคู่กันไป

2.3.1.1 เทคโนโลยีการผลิตแบบกะ (Batch Technology)

มีข้อดี คือ ราคาถูก แต่คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาจมีความไม่สม่ำเสมอ และมีกำลังการผลิตต่อครั้งไม่มากนัก

2.3.1.2 เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่องด้วยวิธีการานเอสเทอร์ฟิเคชัน

เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่องด้วยวิธีการานเอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นกระบวนการที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่าแบบกะด้วยอัตราค่าลังการผลิตเท่ากัน แต่ทั้งนี้มีการลงทุนสูงกว่า เนื่องจากต้องมีระบบควบคุมการผลิตด้วย

2.3.1.3 เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่องชนิด 2 ขั้นตอน

เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่องชนิด 2 ขั้นตอน เป็นการใช้กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันในช่วงแรก และใช้กระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นขั้นตอนที่สอง ซึ่งวิธีการนี้จะมีความเหมาะสมกับวัตถุดิบทุกชนิด โดยเฉพาะน้ำมันที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูง บริษัทผู้ผลิตเทคโนโลยีระบบการผลิตไบโอดีเซลหลายบริษัท จากประเศยุโรป และสหรัฐอเมริกา ให้บริการเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์ ทำการผลิตทั้งแบบกะและแบบต่อเนื่อง โดยทำการผลิตโดยใช้ทั้งขั้นตอนการทำปฏิกิริยาทั้งขั้นตอนเดียว และ 2 ขั้นตอน ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 บริษัทผู้ผลิตและเทคโนโลยีระบบการผลิตไบโอดีเซล

บริษัท	ประเทศ	รายละเอียดเทคโนโลยี	กำลังการผลิต (ล้านแกลลอน /ปี)	วัตถุดิบ		ผลได้ %	ค่าใช้จ่ายใน การผลิต (Capital cost)
				ชนิดน้ำมัน	FFA		
Ballestra	อิตาลี	กระบวนการทางออสเทอริฟิเคชัน แบบต่อเนื่อง	2 - 60	น้ำมันพืช น้ำมันใช้แล้ว	n/a	99.8	n/a
BDT	ออสเตรเลีย	ความบริสุทธิ์กลีเซอริน 88 - 90% ชุดผลิตแบบเคลื่อนที่ ขนาด 20 ฟุต	0.5 - 2.5	น้ำมันพืช ไขสัตว์	< 10 %	98	n/a
Biodiesel Technology GmbH		กระบวนการต่อเนื่อง 2 ขั้นตอน โดยใช้ต่างเป็นสารเร่งปฏิกิริยา					SUS/ แกลลอน
Biodiesel Industries	สหรัฐ อเมริกา	ความบริสุทธิ์กลีเซอริน 65% ชุดผลิตแบบเคลื่อนที่ ขนาด 40 ฟุต container	0.15, 3, 10	น้ำมันพืช ไขสัตว์	ไม่จำกัด	n/a	n/a
Biodiesel International	ออสเตรเลีย	ระบบผลิตพร้อมระบบควบคุม PLS ความบริสุทธิ์กลีเซอริน 80%	1.5 - 15	น้ำมันพืช น้ำมันพืชใช้แล้ว ไขสัตว์	ไม่จำกัด	n/a	n/a

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

บริษัท	ประเทศ	รายละเอียดเทคโนโลยี	กำลังการผลิต (ล้านแกลลอน /ปี)	วัตถุดิบ		ผลได้ %	ค่าใช้จ่ายใน		ต้นทุน (Capital cost)
				ชนิดน้ำมัน	FFA		การผลิต	การผลิต	
Biosource Fuels, LLC	สหรัฐ อเมริกา	ระบบผลิตแบบต่อเนื่องรวมด้วย กระบวนการกลั่นไบโอดีเซล หรือระบบควบคุม PLC, DCS	10	น้ำมันพืช	0 - 100	n/a	0.35 - 0.5	0.65 - 1.5 \$US/ แกลลอน	
Crown Iron Work company	สหรัฐ อเมริกา	ระบบผลิตพาราเมสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แบบ 2 ขั้นตอน	Min: 5 - 10 Max: ไม่จำกัด	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด	100	n/a	รวมระบบทำ กลีเซอริน บริสุทธิ์ n/a	
Energea Biodiesel Technology	ออสเตรีย	ความบริสุทธิ์กลีเซอริน 99.7% ระบบผลิตแบบเอสเทอร์ฟิเคชัน ร่วมกับพาราเมสเทอร์ฟิเคชัน แบบต่อเนื่อง	3 - 75	น้ำมันพืช	0 - 100	100	0.42 - 0.93 \$US / แกลลอน	n/a	
Imperial Western Product, Inc	สหรัฐ อเมริกา	ความบริสุทธิ์กลีเซอริน 80% ระบบผลิตไบโอดีเซลแบบกะ ความบริสุทธิ์กลีเซอริน 90%	10	น้ำมันพืชและ ไขสัตว์	< 40	> 98	0.40 - 0.80 \$US / แกลลอน	0.20 - 0.50 \$US/แกลลอน	

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

บริษัท	ประเทศ	รายละเอียดเทคโนโลยี	กำลังการผลิต (ล้าน แกลลอน/ปี)	วัตถุดิบ		ผลได้ %	ค่าใช้จ่ายใน การผลิต	ค่าลงทุน (Capital cost)
				ไขมัน	FFA			
Lurgi PSL, Inc	สหรัฐ อเมริกา	ระบบการผลิตทรานเอสเทอร์รี พีคซ์แบบต่อเนื่อง	10	น้ำมันพืช	0 - 20	100	n/a	0.26 - 1 \$US / แกลลอน
Pacific Biodiesel, Inc	สหรัฐ อเมริกา	ความบริสุทธิ์กลีเซอริน 99.8% กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบ กะ	0.2 - 2	น้ำมันพืชใช้แล้ว	6	73	n/a	1 \$US/แกลลอน
Superior Process Technologies	สหรัฐ อเมริกา	ความบริสุทธิ์กลีเซอริน 50% กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องร่วม ด้วยการเอกลีซินมาและทำให้ บริสุทธิ์ของเมทานอลที่มากเกินพอ	n/a	น้ำมันพืช ไขสัตว์ น้ำมันพืชใช้แล้ว	< 30	n/a	n/a	0.50 - 2.5 \$US / แกลลอน
		ความบริสุทธิ์กลีเซอริน 80-99.7%						

แหล่งที่มา: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2547: 14

n/a - ไม่มีข้อมูล

ไบโอดีเซล: 1 ปอนด์ = 0.136 USแกลลอน

FFA: ปริมาณกรดไขมันอิสระ

2.3.2 มาตรฐานไบโอดีเซล ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลที่ทางราชการประกาศ
กำหนด แสดงได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานไบโอดีเซลที่ทางราชการกำหนด

รายการ	ชนิดที่ 1	ชนิดที่ 2	ชนิดที่ 3
ชื่อทั่วไป	ไบโอดีเซล บี 100	ไบโอดีเซล บี 5	ไบโอดีเซลชุมชน
ชื่อทางราชการ	ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ ของกรดไขมัน พ.ศ.2548	น้ำมันดีเซล	ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ การเกษตร(ไบโอดีเซลชุมชน)
วัตถุประสงค์	เป็นหัวเชื้อที่ใช้ผสมกับน้ำมัน ไบโอดีเซล เช่น - ใช้ บี 100 จำนวน 5 ส่วนผสม โดยปริมาตรกับดีเซล 95 ส่วน เรียกชื่อว่า บี 5 - ใช้ บี 100 จำนวน 10 ส่วน ผสมโดยปริมาตรกับดีเซล 90 ส่วน เรียกชื่อว่า บี 10 - ใช้ บี 100 จำนวน 20 ส่วน ผสมโดยปริมาตรกับดีเซล 80 ส่วน เรียกชื่อว่า บี 20 ไบโอดีเซล บี 100 ไม่แนะนำให้ ใช้กับรถยนต์เพราะผู้ผลิตและ จำหน่ายรถยนต์ยังไม่ให้การรับรอง แต่ตามข้อกำหนดไม่ห้ามใช้	ใช้กับรถยนต์ดีเซลและ เครื่องยนต์ดีเซลทุกชนิด ได้เป็นส่วนผสมระหว่างบี 100 จำนวน 5 ส่วน กับ น้ำมันดีเซล 95 ส่วน	- ให้ใช้กับเครื่องยนต์สูบ เดียว 4 จังหวะ สูบอน ระบายความร้อนด้วยน้ำ - ตามข้อกำหนดไม่ห้ามใช้ กับรถยนต์ทั่วไป
คุณภาพ	เป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจ พลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะ คุณภาพของไบโอดีเซลประเภท เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.2548 มีผลบังคับใช้ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2548 มีคุณสมบัติรวม 24 ข้อ	เป็นไปตามประกาศกรม ธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะคุณภาพ ของน้ำมันดีเซล (ฉบับที่ 3) พ.ศ.2548 มีผลบังคับใช้ 24 สิงหาคม พ.ศ. 2548 มีคุณสมบัติรวม 16 ข้อ	เป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจ พลังงาน เรื่อง กำหนด ลักษณะคุณภาพของไบโอดี เซลสำหรับเครื่องยนต์ การเกษตร (ไบโอดีเซล ชุมชน) พ.ศ.2549 มีผลบังคับ ใช้ 21 กรกฎาคม พ.ศ.2549 มีคุณสมบัติรวม 13 ข้อ

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

รายการ	ชนิดที่ 1	ชนิดที่ 2	ชนิดที่ 3
สี	ไม่กำหนด	สีน้ำเงิน	สีม่วง
ผู้มีอำนาจอนุญาต/เห็นชอบให้เก็บ/ประกอบ การค้า	ผู้ว่าราชการจังหวัด ตาม พ.ร.บ. การค้าน้ำมัน พ.ศ. 2543 ตามที่ได้รับมอบอำนาจจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน	ผู้ว่าราชการจังหวัดหรือหัวหน้าหน่วยงานบริหารราชการส่วนท้องถิ่น ตาม พ.ร.บ. ควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง 2542 ตามที่ได้รับมอบอำนาจจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน แล้วแต่กรณี	อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน (ตาม พ.ร.บ. การค้าน้ำมัน พ.ศ.2543) ผู้ค้า/ ครอบครองในปัจจุบันให้ยื่นเรื่องภายในวันที่ 19 กันยายน 2549
สถานที่จำหน่าย	สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงทุกแห่ง ทุกขนาด	สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงทุกแห่ง ทุกขนาด	สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงทุกแห่ง ทุกขนาด และต้องติดป้ายแสดงชื่อ "ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์เครื่องยนต์ (ไบโอดีเซลชุมชน) ฐานเชื้อเพลิง 4 จังหวะ ฐานอนุรักษภาพความร้อนด้วยน้ำ" ขนาดตัวอักษร ไม่ต่ำกว่า 5 เซนติเมตร ณ จุดจำหน่ายให้เห็นได้อย่างชัดเจน

แหล่งที่มา: สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 5 (นครราชสีมา), 2550

หมายเหตุ: โทษจำหน่ายน้ำมันไบโอดีเซลไม่ได้คุณภาพ มีโทษตามมาตรา 48 ต้องระวางโทษ จำคุกไม่เกิน 1 ปี หรือปรับไม่เกิน 100,000 บาทหรือทั้งจำทั้งปรับ

: ไบโอดีเซล บี 10 บี 20 และอื่น ๆ กรมธุรกิจพลังงานยังไม่กำหนดมาตรฐาน

2.4 ระบบการแยกสารโดย Vortex Separator (California Stormwater BMP Handbook, 2003)

ระบบแยกสารโดย Vortex Separator เป็นระบบที่ออกแบบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดของแข็งจากของเหลว ซึ่งถูกนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นในการบำบัดน้ำของโรงงานหลายประเภท ซึ่งภายในระบบจะประกอบไปด้วย Storage Tank Equalization Basins และ Surface Detention Areas

2.4.1 หลักการทั่วไปของระบบ Vortex Separator

ระบบการแยกสารละลายผสมโดยใช้การหมุนวน (Vortex Separator) หรือเครื่องผสมสารละลายโดยการปั่นเหวี่ยง เป็นการแยกสารโดยใช้หลักความถ่วงจำเพาะ หลักการสำคัญ คือ สารที่ทำการแยกต้องเป็นสารละลาย และมีความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องแยกสารละลายผสม การเคลื่อนที่ของระบบจะเป็นลักษณะหมุนรอบเป็นวงมากกว่าจะเคลื่อนที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยของเหลวภายในระบบจะมีลักษณะเคลื่อนไหวในลักษณะหนีจุดศูนย์กลาง เมื่อน้ำเคลื่อนไหวในลักษณะวงกลมมากกว่าเส้นตรง การกำจัดตะกอนหรือมลสารที่แขวนลอยจะเกิดขึ้น โดยที่มลสารเหล่านั้นจะตกลงอยู่ด้านล่างจะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

เครื่องแยกสารละลายผสมในยุคแรกได้ถูกพัฒนาให้รวมท่อระบายของเสียเข้าไปภายในระบบด้วย ซึ่งการบำบัดในขั้นต้นจะใช้สำหรับการแยกของเสียประเภทของแข็งสารอินทรีย์ที่มีลักษณะหยาบ ซึ่งหลักการนี้เครื่องแยกสารละลายผสมได้ถูกดัดแปลง และประยุกต์ให้ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานหลายประเภท

2.4.1.1 มลสารที่สามารถกำจัดได้ของระบบ Vortex Separator

- ตะกอน
- สารอาหาร
- ของเหลว
- โลหะ
- แบริดจ์
- น้ำมันและไขมัน
- สารอินทรีย์

2.4.2.1 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ Vortex Separator แยกได้ 3 ประเภท

- ประสิทธิภาพการบำบัดน้อย
- ประสิทธิภาพการบำบัดปานกลาง
- ประสิทธิภาพการบำบัดสูง

2.4.2 การออกแบบขนาดของระบบ

น้ำที่หมุนลักษณะเป็นพายุภายในระบบ จะหมุนเป็นเส้นวงกลม และแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางจะถูกสร้างจากการเคลื่อนที่เป็นวงกลม อนุภาคที่เป็นสารแขวนลอยจะถูกกำจัดออกจากศูนย์กลางของเครื่องมือ และตกตะกอนอยู่ด้านล่างของระบบ เครื่องแยกสารละลายผสมโดยใช้การหมุนวนทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Free Vortex และ Dampened (หรือ Impeded) Vortex

ท่อระบายของเสียที่อยู่ใน Vortex Separator เป็นอุปกรณ์ที่ลดข้อจำกัดของ Vortex Separator ซึ่งสามารถช่วยให้เกิดการตกตะกอนได้ที่ความเร็ว 12 - 16.5 ฟุตต่อชั่วโมง (0.10 ถึง 0.14 เซนติเมตรต่อวินาที) ดังนั้น ภายในท่อระบายของเสียจะมีของเสียตกตะกอนอยู่ทั่วไปขนาดประมาณมากกว่าหรือเท่ากับ 200 ไมครอน

การออกแบบทางการค้า เพื่อใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย ปัจจัยที่ใช้สำหรับพิจารณา มีหลายประการ ได้แก่ ปัจจัยทางด้านเรขาคณิต รวมถึงขนาดของแผ่นกั้น และการหมุนวนภายในท่อ ซึ่งปลายอีกด้านหนึ่งของท่อจะไม่มี ความเข้มข้นของมลสารอยู่เลย การไหลวนของกระแสน้ำเริ่มต้นจะไหลอยู่ระหว่างท่อภายใน และท่อภายนอก และเมื่อเข้าสู่ท่อภายในแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างทันทีทันใด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด

จากการศึกษาระบบ Vortex Separator จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประเภทกรวดทราย สารที่มีอนุภาคหนัก และ น้ำเสียที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารที่ตกตะกอนได้ยาก ซึ่งการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะมีความสัมพันธ์กับปริมาตรที่ไหล และการสะสมของของแข็งจากความเร็วของการหมุนวน โดยทั่วไประบบสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ตั้งแต่ร้อยละ 7 - 34 ซึ่งรายละเอียดจะแสดงในตาราง 2.5

ตารางที่ 2.5 ลักษณะการทำงานของระบบ Vortex Separator ทั้ง 3 ระบบ

หน่วย	แหล่งที่ตั้ง	อัตราการระ น้ำเข้า (gpm/sf)	อัตราการ ลดของ ปริมาณ %	การกำจัด ของแข็ง แขวนลอย %	อัตราการ กำจัด ของแข็ง แขวนลอย สุทธิ %
การหมุน	Washington, DC	10	24	38	12
การแยก ของเหลว	Tengen, Germany	11	47	54	7
การแยก อย่างรุนแรง	James Bridge, UK	7.5	39	53	14

แหล่งที่มา: The Joint Service P2 Opportunity Handbook, 2007

2.4.2.1 หลักการพิจารณาในการออกแบบระบบ Vortex Separator

- พื้นที่ของระบบ
- ความเร็วในการตกตะกอน
- ขนาดที่เหมาะสมของระบบ
- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อภายใน

2.4.3 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดของระบบ Vortex Separator

2.4.3.1 ข้อดีของระบบ Vortex Separator ได้แก่

- ประหยัดพื้นที่และค่าใช้จ่ายถูก
- สามารถใช้เป็นระบบบำบัดขั้นต้นที่มีประสิทธิภาพได้
- ระบบควบคุมมีขนาดเล็ก

2.4.3.2 ข้อจำกัดของระบบ Vortex Separator ได้แก่

- ระบบบางระบบน้ำจะมีลักษณะสูงเป็นเหมือนพายุ ซึ่งมีลักษณะเล็ก

- ระบบการกำจัดไม่เหมาะสมกับการแยกสารที่มีขนาดเล็ก ตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 - 100 ไมครอน
- ระบบพื้นที่จะมีข้อกำจัดด้านความจุ และรูปทรงที่ใหญ่
- ระบบที่มีรูปทรงมาตรฐาน หากต้องการเพิ่มประโยชน์การใช้งานให้ได้หลายรูปแบบ จะเกี่ยวข้องกับ การออกแบบรูปทรง และการหมุนวน ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายให้สูงขึ้น
- การไหลหมุนวนที่ไม่คงที่ จะเป็นการลดประสิทธิภาพการแยก ซึ่งสามารถทดสอบได้จากการทดสอบกระแสหมุนวนที่คงที่
- ไม่สามารถกำจัดสารที่ละลายใ้ได้อยู่ในของเหลวได้

2.5 คุณสมบัติของไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล

2.5.1 น้ำมันดีเซล (Diesel Fuels)

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นพลังงานในเครื่องยนต์ชนิดต่าง ๆ เช่น รถยนต์โดยสาร รถบรรทุก เรือ เรือเดินสมุทร และรถไฟ ทั้งนี้ น้ำมันดีเซลนั้น มักจะใช้กับเครื่องยนต์ที่ต้องทำงานหนักเป็นระยะเวลายาวนาน และต้องการกำลังที่สูงกว่าในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์แรงอัดสูง และจุดระเบิดเอง (High Compression Self Ignition Engine) ซึ่งการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเกิดจากความร้อนจากแรงอัดสูงของอากาศในกระบอกสูบไม่ ต้องใช้หัวเทียน วงจรของเครื่องยนต์ ประกอบด้วยขั้นตอน การส่งอากาศเข้าไปในห้องเผาไหม้ การอัดอากาศภายในกระบอกสูบ การฉีดเชื้อเพลิงเป็นฝอยเข้าไปในห้องเผาไหม้ทันที ก๊าซจากการเผาไหม้ขยายตัว และปล่อยก๊าซจากการเผาไหม้ออกไป

2.5.1.1 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซล

ความต้องการพื้นฐานของน้ำมันดีเซล ต้องจุดระเบิดได้เองโดยเร็ว และเผาไหม้ได้หมดภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ สามารถส่งถ่ายได้ด้วยอุปกรณ์การฉีดน้ำมัน และจะต้องเหมาะสมกับการส่งถ่ายจากโรงกลั่นถึงถึงน้ำมันเครื่องยนต์ โดยไม่เสื่อมสภาพและไม่เกิดอันตรายต่อพื้นผิวที่น้ำมันสัมผัสอยู่

น้ำมันดีเซลเดิมเป็นน้ำมันพวก Straight - Run จากการกลั่นน้ำมันดิบ ในปัจจุบัน เนื่องจากมีกระบวนการแตกตัวในโรงกลั่นหลายกระบวนการ จึงอาจมีน้ำมันส่วนที่ได้จากการแตกตัวผสมอยู่ เพื่อเพิ่มปริมาตรให้สอดคล้องกับอุปสงค์ที่เพิ่มขึ้นตลอดเวลา โดยราคายังถูกที่สุดอยู่

ช่วงจุดเดือดอยู่ระหว่าง 150 - 400 °C (300 - 755 °F) ในความหมายกว้าง ๆ น้ำมันดีเซลจึงอาจจะประกอบด้วยน้ำมันที่มีคุณภาพแตกต่างกันในเรื่อง Volatility, Ignition, Viscosity,

Stability และอื่น ๆ ASTM D975 “Classification of Diesel Fuel Oil” ได้แบ่งประเภทน้ำมันดีเซลออกไปหลายอย่างแต่ในประเทศไทยมีอยู่สองประเภทเท่านั้น คือ ประเภทหมุนเร็วและหมุนช้า

เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลจะมีขนาดที่แตกต่างกัน เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานในสถานะต่าง ๆ ดังนั้น น้ำมันดีเซลจึงต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมกับเครื่องยนต์นั้น ๆ คือ ต้องจุดระเบิดได้เองโดยเร็วและเผาไหม้ภายใต้สภาวะภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลที่สำคัญมีดังนี้ (สถาบันวิจัยและเทคโนโลยีการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2542 อ้างถึงใน อนุรักษ์ศิลป์ และวิธาน เกียรติอุบลไพฑูร, 2544: 13)

1. ความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดคุณสมบัติหนึ่งของน้ำมันดีเซล เพราะมีผลต่อการทำงานของปั๊มและหัวฉีดของเครื่องยนต์ดีเซล กล่าวคือ ถ้าน้ำมันไหลหรือข้นเกินไปจะทำให้การพ่นฉีดเป็นละอองฝอยได้ไม่ดี ซึ่งจะมีผลต่อการเผาไหม้ และควันท้ายของไอเสีย

2. อุณหภูมิการกลั่น (Distillation Temperature) เป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงการระเหย (Volatility) ของน้ำมัน ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันมีจุดเดือดสูงเกินไป เพราะจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่หมดและเกิดควันท้ายได้ จึงมีข้อกำหนดเกี่ยวกับอุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันดีเซลที่ 90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะต้องไม่ให้สูงกว่า 357 องศาเซลเซียส

3. จุดวาบไฟ (Flash Point) โดยปกติน้ำมันจะไม่ติดไฟ แต่ส่วนที่ติดไฟได้ คือ ไอของน้ำมันที่ระเหยออกมาผสมกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม จุดวาบไฟมีความสัมพันธ์กับอัตราการระเหยกลายเป็นไอของน้ำมัน น้ำมันที่มีจุดวาบไฟต่ำจะทำให้เกิดการสันเปลือง เพราะมีการระเหยง่าย จุดวาบไฟเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการขนส่งและเก็บรักษา น้ำมันที่มีจุดวาบไฟต่ำจะต้องดูแลรักษาอย่างระมัดระวัง

4. จุดไหลเท (Pour Point) จะบอกถึงอุณหภูมิต่ำที่สุดที่น้ำมันยังไหลได้โดยจะมีผลต่อการใช้ น้ำมันที่อุณหภูมิต่ำ น้ำมันที่มีไขเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ไขจะแตกตัวออกมาเป็นผลึกและจับตัวกันหุ้มส่วนที่ยังไหลได้ไว้ภายในทำให้น้ำมันหยุดไหล

ตัวอย่างความสัมพันธ์ของคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันดีเซลและผลต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันดีเซลและผลต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์

คุณสมบัติ	ผลต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์
ความหนืด	ผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ คือ เครื่องยนต์ความเร็วรอบต่ำสามารถใช้น้ำมันที่มีความหนืดสูงกว่าเครื่องยนต์ความเร็วรอบสูง
อุณหภูมิการกลั่น	ค่าอุณหภูมิการกลั่นถ้ามีค่าสูงเกินไปจะทำให้ น้ำมันดีเซลมีจุดเดือดสูงเกินไป อันจะทำให้เกิดควัน มีกลิ่นเหม็น และเกิดความสกปรกต่อเครื่องยนต์
จุดวาบไฟ	จุดวาบไฟมีความสัมพันธ์กับการระเหยและการติดไฟระหว่างเครื่องยนต์ทำงาน แต่ถ้ามีค่าต่ำกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนดจะมีผลต่อความปลอดภัยในระหว่างการเก็บสำรองและการขนส่ง
จุดไหลเท	สำหรับมาตรฐานของค่าจุดไหลเทของน้ำมันดีเซลมีผลต่อการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิที่กำหนดเพราะจะทำให้ น้ำมันแข็งตัวมีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์
ดัชนีซีเทน	ดัชนีซีเทนเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการจุดระเบิดและการลุกติดไฟ ซึ่งมีผลต่อการติดตั้งเครื่องยนต์ การเผาไหม้ และปริมาณมลพิษในไอเสีย ยิ่งค่าดัชนีซีเทนมีค่ามากขึ้นมีผลทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น
ค่าความร้อน	ค่าความร้อนมีผลต่อกำลังของเครื่องยนต์และการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	ถ้า น้ำมันดีเซลมีค่าการกัดกร่อนแผ่นทองแดงมากกว่าค่ามาตรฐานมีผลทำให้การกัดกร่อนชิ้นส่วนโลหะในเครื่องยนต์มากขึ้น
ปริมาณกากกลั่น	ปริมาณกากที่เหลือจากการเผาไหม้เป็นสิ่งสกปรกที่เครื่องยนต์
ปริมาณน้ำและกรดตะกอน	น้ำและกรดตะกอนมีผลต่ออายุการใช้งานของไส้กรองและหัวฉีด หากมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้
ปริมาณเถ้า	เถ้าเป็นสารอนินทรีย์ที่คงเหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ซึ่งเกาะผนังเครื่องยนต์ ทำให้เครื่องยนต์มีความสกปรก
ปริมาณกำมะถัน	กำมะถันนอกจากจะทำให้เกิดการกัดกร่อนและทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศหลังการเผาไหม้

แหล่งที่มา: สถาบันวิจัยและเทคโนโลยีปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2542 อ้างถึงใน วัชรพงศ์

เสนาธิบดี และวิธาน เกียรติอุบล ไพบูล, 2544: 14

2.5.2 คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

การนำน้ำมันพืชมาสังเคราะห์เป็นเมทิล หรือเอทิลเอสเทอร์ หรือที่เรียกว่า ไบโอดีเซล โดยผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืช และทำให้

น้ำมันมีความคงตัวมากขึ้น ในการผลิตไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงนั้นควรมีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีความคงตัว ความหนืดเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป จุดวาบไฟของไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลทำให้มีความปลอดภัยในการขนส่ง นอกจากนี้ ไบโอดีเซลยังมีค่าซิมเทนซึ่งเป็นดัชนีบอกคุณภาพการติดไฟซึ่งมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

Fuel Property	Diesel	Biodiesel
Fuel Standard	ASTM D975	ASTM D6751
Lower Heating Value, Btu/gal	~129,050	~118,170
Kinematic Viscosity, @ 40° C	1.3 - 4.1	4.0-6.0
Specific Gravity kg/l @ 60° C	0.85	0.88
Density, lb/gal @ 15° C	7.079	7.328
Water and Sediment, vol%	0.05 max	0.05 max
Carbon, wt%	87	77
Hydrogen, wt%	13	12
Oxygen, by dif. Wt%	0	11
Sulfur, wt%*	0.05 max	0.0 to 0.0024
Boiling Point, °C	180 to 340	315 to 350
Flash Point, °C	60 to 80	100 to 170
Cloud Point, °C	-15 to 5	-3 to 12
Pour Point, °C	-35 to -15	-15 to 10
Cetane Number	40 - 55	48 - 65
Lubricity SLBOCLE, grams	2000 - 5000	> 7000
Lubricity HFRR, micros	300 - 600	< 300

แหล่งที่มา: อากาศี เหลืองนฤมิตชัย, 2549

หมายเหตุ: * Sulfur content for on-road fuel will be lowered to 15 ppm maximum in 2006.

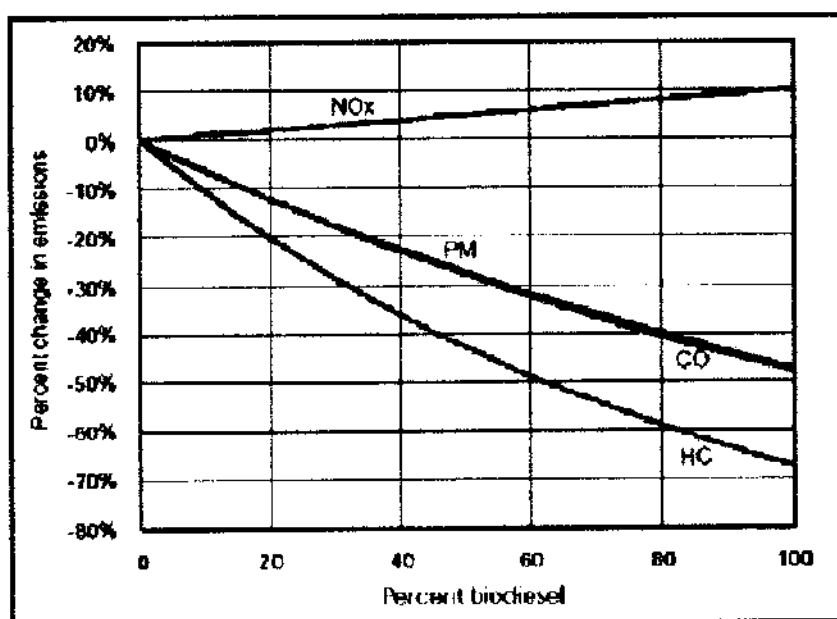
2.5.3 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการใช้ไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

2.5.3.1 คุณสมบัติของไบโอดีเซลมีความคงตัวมากกว่าน้ำมันดีเซลเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง และมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการขนส่งมากกว่า

2.5.3.2 การใช้ไบโอดีเซลช่วยลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลมาจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ได้ส่วนหนึ่ง เนื่องจากองค์ประกอบของไบโอดีเซลไม่มีกำมะถัน แต่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จึงช่วยการเผาไหม้ได้ดีขึ้น และลดมลพิษต่าง ๆ ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่นละออง ฯลฯ ดังแสดงในภาพที่ 2.14 รวมทั้งลดก๊าซเรือนกระจก

2.5.3.3 สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ไม่เป็นพิษต่อดินและน้ำ

2.5.3.4 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ช่วยลดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำ และยังช่วยป้องกันไม่ให้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วซึ่งมีสารไดออกซินปะปนไปผลิตเป็นอาหารสัตว์



ภาพที่ 2.14 ผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล

แหล่งที่มา: Environmental Protection Agency, 2002 อ้างถึงใน อากาศดี เหลืองนฤมิตชัย, 2549

2.5.4 ข้อจำกัดในการใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

2.5.4.1 การใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ไบโอดีเซลมีค่าความร้อนประมาณร้อยละ 79 - 84 ของน้ำมันดีเซล ซึ่งมีค่าความร้อน 46,800 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

2.5.4.2 ต้องพิจารณาถึงเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันดีเซลผสมกับไบโอดีเซล ต้องไม่สูงกว่า 25 กรัมต่อกุบาศก์เมตร ในขณะที่น้ำมันดีเซลไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2.5.4.3 การใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลจำเป็นต้องมีการดัดแปลงส่วนประกอบของเครื่องยนต์ที่เป็นยาง (Rubber) ซึ่งอาจถูกทำลายโดยไบโอดีเซลได้ ทำให้ใช้งานได้เฉพาะไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนผสมไม่มากนัก

2.6 กลีเซอรินและการใช้ประโยชน์

กลีเซอริน คือ ผลผลิตพลอยได้ของการผลิตดีเซลชีวภาพ มีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีพิษ หนักค่อนข้างคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชัน ทำให้สามารถเก็บรักษาให้ไม่มีกลิ่น รส สีได้นาน กลีเซอรินที่นำไปจำหน่าย ต้องผ่านกระบวนการทำให้เป็นกลาง โดยในการผลิตดีเซลชีวภาพโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กลีเซอรินที่ได้สามารถทำให้เป็นกลางโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสฟอริก หรือโซเดียมคลอไรด์ สำหรับสีของกลีเซอรินสามารถขจัดออกได้โดยการกรองผ่านถ่าน (มฤตติ เชาวรัตน์, 2540 อ้างถึงใน ปิยะกรณ์ วลัยกนก และสุครัตน์ วัฒนาวังจสุข, 2545: 22)

กลีเซอริน (Glycerine) เป็นสารเดียวกับกลีเซอรอล (Glycerol) แต่กลีเซอรินเป็นกลีเซอรอลที่มีสารปนเปื้อน (Impurity) เช่น น้ำ สี เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาปริมาณกลีเซอรินเนื่องจากกลีเซอรินเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งหากนำมาทำให้บริสุทธิ์จะมีคุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ดังนี้

2.6.1 คุณสมบัติของกลีเซอรอล (อนวัช ครุรงค์นันทน์, 2540 อ้างถึงใน นิทยา ลิ่นจี และยุพดี ดวงสวัสดิ์, 2544: 4)

2.5.1.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์

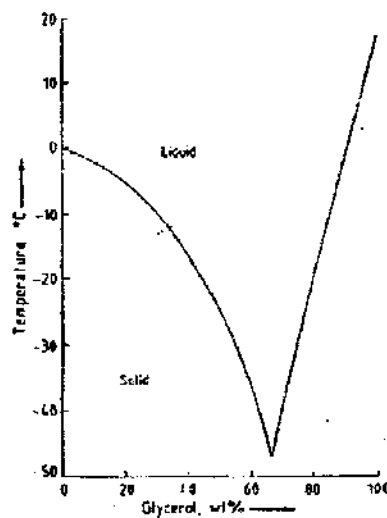
เป็นของเหลวใส หนัก มีรสหวาน ละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์ ละลายได้เล็กน้อยใน Diethyl Ester, Ethyl Ester และ Dioxane ไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอน โดยปกติจะไม่ค่อยพบผลึกของกลีเซอรอลเนื่องจากเมื่อผสมน้ำมีจุดเยือกแข็งที่ต่ำมาก กลีเซอรอล 66% + น้ำ 33% มีจุดเยือกแข็งเท่ากับ -46 °C ดังภาพที่ 2.18, 2.19 และ 2.20

2.6.1.2 คุณสมบัติทางเคมี

กลีเซอรอลเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนแอลกอฮอล์ทั่วไป โดยที่คาร์บอนอะตอมนอกมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าอะตอมกลาง กลีเซอรอลถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายโดยที่คาร์บอนอะตอมนอกจะถูกออกซิไดซ์เกิดเป็นอัลดีไฮด์ ส่วนคาร์บอนอะตอมกลางเกิดเป็นหมู่คาร์บอนิล

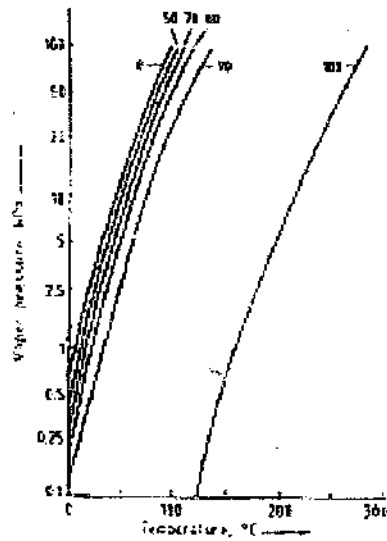
ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาของกลีเซอรอลที่สำคัญในอุตสาหกรรม

- 2) กรดอินทรีย์และกรดอินทรีย์ ที่มีหมู่ฟังก์ชัน 1, 2 และ 3 หมู่
- 3) โมโนกลีเซอไรด์ และ ไดกลีเซอไรด์ของกรดไขมัน โดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์
- 4) อะลิฟาติกเอสเทอร์และอะโรมาติกเอสเทอร์ โดยทำปฏิกิริยากับสารอัลคิลเลตติ้งและสารเอซิลเลตติ้ง
- 5) โพลีกลีเซอรินจากปฏิกิริยา Intermolecular Elimination of Water โดยใช้ตัวเร่งเบส
- 6) Cyclic 1, 2 หรือ 1, 3 – Acetal หรือ Ketal โดยทำปฏิกิริยากับอัลดีไฮด์หรือคีโตน
- 7) โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์จากปฏิกิริยากับอัลคาไล หรือ Metal Alcoholates



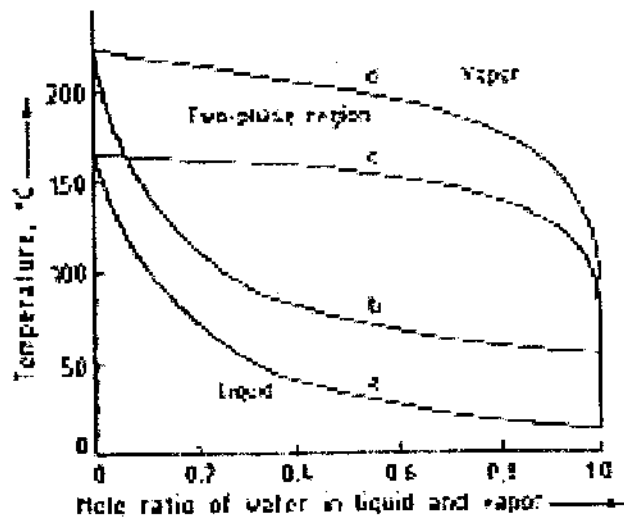
ภาพที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดเยือกแข็งกับเปอร์เซ็นต์กลีเซอรอลในสารละลาย

แหล่งที่มา: อนุวัช คุรงค์กัณันท์, 2544 อ้างถึงใน นิตยา ลีนิจ และชุพดี ดวงสวัสดิ์, 2544: 8



ภาพที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอที่อุณหภูมิต่างๆ ของสารละลายกลีเซอรอล

แหล่งที่มา: อนุวัช คุรงค์กัณันท์, 2544 อ้างถึงใน นิตยา ลีนจี่ และอุพดี ดวงสวัสดิ์, 2544: 9



ภาพที่ 2.17 สมดุลไอ - ของเหลว ของกลีเซอรอลกับน้ำ

แหล่งที่มา: อนุวัช คุรงค์กัณันท์, 2544 อ้างถึงใน นิตยา ลีนจี่ และอุพดี ดวงสวัสดิ์, 2544: 9

2.6.2 การใช้ประโยชน์จากกลีเซอรอล

1. ตัวทำละลายที่ดีในอุตสาหกรรม เนื่องจากกลีเซอรอลสามารถละลายได้ทั้งในน้ำและแอลกอฮอล์ จึงเป็นองค์ประกอบในอุตสาหกรรมต่างๆ
2. ใช้เป็น Thickening Agent หรือ Bodying Agent เนื่องจากกลีเซอรอลมีความหนืด
3. กลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 55 - 75 เปอร์เซ็นต์จะมีรสหวาน สามารถใช้เป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลได้
4. กลีเซอรอลเป็นสารจำพวก Hygroscopic ดูดซับความชื้นจากบรรยากาศได้ดี จึงนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความนุ่ม (Softness) ความหยุ่นตัว (Flexibility) และความเป็นครีม (Creaminess) ในทางการค้าจึงมีการใช้กลีเซอรอลเพื่อเป็นสารป้องกันรักษาความชุ่มชื้น เป็นตัวเพิ่มสภาพพลาสติก ชนิดที่ช่วยเก็บรักษาความอ่อนนุ่ม และความหนืด
5. ใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับช่องปาก เช่น ยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก เนื่องจากคุณสมบัติ ในการเป็นสารดูดความชื้นและระเหยต่ำ จึงถูกใช้เพื่อป้องกันไม่ให้ยาสีฟันแห้งแข็งในหลอด
6. ใช้ในผลิตภัณฑ์ด้านอาหารและเครื่องดื่ม ซึ่งใช้เป็นสารดูดความชื้น
7. โมโนกลีเซอไรด์ที่ได้จากกลีเซอรอลถูกใช้เป็นสารอิมัลชัน และสารเพิ่มความคงตัว
8. ใช้เพื่อช่วยรักษาความชื้นให้กับใบยาสูบ และเป็นส่วนผสมในไส้กรองของผลิตภัณฑ์ยาสูบ
9. เป็นสารให้ความหวานและเป็นตัวให้ความนุ่มในอุตสาหกรรมยา
10. เป็นสารอิมัลชันในครีมและทำหน้าที่แทนไขในลิปสติกของอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการตรวจสอบงานวิจัยจะแยกงานวิจัยที่ทำการศึกษออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ งานวิจัยภายในประเทศ และงานวิจัยต่างประเทศ ซึ่งงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

2.7.1 งานวิจัยภายในประเทศ

พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล (2544: 5 - 7 อ้างถึงใน ฌัฐพงศ์ เสนาธิปไตย และวิธาน เกียรติอุบลไพบูล, 2544: 15) ได้กล่าวไว้ว่า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 ประเทศไทยมีงานวิจัยในเรื่องการใช้น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ (*Jatropha curcas*) น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม รวมถึงเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนตดีเซล งานวิจัยการใช้ถั่วลิสงแทนน้ำมันดีเซล ทำการทดลองโดยมีแนวคิดที่ต้องการทดลองกับน้ำมันชนิดที่สามารถบีบแยกน้ำมันออกจากเมล็ดพืช ได้ง่ายโดยใช้แรงคน

ซึ่งทำให้พึ่งพาตนเองได้ หากมีวิกฤตขาดแคลนน้ำมันขึ้น งานวิจัยใช้น้ำมันถั่วลิสงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ขุมมาร์ขนาด 7 แรงม้า โดยไม่มีการตัดแปลงเครื่องยนต์แต่ประการใด ผลการทดลอง พบว่า น้ำมันถั่วลิสงทั้งชนิดดิบและที่ผ่านกระบวนการกลั่นมีความหนืดสูง การติดเครื่องเป็นไปได้ยาก มีปัญหาการเดินเครื่องที่รอบต่ำ ๆ เครื่องเดินสะดุด การสั่นคาบเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์และไม่ต่อเนื่อง ในการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ระยะสั้น (Short Term Engine Performance Test) พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันทั้งชนิดดิบ และที่ผ่านกระบวนการกลั่นเป็นเชื้อเพลิงให้กำลังใกล้เคียงกับที่ใช้น้ำมันดีเซลหลังการทดสอบเดินเครื่องยนต์ และจากการตรวจสอบสภาพชิ้นส่วนของเครื่องยนต์พบว่า เครื่องยนต์ที่ให้น้ำมันถั่วลิสงมีเขม่าจับที่ลูกสูบและวาล์วมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล และมีตะกอนขาวคอกอยู่ในถังบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งจะมีผลต่อลูกสูบและหัวฉีดหากหลุดติดไปกับน้ำมันเชื้อเพลิง

เพื่อแก้ปัญหาความหนืด สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) ได้ทดลองเดินเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วลิสงชนิดดิบในน้ำมันดีเซลและน้ำมันก๊าด โดยให้มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล อัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำมันถั่วลิสงชนิดดิบ 40 เปอร์เซ็นต์ในน้ำมันดีเซล และ 50 เปอร์เซ็นต์ในน้ำมันก๊าด ผลการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ในระยะสั้นพบว่า ใช้งานได้ดีติดเครื่องได้ง่าย เกิดการสั่นคาบอย่างต่อเนื่อง และไม่เกิดปัญหาเครื่องยนต์เดินสะดุดที่รอบต่ำ เหมือนการใช้น้ำมันถั่วลิสงดิบเพียงอย่างเดียว

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) นำ Fatty Acid Methyl Ester จากน้ำมันปาล์ม หรือที่เรียกว่าเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันดิบกับเมทานอลโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า เอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มที่ได้มีค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ในการทดลองกับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าเครื่องยนต์ดีเซลให้กำลังเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดีเซลทุกประการ อย่างไรก็ตามไม่มีรายงานทดลองและผลกระทบที่มีต่อเครื่องยนต์ระยะยาว (พิศมัย เจนวนิชปัญญกุล, 2544 อ้างถึงใน ฉัฐพงศ์ เสนาธิบดิ์ และวิธาน เกียรติกุลกุล, 2544: 16)

ภาวิณี คณาสวัสดิ์ และคัง พุทธศุภร์ (2540: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาการสังเคราะห์เมทิลและเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มโดยวิธีทางเคมีและทางเอนไซม์ เมทิลและเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนมาก ๆ มีคุณสมบัติที่เป็นเชื้อเพลิงได้ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่เมื่อเผาผลาญแล้วจะมีสารกำมะถันและคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในปริมาณต่ำกว่า เอสเทอร์ทั้งสองนี้เตรียมได้จากแอลกอฮอล์ไอซิสของน้ำมันพืชหรือจากไขมันสัตว์โดยการเร่งปฏิกิริยาด้วยเบส หรือเอนไซม์ไลเปส ผลการวิจัย พบว่า การเตรียมเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มจะให้ผลผลิตที่สูงกว่าเมื่อใช้ KOH เร่งปฏิกิริยา แต่การเตรียมเอทิลเอสเทอร์ควรจะใช้ Lipozyme เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เนื่องจากขั้นตอนการแยกเอสเทอร์ทำได้ง่ายกว่าการใช้ KOH นอกจากนั้นยังให้ผลผลิตเอทิลเอสเทอร์สูงกว่า อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดของ Lipozyme ซึ่งเป็นไลโปสตรังสำเร็จรูปทำให้การลงทุนค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจลดค่าใช้จ่ายลงโดยการคัดเลือกจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์นี้จากแหล่งธรรมชาติภายในประเทศมาใช้ทดแทน Lipozyme

สิทธิศักดิ์ ครอบเดช (2543: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันพืชที่ใช้แล้วเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล โดยผ่านปฏิกิริยาทรานสมิทธิकरण (Transmethylation) สภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือ โซเดียมเมทริกไซด์ (NaOCH_3) 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในเมทานอล น้ำมันพืชที่ใช้แล้วละลายในโทลูอีนอัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร อัตราส่วนการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในตัวทำละลายเมทานอล เป็น 3.5 : 1 โดยปริมาตร และอุณหภูมิสำหรับทำปฏิกิริยา 80 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้น้ำมันพืชมีความหนืดลดลง และมีสถานะของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีการทดสอบอัตราการเผาไหม้ เมื่อใช้น้ำมันผสมเมทิลเอสเทอร์กับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าเมื่อใช้น้ำมันผสมเมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการเผาไหม้ลดลง และเมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ พบว่า เมื่อใช้น้ำมันผสมเมทิลเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้กำลังและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ลดลงและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันสูงขึ้น

ณัฐพงศ์ เสนาธิบดิ์ และวิธาน เกียรติอุบลไพฑูริ (2544: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลโดยผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มกับเมทานอล โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษา พบว่า ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างน้ำมันเมล็ดในปาล์มต่อเมทานอลเป็น 4.5 ต่อ 1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้เทียบกับน้ำมันเมล็ดในปาล์มมากที่สุดคือ 95.8 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์จนถึงที่ 1.00 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ และเปอร์เซ็นต์ของกลีเซอรอลมีค่าสูงขึ้นเป็น 98.1 เปอร์เซ็นต์ และ 21.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อนำเมทิลเอสเทอร์ที่เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่า มีดัชนีซีเทนมากที่สุดคือ 43.1 และมีความหนาแน่นที่ 15.6 องศาเซลเซียส ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส จุดวาบไฟ และจุดไหลเทใกล้เคียงกับมาตรฐานของน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลทั้งชนิดหมุนช้าและเร็ว

ธิดารัตน์ เสถียรพัฒนากุล และมธุรฉัตร อุ่นจิตติ (2544: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิต Biodiesel โดยกระบวนการทางชีววิทยาแบบ Activated Sludge และ Pre - Treatment แบบ Dissolved Air Flotation (DAF) น้ำเสียจากกระบวนการผลิต Biodiesel มี

ลักษณะสีขุ่นคล้ายนม มีค่า COD ในช่วง 12,110-28,167 mg/l โดยเริ่มระบบ Activated Sludge โดยการใช้ น้ำเสียจาก โรงอาหารของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ซึ่งมีค่า COD อยู่ ในช่วง 1,600-3,650 mg/l ในขั้นตอน Pre - Treatment ด้วยระบบ DAF ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน ประกอบด้วย Jet และเครื่องสูบน้ำ สามารถลดค่า COD ได้สูง 65.2 % ตามแผนการทดลองขั้นแรก เมื่อระบบ Activated Sludge มีค่า V_{30} (ปริมาตรสลักจกตะกอนที่เวลา 30 นาที) ปริมาณสูงเพียงพอ จะเติมน้ำเสียจากกระบวนการผลิต Biodiesel แต่ระบบมีค่า V_{30} สูงสุด 40 ml/l ในขณะที่ค่ากำหนด การออกแบบระบบกำหนดให้ V_{30} มีค่ามากกว่า 200 ml/l คาดว่าระบบไม่ประสบความสำเร็จ เท่าที่ควร เพราะไม่สามารถทำการ Return Sludge ได้ทุก 3 ชั่วโมงตามทฤษฎี ทำให้แบคทีเรียอยู่ในถัง ตกตะกอนเป็นเวลานาน อาจทำให้เซลล์แบคทีเรียบางส่วนตาย จึงทำการปรับเปลี่ยนเป็นชุดถังลง ขนาด 17 ลิตร โดยเริ่มจากการนำเซลล์แบคทีเรียจาก ระบบ Activated Sludge เดิมเติมในชุดถังลง และใช้น้ำเสียจากโรงอาหารเป็นอาหารของแบคทีเรีย เพื่อเพิ่มเซลล์แบคทีเรียและให้ค่า V_{30} เท่ากับ 260 ml/l หลังจากนั้น เริ่มเติมน้ำเสียจากกระบวนการผลิต Biodiesel ในสัดส่วน หนึ่งในสี่ และเพิ่ม สัดส่วนของน้ำเสียทีละน้อยถึง 100% โดยปรับอัตราการใช้ให้ F/M ratio = 0.3 ค่า COD และ BOD ของน้ำออกจากระบบ เหลือเท่ากับ 1,854 และ 669 mg/l ตามลำดับ การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการ ผลิต Biodiesel ด้วยระบบ DAF กำจัด COD และ BOD สูงสุดได้เท่ากับ 82.0% และ 79.7% ตามลำดับ

ชาตรีท ทองอุไร สันหทัย กลิ่นพิกุล ชิต ถิรมวรพันธ์ และเสถียร วาณิชวิริยะ (2544 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลใน เครื่องจักรกลการเกษตรและเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันปาล์มดิบถูกผ่านกระบวนการแยกยางเหนียว (Dc gum) และลดกรดก่อนเข้าทำปฏิกิริยา เมทานอลและ โซดาไฟเกรดการค้าได้ถูกใช้เป็นแอลกอฮอล์ ในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันและตัวเร่งปฏิกิริยาตามลำดับ สัดส่วนการทำปฏิกิริยา ของน้ำมัน : เมทานอล : โซดาไฟ โดยน้ำหนักเท่ากับ 100 : 20 : 1 ถึงปฏิกิริยาในการผลิต คือถึง อุปกรณ์กระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มของศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองฯ และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่มีอยู่ แล้ว เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้มีสมบัติเชิงน้ำมันเชื้อเพลิงไม่ต่างจากน้ำมันดีเซลมากนัก การทดลองใช้ เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องจักรกลการเกษตรและเครื่องยนต์ดีเซลภายในศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองฯ ได้ดำเนินการนานมากกว่า 4 เดือน โดยไม่พบปัญหาและอุปสรรคของการใช้งานแต่อย่างใด

ธราพงษ์ วิทิตสานต์ สุชญา นิตวิฒนนานนท์ นุจรี เก้าหู้ประเสริฐ และธนทิพย์ อัสวผดุง สิทธิ (2546: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วก่อนและหลังประกอบอาหาร และหาอิทธิพลที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน การศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ก่อนและหลังการประกอบอาหาร พบว่า องค์ประกอบของไขมันอิ่มตัวจะเพิ่มขึ้นมากขึ้น พร้อมกับ โมเลกุลของกรดไขมันมีขนาดเล็กลง สาเหตุเนื่องจากการแตกตัวด้วยความร้อนเนื่องจากการประกอบ

อาหาร อิทธิพลที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ประกอบด้วย ความชื้นและปริมาณกรดไขมัน อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์กับไตรกลีเซอไรด์ ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา และอุณหภูมิ ส่วนที่สองเป็นการนำเอาน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาทำเมทิลเอสเทอร์ในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วสำหรับร้านอาหารสำเร็จรูป (KFC) 200 กรัม และเมทานอลที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภาวะที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนโดยมวลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชที่ใช้แล้วที่ 1 : 4.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1% อุณหภูมิ 30°C (อุณหภูมิห้อง) และเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที ผลที่ได้ของเมทิลเอสเทอร์ 92.3% ในขณะที่คุณสมบัติที่ได้อยู่ในช่วงมาตรฐานของไบโอดีเซล ส่วนที่สาม เป็นการศึกษาการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเมทิลเอสเทอร์ในระดับเชิงพาณิชย์ที่ 10,000 คันต่อปี การศึกษาได้นำผลการวิเคราะห์โรงงานต้นแบบของ Welsh Development Agency Pontypridd, England เป็นข้อมูลอ้างอิง การวิเคราะห์ต้นทุนใช้อัตราการคืนทุนที่เป็นต้นทุนคงตัวภายใน 5 ปี เป็นหลักการคิดต้นทุนคงตัวต่อปี การวิเคราะห์ต้นทุนโรงงาน พบว่า ต้นทุนคงตัว และการดำเนินการผลิตต่อปีคิดเป็น 4.93 บาทต่อลิตร (สำหรับราคาน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว 5,000 บาท ต่อตัน) และ 9.78 บาท ต่อลิตร (สำหรับราคาน้ำมันที่ใช้แล้ว 10,000 บาทต่อตัน) ทำให้ต้นทุนรวมเป็น 9.82 และ 14.71 บาทต่อลิตรของเอสเทอร์ ตามลำดับ ค่าแตกต่างของต้นทุนที่มากเกิดขึ้นจากราคาของวัตถุดิบที่ไม่ได้มีการควบคุม การเปลี่ยนแปลงของราคาเมทานอลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต้นทุนรวมไม่มาก กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงราคาเมทานอลที่สูงขึ้นถึง 39 % จากเดือนมกราคม ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2546 ต้นทุนรวมมีการเปลี่ยนแปลงราคาเพิ่มขึ้น คิดเป็น 6.0% และ 3.95% สำหรับราคาน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว 5,000 และ 10,000 ต่อตัน ตามลำดับ

2.7.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Kenna et al., (1973: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบลอยตัวด้วยไฟฟ้าเคมีแยกน้ำมันออกจากน้ำได้ห้องเรือ ระบบนี้ เกี่ยวข้องกับการลอยตัว การใช้ไฟฟ้าทำให้เกิดฟองก๊าซ ต่อด้วยการรวมตัวและการดูดซับน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำ ในขั้นตอนแรกการทดสอบระบบการลอยตัวด้วยไฟฟ้าโดยการนำไฟฟ้าในน้ำยา เกลือการทดสอบ คือ ปัจจัยที่จำเป็นในการบำบัดทางเคมีที่จะทำให้การแยกเกิดขึ้นได้ดี การเติม NaOH เพื่อปรับพีเอชให้ได้ประมาณ 10 และการเติม Anionic Polyelectrolyte เข้มข้น 10 - 15 ppm ข้อมูลจากการทดลองจะใช้เพื่อประมาณค่าใช้จ่ายในการออกแบบระบบที่มีความจุ 30, 100 และ 1,000 gpm.

Muniyapp, Brammer and Nouredini (1996: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาโดยใช้ไขมันสัตว์ และน้ำมันจากถั่วเหลืองเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยทำปฏิกิริยากับเมทานอล ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 - 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อ

เทียบกับไขมันสัตว์ ที่อุณหภูมิ 68 - 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ไขมันสัตว์เป็นสารตั้งต้น จะได้ผลิตภัณฑ์สูงสุด คือ 98 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ส่วนการใช้ไขมันถั่วเหลืองเป็นสารตั้งต้นนั้น ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.05 - 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับไขมันถั่วเหลือง ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 5 - 90 นาที จากการทดลอง ได้ผลิตภัณฑ์สูงสุด คือ 98 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 - 10 นาที

Marinkovic and Tomascvic (1998: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาการออกแบบการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน โดยใช้ไขมันของเมล็ดทานตะวันเป็นสารตั้งต้น มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการทดลองปรากฏว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ผลดีมากที่สุดคือ ในสภาวะเป็นกลางและมีอุณหภูมิเท่ากับ 30°C ใช้กรดแก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และที่อัตราส่วนโมลสูง สารประกอบ เอสเทอร์ ที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันจากถั่วเหลืองปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันทั่วไป ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำไปทำไบโอดีเซล

Schievelbein (1999: บทคัดย่อ) ทำการศึกษากระบวนการแยกน้ำออกจากน้ำมันดิบโดยใช้เกลืออนินทรีย์ โกลหะหมู่ 1A หรือ 2A ของเกลือเฮไลด์ และไนเตรด น้ำมันดิบในรูปสารละลายอิมัลชันระหว่างน้ำมันและน้ำ โดยมีน้ำเป็นส่วนประกอบ 8 % หรือน้อยกว่าโดยน้ำหนัก เกลือจะถูกกวนลงในน้ำมันดิบ ซึ่งเป็นผลให้ของผสมมีอุณหภูมิสูงขึ้น ภายหลังการเติมเกลือแล้วน้ำจะแยกชั้นออกจากชั้นน้ำมัน เกลือจะละลายน้ำและตกตะกอนออกจากชั้นของน้ำมันดิบ

Antolin, Tinaut, Briceno, Castano, Perez and Ramirez (2002: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม โดยปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราส่วนตัวทำปฏิกิริยา และวิธีการทำให้บริสุทธิ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพสูง ตรงตามมาตรฐานของสหภาพยุโรป โดยมีเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่สูงที่สุด จากผลการทดลองสรุปได้ว่า เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันเมล็ดทานตะวันนั้น มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ดีเซล โดยพิจารณาปัจจัยหลายประการ เช่น ความหนืด จุดวาบไฟ และ ปริมาณกรด เป็นต้น ซึ่งจากผลการทดลองนั้นแสดงให้เห็นว่าไบโอดีเซลหากได้รับการสังเคราะห์ในสภาวะที่เหมาะสมแล้ว จะมีคุณสมบัติทดแทนเชื้อเพลิงชีวมวลได้อย่างดีเยี่ยม

Bouaid, Diaz, Martinez and Aracil (2005: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาและออกแบบแบบจำลองโรงงานการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้ *Brassica carinata* ซึ่งเป็นพืชน้ำมันที่ผลิตได้ในทวีปยุโรปทางใต้ (สเปน และอิตาลี) และทางเหนือของแอฟริกาใต้ ทำการผลิตไบโอดีเซลโดยทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอล และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Yang, Jia, Wang and You (2005 : บทคัดย่อ) ทำการศึกษาการบำบัดควันจากน้ำมันที่ประกอบอาหารโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ จากการศึกษาพบว่าควันจากน้ำมันที่ใช้ประกอบอาหารมีคุณสมบัติคล้ายควันที่เกิดจากการสูบบุหรี่ นั่นคือ มีองค์ประกอบของสารก่อมะเร็ง เช่น Aromatic Amines, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), Niro-Polycyclic Aromatic Hydrocarbons และอื่น ๆ และเป็นที่น่าทึ่งคืออยู่ว่าการใช้ไฟฟ้าดัดนิยมนำมาใช้นั้นเป็นวิธีที่ชาก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่ำเพื่อบำบัดควันน้ำมันที่เกิดจากการประกอบอาหาร ตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่ได้รับการพัฒนาจากตัวเร่งปฏิกิริยา MnO_2/CuO ที่ประสบความสำเร็จและมีคุณสมบัติที่เหมาะสม การทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาจะศึกษาภายใต้สภาวะของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน อุณหภูมิของตัวเร่งปฏิกิริยา และเวลาที่ทำปฏิกิริยา ซึ่งผลการทดลองทำให้ทราบว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการบำบัดควันน้ำมันที่เกิดจากการประกอบอาหาร ส่วนเรื่องระยะเวลาในการทดลอง การทดลองเรื่องสารพิษจากน้ำที่ปล่อยออกมา และการศึกษาอุณหภูมิที่ตัวเร่งปฏิกิริยาคงตัวสามารถตรวจสอบได้จากการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา

Suzuki, Yoshihiro, Maruyama and Toshiroh (2005: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาวิธีการใหม่ในการแยกของเสียน้ำมัน เป็นการรวมกระบวนการง่าย ๆ และใช้เวลาในการบำบัดน้อย ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงาน การศึกษาการกำจัดน้ำมันออกจากน้ำโดยกระบวนการรวมตะกอนและการแยกโฟมครั้งนี้ สารที่ใช้ Poly Aluminum Chloride (PAC) และ Milk Casein ในการทดลอง โดยเติม Casein ก่อนกระบวนการแยกโฟม การกำจัดน้ำมันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยการเติมสารลดแรงดึงผิวที่มีลักษณะคล้ายฟอง ปริมาณของ Casein จะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ในกระบวนการนี้ ที่จริงแล้วการเติมสารลดแรงดึงผิวไม่มีความจำเป็น เนื่องจากปริมาณสารลดแรงดึงผิวในการทำโฟมเพียงพอแล้ว สำหรับการบำบัดน้ำมันออกจากน้ำเสียโรงงานเหล็กชุบ สภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้ PAC และ Milk Casein คือ 30 mg-Al/L และ 10 mg/L ตามลำดับ และความเข้มข้นของน้ำมันจะลดลงจาก 170 mg/L เหลือเพียง 2.2 mg/L ภายหลังจากทดสอบกับน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันหลายประเภท ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันเท่ากับ 96 - 99% โดยขึ้นอยู่กับปริมาณ PAC และ Milk Casein ที่ใช้

Mansour and Chalbi (2006: บทคัดย่อ) น้ำมันที่กระจายอยู่ในของผสมน้ำมันกับน้ำจะถูกแยกออกในเซลล์ไฟฟ้าเคมีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ขั้วลบเป็น Titanium เคลือบด้วย Ruthenium Oxide และขั้วบวกเป็น Stainless Steel ศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น ความหนาแน่น ความเข้มข้นของน้ำมัน เวลาการลอยตัว และความเข้มข้นของการรวมตะกอน จากการศึกษาได้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันได้ร้อยละ 70 ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ ความเข้มข้นของ NaCl 75% (3.5% by wt) และความเข้มข้นของ NaCl รวมกับความเข้มข้นของตัวรวมตะกอน ใช้พลังงานไฟฟ้าจะแปรผันตั้งแต่ 0.4

จนถึง 1.6 kWh m^{-3} กระบวนการกำจัดน้ำมันจะแสดงได้โดยกลไกของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ผลการทดลองที่ได้มีค่าคงที่ ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันจะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่ทำการศึกษา

Miao and Wu (2006: บทคัดย่อ) ทำการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ได้จากสาหร่าย ชนิดของสาหร่ายที่สนใจทำการศึกษาในครั้งนี้ คือ *Chlorella protothecoides* ซึ่งจากการทดลองพบว่ามีปริมาณไขมันภายในเซลล์ในปริมาณสูง (55%) ทำการสกัดโดยใช้เฮกเซน และนำไขมันนั้นไปผลิตไบโอดีเซลโดยผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการที่ดีประสิทธิภาพสูงที่สุดได้ถึง 100% คือ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 5.6:1 โดยโมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง จากผลการทดลองนี้ ผู้ศึกษาได้แนะนำให้ใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมชีวภาพร่วมกับปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ทำให้วิธีการดำเนินการมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และให้ผลผลิตที่เป็นไบโอดีเซลที่มีคุณภาพสูง

Gammoun et al., (2006: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาความสามารถของเปลือกไม้ในการแยกของเสียประเภทน้ำมัน และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกจากน้ำ โดยใช้การวัดปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนเปลือกไม้ เปลือกไม้ที่มีความหนาแน่นต่ำ มีรูพรุนจำนวนมากจะลอยอยู่เหนือผิวน้ำ และสามารถกำจัดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันที่ลอยตัวอยู่เหนือน้ำในลักษณะแผ่นฟิล์ม เปลือกไม้ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยจะมีความสามารถในการดูดซับสูง ซึ่งเปลือกไม้จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันและสารไฮโดรคาร์บอนได้หลายเท่าของน้ำหนักตัว (6.5 - 7.6 กรัมของน้ำมัน และ 6.3 กรัมของไฮโดรคาร์บอนต่อน้ำมันเปลือกไม้ 1 กรัม) ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำจะเกิดได้อย่างสมบูรณ์

Veljkovic, Lakicevic, Stamenkovic, Todorovic and Lazic (2006: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากเมล็ดใบยาสูบ โดยผ่านกระบวนการ 2 ขั้นตอน ได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่ง ตามด้วยเมทาโนไลซิสโดยใช้เบสเป็นตัวเร่ง ในขั้นตอนแรกเป็นการลดกรดไขมันอิสระให้มีค่าน้อยกว่า 2% ภายใน 25 นาทีโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 18 : 1 ขั้นตอนที่สอง เป็นการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ในขั้นแรกให้กลายเป็น กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ และกลีเซอรอล ปริมาณของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดมากที่สุด 91% โดยใช้เวลา 30 นาที น้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดใบยาสูบมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (ASTM D6751 - 02) และสหภาพยุโรป (DIN EN 14214) ยกเว้นปริมาณกรดที่มากกว่าค่ามาตรฐาน (<0.05) ดังนั้น เมล็ดใบยาสูบที่เป็นของเสียจากการเกษตรอาจจะเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตไบโอดีเซลได้

Encinar, González and Einares (2007: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ น้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้วโดยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันกับเอทานอล ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยา

คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ และโพแทสเซียมเมทอกไซด์ วัตถุประสงค์ของการศึกษา คือ ศึกษาลักษณะของเอทิลเอสเทอร์ในการจุดตัดไฟในเครื่องชนิด โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อัตราส่วนระหว่างเอทานอลต่อน้ำ (6 : 1 – 12 : 1) ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (0.1 - 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา (35 - 78 องศาเซลเซียส) และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของเอทิลเอสเทอร์ที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกันโดยใช้เครื่อง GC (Gas Chromatography) และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซลโดยใช้ความหนาแน่น ความหนืด การจุดตัดไฟ การเผาไหม้ การดูดควัน จุดหมอก และจุดไหลเทคาร์บอนที่หลงเหลือ ลักษณะของการกลั่น ดัชนีซีเทน และค่าความร้อนตามมาตรฐาน ISO ซึ่งจากการศึกษาไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติที่สุด คือ ไบโอดีเซลที่ทำปฏิกิริยาโดยใช้อัตราส่วนระหว่างเอทานอลต่อน้ำมัน เท่ากับ 12 : 1 โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 78 องศาเซลเซียส

Vicente, Martinez and Aracil (2007a: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาและหาสภาวะที่เหมาะสมจากการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันทานตะวัน โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยน้ำหนักน้ำมันทานตะวัน และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอล : น้ำมัน ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้คือ เปอร์เซ็นต์ที่ผลิตไบโอดีเซลได้และเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมาก และส่งผลดีต่อความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล แต่ส่งผลทางด้านลบคือเปอร์เซ็นต์ไบโอดีเซลที่ผลิตได้ เช่นเดียวกับอุณหภูมิที่ส่งผลดีต่อความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล แต่ส่งผลทางด้านลบคือเปอร์เซ็นต์ไบโอดีเซลที่ผลิตได้ และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอล: น้ำมันจะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลเท่านั้น โดยสภาวะที่ดีที่สุด คือ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนโมลเมทานอล : น้ำมัน เท่ากับ 6:1

Wang, Ou, Liu and Zhang (2007: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้ว โดยทำการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลโดยใช้กรดเพอร์ริกซัลเฟต และไดรกลีเซอไรด์ในน้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้วจะถูกทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยเมทานอลโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในขั้นตอนที่ 2 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากรดเพอร์ริกซัลเฟตมีความสามารถในการทำให้กรดไขมันอิสระ (FFA) ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลได้สูง เมื่อใช้กรดเพอร์ริกซัลเฟต 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยอัตราส่วนเมทานอลต่อไดรกลีเซอไรด์เท่ากับ 10 : 1 ทำปฏิกิริยาที่

อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่า อัตราการเปลี่ยนกรดไขมันอิสระสูงถึง 97.22 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันอิสระสูงถึง 97.22 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันต่อที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อไตรกลีเซอไรด์เท่ากับ 6 : 1 ผลึกกันซ์ขั้นสุดท้ายคือ ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้ 97.02 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ต่อด้วยเครื่อง GC (Gas Chromatography) ซึ่งจากการวิเคราะห์วิธีการผลิตไบโอดีเซลแบบใหม่เปรียบเทียบกับวิธีการผลิตแบบเก่า พบว่า แบบ 2 ขั้นตอน มีข้อดีหลายประการ เช่น ไม่ก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด ประสิทธิภาพการผลิตสูง เครื่องมือที่ใช้ราคาต่ำ และง่ายต่อการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ได้ใหม่

จากการตรวจสอบงานวิจัยที่ทำการศึกษา พบว่า งานวิจัยในประเทศไทย ช่วงเริ่มต้นเกิดขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 ผู้วิจัยส่วนใหญ่จะศึกษาพลังงานทดแทนน้ำมันโดยมีการนำน้ำมันจากพืช หรือไขมันจากสัตว์มาใช้แทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ โดยไม่ผ่านกระบวนการปรับแต่งเครื่องยนต์ หรือปรับปรุงคุณสมบัติน้ำมันแต่อย่างใด ผลจากการศึกษาพบว่าน้ำมันที่ได้จากพืชหรือไขมันจากสัตว์นั้นจะมีความหนืดสูง ติดเครื่องยนต์ได้ยาก มีปัญหาการเดินเครื่องที่รอบต่ำๆ เครื่องสะดุด และเกิดปัญหาการสันดาปไม่ต่อเนื่อง ซึ่งต่อมาได้มีการแก้ปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น โดยการใช้ไขมันที่ผสมกับน้ำมันจากพืชซึ่งสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวที่กล่าวข้างต้นได้ และได้มีการศึกษาการนำน้ำมันปาล์มมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า เอสเทอร์ที่ได้จะให้ค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล นอกเหนือจากการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ยังมีผู้สนใจทำการศึกษาคตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทอื่น ๆ เช่น เบส เอนไซม์ไลเปส ซึ่งพบว่าเอนไซม์ไลเปสจะมีข้อจำกัดด้านการลงทุนที่ค่อนข้างสูง

ต่อมาในปี พ.ศ. 2543 ได้มีการศึกษาโดยการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล โดยการผ่านปฏิกิริยาทรานเมทิลเรชัน (Transmethylation) สารเคมีที่ใช้ คือ โซเดียมเมทริกไซด์ (NaOCH_3) ทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืชใช้แล้วละลายในโทลูอีน อัตราส่วนการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับเมทานอล เท่ากับ 3.5 : 1 ซึ่งจากการทดลอง พบว่า เมื่อนำน้ำมันผสมเมทิลเอสเทอร์มากขึ้นทำให้อัตราการเผาไหม้ลดลง และในปี พ.ศ. 2544 ได้มีการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เปอร์เซ็นต์โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมที่สุด คือ 1.00 เปอร์เซ็นต์จะทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีค่าซีเทนสูงถึง 43.1 และค่าความหนืด จุดวาบไฟ และจุดไหลเทใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ต่อมาในปี พ.ศ. 2546 ได้มีการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันพืชก่อนหรือหลังการประกอบอาหาร และหาอิทธิพลที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่า น้ำมันพืชหลังการประกอบอาหารจะมีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มมากขึ้น และอิทธิพลที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน คือ ความชื้น

และปริมาณกรดไขมัน อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์กับไครคลีเซอไรด์ ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา และอุณหภูมิ

ด้านงานวิจัยต่างประเทศนั้น การวิจัยเกี่ยวกับน้ำมันไบโอดีเซลส่วนใหญ่ ผู้วิจัยจะสนใจนำ น้ำมันจากพืชมาเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา เช่น น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันจากถั่วเหลือง น้ำมันที่ได้จากสาหร่าย และน้ำมันจากเมล็ดใบชาสูบ เป็นต้น สารเคมีที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดแก่ เช่น กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น จากการศึกษาการนำน้ำมันจากสาหร่ายมาผลิตเป็นไบโอดีเซลที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ การใช้อัตราเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 5.6 : 1 โดยโมล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง ซึ่งส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพสูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์

เมื่อกล่าวโดยสรุปแล้ว งานวิจัยทั้งในและต่างประเทศนั้นจะนิยมศึกษาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ดีเซล เท่าที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาว่ามีงานวิจัยที่ทำการศึกษาวิธีการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยวิธีการตั้งทิ้งไว้ และงานวิจัยที่ใช้ Filter และ Membrane ในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ ทางผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่าหากทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อจำกัดด้านเวลาในกระบวนการแยก ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลาในการแยกเป็นเวลานานประมาณ 24 ชั่วโมง จะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตไบโอดีเซลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในเชิงพาณิชย์ที่สำคัญต่อไป

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินโดยวิธีการกวนแยก เป็นการวิจัยเชิงทดลอง แบ่งการศึกษากออกเป็น 5 ตอน ดังนี้

1. ทำการผลิตไบโอดีเซลโดยผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1% โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1
2. การหาปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์โดยการตั้งทิ้งไว้
3. การหาปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาในการกวน 5, 15 และ 30 นาที
4. การหาปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์โดยเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% จำนวน 1 มิลลิลิตร และทำการกวนแยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาในการกวน 5, 15 และ 30 นาที
5. เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์ระหว่างการตั้งทิ้งไว้ การกวนแยกที่ความเร็ว และเวลาในการกวนต่างๆ และการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% และทำการกวนแยกที่ระดับความเร็ว และเวลาในการกวนต่างๆ เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์
6. ทำการศึกษาปริมาณสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ที่เหมาะสมโดยการเติมจำนวน 0.5, 1.0 และ 1.5 มิลลิลิตร เพื่อแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ โดยการใช้ความเร็วรอบและระยะเวลาที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบในขั้นตอนที่ 5

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องให้ความร้อนและเครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Combination Hot Plate Magnetic Stirrer) และแท่งแม่เหล็ก (Magnetic Bar) ยี่ห้อ Fisher Stirrer Hotplate รุ่น A005353
2. เครื่องชั่งความละเอียด 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Denver Instrument Company รุ่น TR-403
3. เครื่องชั่งความละเอียด 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น BT 2100
4. นาฬิกาจับเวลา
5. บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
6. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
7. บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
8. ซ้อนดักสาร
9. เทอร์โมมิเตอร์ 0 - 100 องศาเซลเซียส
10. กรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร
11. กล้องถ่ายภาพดิจิทัล (Digital Camera)
12. ขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

3.1.2 สารเคมี

1. น้ำมันปาล์ม บริษัท โอสิน จำกัด
2. เมทานอล (Analytical Grade; Merck, Germany)
3. โพลีเอทิลีนไกลคอลไฮดรอกไซด์ (Analytical Grade; Ajax Finechem, Australia)

3.2 วิธีการวิจัย

ทดลองความเป็นไปได้ในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอริน ทำการผลิตเอสเทอร์ หรือไบโอดีเซลโดยผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันในขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพลีเอทิลีนไกลคอลไฮดรอกไซด์ปริมาณ 1 % โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 กวนที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยานาน 30 นาที จึงทำการกวนแยกกลีเซอรินออกที่ความเร็ว และระยะเวลาในการกวนต่างๆ

3.2.1 แผนการวิจัย

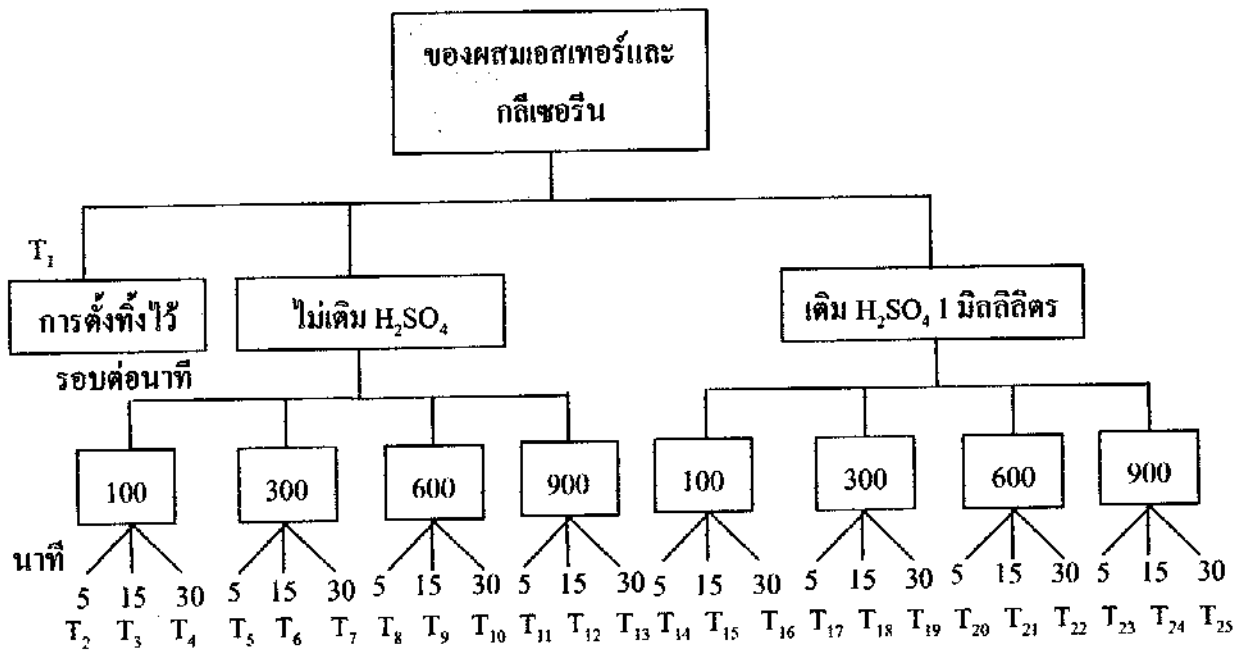
3.2.1.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินโดยการกวนแยก

ในการทดลองนี้ วางรูปแบบการทดลอง 4 x 3 x 2 Factorial Arrangement Plus Control Group ตามภาพที่ 3.1 จำนวน 3 จำ โดยแบ่งเป็น 3 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 : ความเร็วในการกวนแยก แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ ที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที

ปัจจัยที่ 2 : ระยะเวลาในการกวนแยก แบ่งเป็น 3 ระยะ คือ 5, 15 และ 30 นาที

ปัจจัยที่ 3 : การเติมสารละลายกรด แบ่งเป็น 2 ระดับ คือ การเติมสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 98% และ ไม่เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98%



ภาพที่ 3.1 รูปแบบการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอริน โดยวิธีการกวนแยก

3.2.1.2 หน่วยการทดลอง (Experimental Units)

การทดลองนี้จะมี 25 หน่วยการทดลอง แต่ละหน่วยทดลองจะได้รับวิธีการปฏิบัติ หรือทรีทเมนต์ (Treatment) คือ ความเร็วรอบในการกวนแยก ระยะเวลาในการกวนแยก และการเติมและไม่เติมสารละลายกรดซัลฟูริก ดังนี้

หน่วยทดลองที่ 1 การตั้งทิ้งไว้

หน่วยทดลองที่ 2 กวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

หน่วยทดลองที่ 3 กวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

หน่วยทดลองที่ 4 กวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

หน่วยทดลองที่ 5 กวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

หน่วยทดลองที่ 6 กวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

หน่วยทดลองที่ 7 กวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

หน่วยทดลองที่ 8 กวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

หน่วยทดลองที่ 9 กวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

หน่วยทดลองที่ 10 กวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

หน่วยทดลองที่ 11 กวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

หน่วยทดลองที่ 12 กวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

หน่วยทดลองที่ 13 กวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

หน่วยทดลองที่ 14 เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

หน่วยทดลองที่ 15 เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ปริมาณ 1 มิลลิลิตรตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

หน่วยทดลองที่ 16 เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

หน่วยทดลองที่ 17 เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

หน่วยทดลองที่ 18 เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

หน่วยทดลองที่ 19 เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

- หน่วยทดลองที่ 20 เคมีสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ตามด้วยการ
กวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
- หน่วยทดลองที่ 21 เคมีสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ตามด้วยการ
กวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
- หน่วยทดลองที่ 22 เคมีสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ตามด้วยการ
กวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที
- หน่วยทดลองที่ 23 เคมีสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ตามด้วยการ
กวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
- หน่วยทดลองที่ 24 เคมีสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ตามด้วยการ
กวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
- หน่วยทดลองที่ 25 เคมีสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ตามด้วยการ
กวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

3.2.2 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้

3.2.2.1 การผลิตไบโอดีเซล

- การเตรียมน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำมันปาล์มจากโรงงานผลิต
น้ำมันพืช บริษัท โอสิน จำกัด ตั้งอยู่ที่ เลขที่ 64 หมู่ 6 ต.บางโพธิ์ อ.เมือง จ.สมุทรสาคร

- การผลิตไบโอดีเซลโดยกระบวนการทรานเอสเทอร์ริเคชัน

น้ำมันปาล์มจะทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริเคชันกับเมทานอลโดยใช้
สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 ในขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60
องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 % โดยน้ำหนักน้ำมัน
กวนที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยานาน 30 นาที จึงทำการกวนแยก
กลีเซอรินออกที่ความเร็ว และระยะเวลาในการกวนต่างๆ

3.2.2.2 การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการกวนแยก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการกวนแยกเพื่อให้กลีเซอรินแยกชั้นออกจากเอสเทอร์ คือ เครื่อง
Magnetic Stirrer ยี่ห้อ Fisher Stirrer Hot Plate รุ่น A005353 โดยสามารถปรับความเร็วในการกวน
ตั้งแต่ 100 - 1,000 รอบต่อนาที

3.2.3 การทดลอง

3.2.3.1 ทำการผลิต ไบโอดีเซลโดยผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันจะได้ของผสมระหว่างเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) และกลีเซอริน

3.2.3.2 ทำการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยใช้ความเร็วรอบ และระยะเวลาในการกวนต่าง ๆ

3.2.3.3 บันทึกปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ 5 นาที 10 นาที 15 นาที 20 นาที 25 นาที 30 นาที 45 นาที 1 ชั่วโมง 1.5 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 2.5 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง โดยมีรายละเอียดดังภาพที่ 3.2 ซึ่งจากภาพที่ 3.2 กลีเซอรินจะแยกตัวออกทางด้านล่างของของผสมระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินก่อนเอสเทอร์ ทำให้การทดลองในครั้งนี้จึงวัดปริมาณกลีเซอรินแทนการวัดปริมาณเอสเทอร์ เนื่องจากไม่สามารถวัดปริมาณเอสเทอร์ที่อยู่ในรูปของของผสมระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินได้

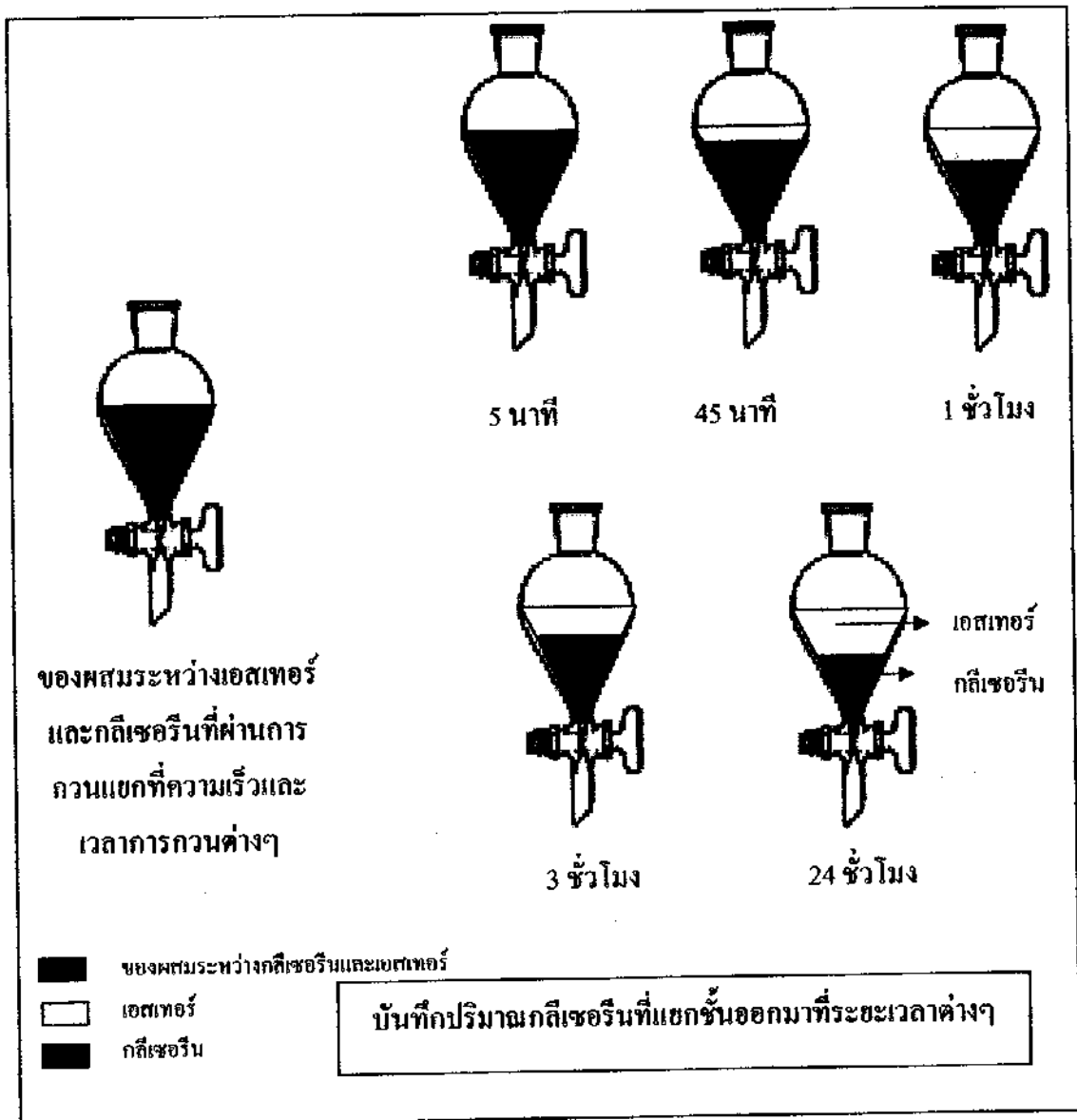
3.2.3.4 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ในแต่ละตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบตัวอย่างที่ได้ปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกมาสูงสุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในการแยก 100 % ตามสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ในการแยก (\%)} = \frac{\text{ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากของผสมกลีเซอรินและเอสเทอร์}}{\text{ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกมาสูงสุด}} \times 100$$

3.2.3.5 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การแยกกลีเซอรินในแต่ละตัวอย่างเพื่อหาปัจจัยความเร็วในการกวน ระยะเวลาในการกวน และการเติมและไม่เติมกรดซัลฟูริกที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์การแยกกลีเซอรินสูงสุด

3.2.3.6 ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

3.2.3.7 ทำการศึกษาปริมาณสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ที่เหมาะสมในการเติมจำนวน 0.5, 1.0 และ 1.5 มิลลิลิตร ต่อของผสมเอสเทอร์และกลีเซอริน 600 มิลลิลิตร เพื่อแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ โดยการใช้ความเร็วรอบและระยะเวลาในการกวนที่เหมาะสมสำหรับการกวนแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์



ภาพที่ 3.2 แสดงแบบจำลองการแยกตัวของกลีเซอรินจากเอสเตอร์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

3.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (ANOVA) ของค่าปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเตอร์ ที่ความเร็วรอบในการกวนที่แตกต่างกัน และระยะเวลาการกวนที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองโดยใช้สถิติ LSD (Least Significant Difference) และ Duncan's Multiple - Range Test และใช้ Sirichai Statistics ในการทดสอบสมมติฐาน

3.2.5 ระยะเวลาและสถานที่ที่ใช้ในการศึกษา

ระยะเวลาในการศึกษาครั้งนี้เป็นเวลา 10 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549 – สิงหาคม พ.ศ. 2550 โดยทำการศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

บทที่ 4

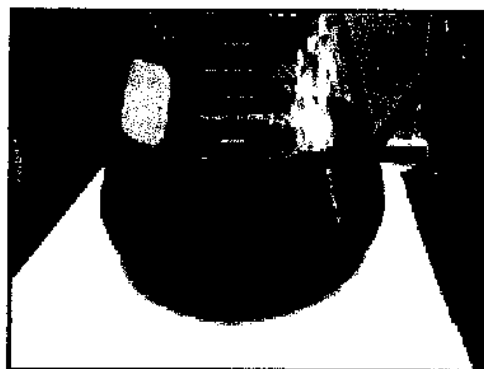
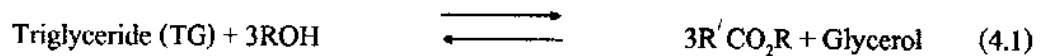
ผลการทดลองและอภิปรายผล

การวิจัยเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอริน โดยวิธีการกวนแยก ผู้วิจัยได้ทำการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งเป็นกระบวนการที่นิยมที่สุดในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (Frangrui and Hana, 1999 อ้างถึงใน ณัฐพงศ์ เสนาธิบดิ์ และวิธาน เกียรติอุบลไพบูล, 2544: 8) ระหว่างน้ำมันปาล์มจากบริษัท โอสิน จำกัด และเมทานอลจากบริษัท Merck โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จากบริษัท Ajax Finechem เข้มข้น 1% โดยน้ำหนักน้ำมัน ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทอัลคาไลน์ นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซล เพราะกระบวนการผลิตจะรวดเร็ว และได้สภาวะของปฏิกิริยาที่เหมาะสม (Freedman et al., 1984 อ้างถึงใน Vicente, Martinez and Aracil, 2007) สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่ให้ผลผลิตสูงที่สุดในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (Freedman et al., 1986 อ้างถึงใน ทรายพงษ์ วิทิตสานต์ สุขุภา นิติวัดนานานนท์ นุจรี เกาห์ประเสริฐ และธนาทิพย์ อัสวผดุงสิทธิ์, 2546: 3) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปั่นกวนที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยานาน 30 นาที จากนั้นแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกทำการกวนแยกของผสมระหว่างกลีเซอรินและเอสเทอร์ที่ความเร็วต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที ชุดที่ 2 ทำการเติมกรดซัลฟูริก 98% ที่อัตราส่วน 1 มิลลิลิตรต่อของผสมกลีเซอรินและเอสเทอร์ 600 มิลลิลิตร จากนั้นจึงทำการกวนแยกที่ความเร็วต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อ นาที และที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที

ผลการศึกษาปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกมาจากเอสเทอร์ โดยการตั้งทิ้งไว้ เปรียบเทียบกับการกวนแยก และการเติมกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยก ที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที มีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการตั้งทิ้งไว้

ลักษณะของ ไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นไบโอดีเซลที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์มและเมทานอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจากการทดลองของ Encinar, Gonzalez and Eimares (2007: 517) ที่หาความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์โดยใช้ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ 0.5, 1.0 และ 1.5 % พบว่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.0 % โดยน้ำหนักน้ำมัน จะให้ปริมาณเอสเทอร์สูงสุด ดังนั้น ในการทดลองนี้จะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1% โดยน้ำหนักน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6 : 1 โดย Encinar, Gonzalez and Eimares (2007: 514) กล่าวว่าการใช้แอลกอฮอล์ที่มากเกินไป จะบังคับให้ปฏิกิริยาไปทางขวา ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยานาน 30 นาที ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการที่ (4.1) และไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.1



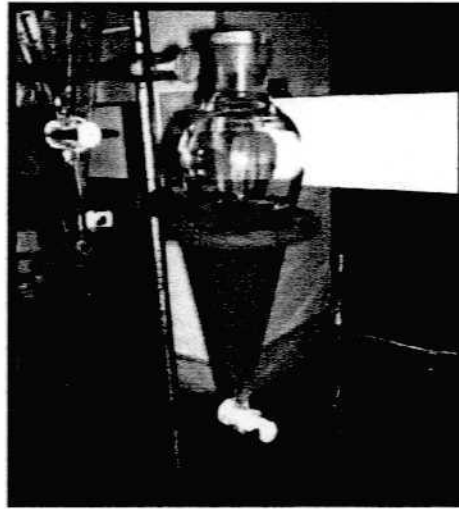
ภาพที่ 4.1 ลักษณะไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลอง

ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันจะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ ขั้นตอนแรก เป็นการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นไดกลีเซอไรด์ ตามด้วยการเปลี่ยนไดกลีเซอไรด์ให้เป็นโมโนกลีเซอไรด์ และขั้นตอนสุดท้าย คือ การเปลี่ยนโมโนกลีเซอไรด์ ให้กลายเป็นกลีเซอรอล ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะได้เอสเทอร์ 1 โมเลกุล จากแต่ละกลีเซอไรด์ในของแต่ละขั้นตอน ปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ แต่อย่างไรก็ตามสมดุลจะเลื่อนไปทางผลิตภัณฑ์

กรดไขมันอิสระ และกลีเซอรอล (Frangui and Hanna, 1999; Meher, Sagar and Naik, 2006 อ้างถึงใน Encinar, Gonzalez and Einares, 2007: 514) ซึ่งกลไกของปฏิกิริยาจะแสดงดังสมการที่ (4.2) - (4.4)



เนื่องจากการวัดปริมาณกลีเซอรินเริ่มต้นที่ระยะเวลา 0 นาที หรือทันทีที่การทำปฏิกิริยาแล้วเสร็จ 30 นาที ไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากของผสมระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินรวมตัวเป็นสารเนื้อเดียวมีลักษณะเป็นสีเหลืองขุ่น ดังแสดงในภาพที่ 4.2 จึงเริ่มทำการวัดปริมาณกลีเซอรินเริ่มต้นที่เวลา 5 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่สามารถสังเกตเห็นกลีเซอรินลักษณะสีน้ำตาลเข้มแยกออกจากเอสเทอร์ได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ผู้วิจัยได้ทำการวัดปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์โดยการทิ้งไว้ที่ระยะเวลา 5 นาที 10 นาที 15 นาที 20 นาที 25 นาที 30 นาที 45 นาที 1 ชั่วโมง 1.5 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 2.5 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ แสดงผลได้ดังตาราง 4.1



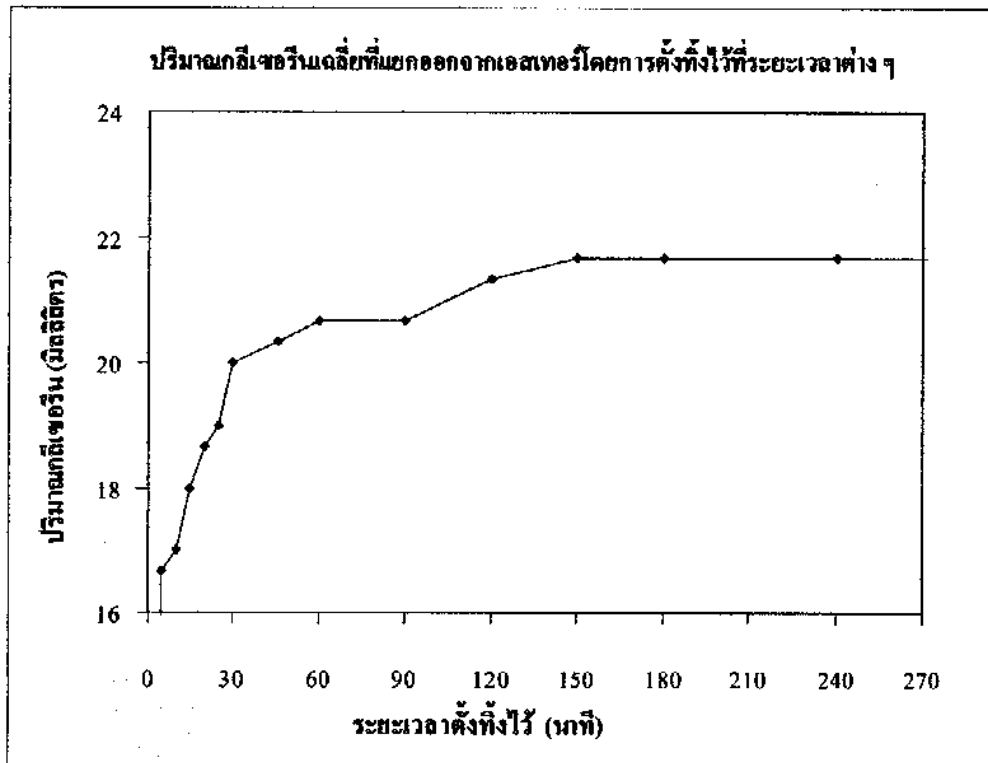
ภาพที่ 4.2 ลักษณะของของผสมระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินภายหลังจากทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเสร็จสิ้น ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 0 นาที



ภาพที่ 4.3 ลักษณะของกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการตั้งทิ้งไว้เพียงอย่างเดียว เมื่อเวลาตั้งทิ้งไว้ผ่านไป 5 นาที

ตารางที่ 4.1 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์ โดยการคั่งทิ้งไว้ที่เวลาต่าง ๆ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

เวลา	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์ (มิลลิลิตร)
5 นาที	16.67
10 นาที	17.00
15 นาที	18.00
20 นาที	18.67
25 นาที	19.00
30 นาที	20.00
45 นาที	20.33
1 ชั่วโมง	20.67
1.5 ชั่วโมง	20.67
2 ชั่วโมง	21.33
2.5 ชั่วโมง	21.67
3 ชั่วโมง	21.67
4 ชั่วโมง	21.67
24 ชั่วโมง	21.67



ภาพที่ 4.4 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.1 พบว่า อัตราเร็วในการแยกกลีเซอรินช่วง 5 นาทีแรกเฉลี่ยเท่ากับ 3.33 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งมีปริมาณกลีเซอรินเริ่มต้นที่แยกออกจากเอสเทอร์ที่เวลาตั้งทิ้งไว้ 5 นาทีเท่ากับ 16.67 มิลลิลิตร จากนั้นปริมาณกลีเซอรินเพิ่มขึ้นและคงที่ที่เวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที วัดปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยได้เท่ากับ 21.67 มิลลิลิตร และปริมาณนี้คงที่จนกระทั่งถึงเวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้น ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดในการแยกกลีเซอรินโดยการตั้งทิ้งไว้เท่ากับ 21.67 มิลลิลิตร

4.2 ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที

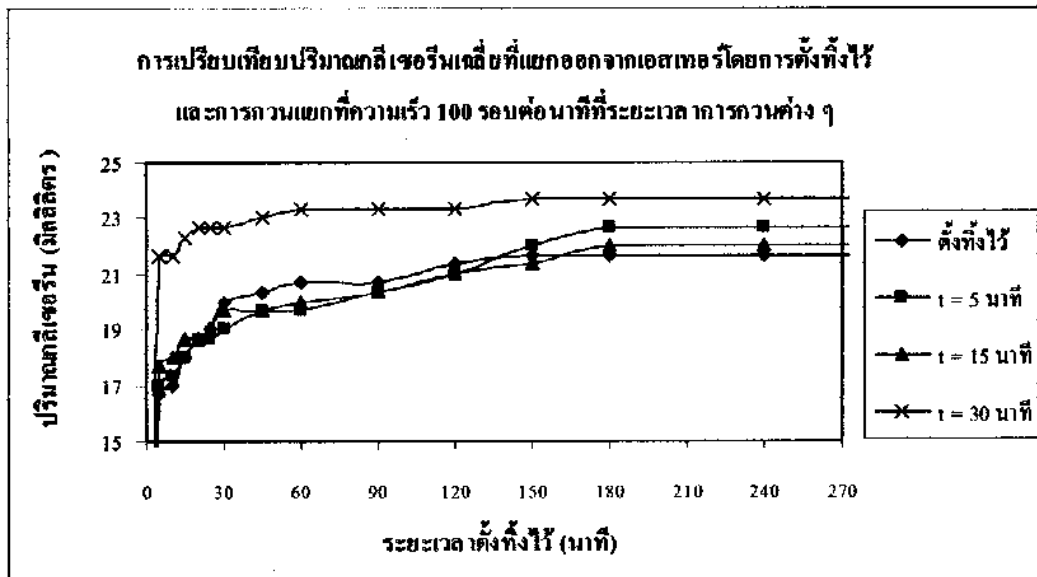
การศึกษาปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที และระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยแต่ละหน่วยทดลองวัดในรูปของปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์ในกรวยแยกมีหน่วยเป็นมิลลิลิตรที่เวลาการตั้ง

ทิ้งไว้ ดังต่อไปนี้ ระยะเวลา 5 นาที 10 นาที 15 นาที 20 นาที 25 นาที 30 นาที 45 นาที 1 ชั่วโมง 1.5 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 2.5 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5,15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลา	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์ (มิลลิลิตร)		
	ที่ระยะเวลาการกวนต่าง ๆ		
	5 นาที	15 นาที	30 นาที
5 นาที	17.00	17.67	21.67
10 นาที	17.33	18.00	21.67
15 นาที	18.00	18.67	22.33
20 นาที	18.67	18.67	22.67
25 นาที	18.67	19.00	22.67
30 นาที	19.00	19.67	22.67
45 นาที	19.67	19.67	23.00
1 ชั่วโมง	19.67	20.00	23.33
1.5 ชั่วโมง	20.33	20.33	23.33
2 ชั่วโมง	21.00	21.00	23.33
2.5 ชั่วโมง	22.00	21.33	23.67
3 ชั่วโมง	22.67	22.00	23.67
4 ชั่วโมง	22.67	22.00	23.67
24 ชั่วโมง	22.67	22.00	23.67



ภาพที่ 4.5 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการตั้งทิ้งไว้ และการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยการตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.2 พบว่า อัตราเร็วในการแยกกลีเซอรินช่วง 5 นาทีแรกเฉลี่ยของการกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 3.40, 3.53 และ 4.33 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ อัตราการแยกกลีเซอรินของระยะเวลาการกวน 30 นาที มีค่ามากกว่าการตั้งทิ้งไว้ และการกวนที่ 5 และ 15 นาที ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดว่า ช่วงระยะเวลาที่ทำการกวนแยกนั้น ความร้อนยังคงอยู่ในของผสมเอสเทอร์และกลีเซอริน ทำให้สารตั้งต้นที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาสามารถเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันต่อไปได้ โดยการกวนที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นการกวนที่ความเร็วต่ำ ทำให้การใช้ระยะเวลาในการกวนนาน ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าการกวนที่ใช้ระยะเวลาน้อย ปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาการกวน 30 นาทีมีปริมาณสูงกว่า ทำให้อัตราเร็วในการแยกกลีเซอรินสูงกว่าการกวนที่ระยะเวลาอื่น และการตั้งทิ้งไว้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Frangrui and Hana (1999 อ้างถึงใน ฉัฐพงษ์ เสนาธิบดิ์ และวิชาน เกียรติอุบลไพบูล, 2544: 8) ที่กล่าวว่า เวลาในการปั่นกวนส่งผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน และการกวนยังทำให้เกิดการรวมตัวระหว่างกลีเซอริน - กลีเซอริน และ เอสเทอร์ - เอสเทอร์ เกิดขึ้นได้ดี ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า การกวนที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที จึงต้องใช้ระยะเวลาในการกวนนาน จึงสามารถเพิ่มปฏิกิริยา และทำให้การแยกกลีเซอรินเกิดได้ดีขึ้น

จากการศึกษาปริมาณกลีเซอรินเริ่มต้นที่แยกออกจากเอสเทอร์ที่เวลาดังตั้งไว้ 5 นาที โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที มีปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย เท่ากับ 17.00, 17.67 และ 21.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินของการทดลองตั้งตั้งไว้และการกวนที่เวลา 5 และ 15 นาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ระยะเวลาการกวนที่ 30 นาที แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับการตั้งตั้งไว้และการกวนที่เวลา 5 และ 15 นาที โดยระยะเวลาการกวน 30 นาที มีปริมาณกลีเซอรินสูงที่สุด

จากภาพที่ 4.5 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที จะเห็นว่าลักษณะปริมาณกลีเซอรินที่แยกชั้นออกจากเอสเทอร์โดยการตั้งตั้งไว้ การกวนที่ใช้เวลา 5 และ 15 นาที ปริมาณกลีเซอรินที่ออกมามีค่าใกล้เคียงกันมากตลอดระยะเวลาตั้งตั้งไว้ที่ทำการศึกษา นั่นคือ ตั้งแต่ 5 นาที จนถึงเวลา 24 ชั่วโมง แต่การกวนที่เวลา 30 นาที จะมีลักษณะแยกตัวออกจากกลุ่มอย่างชัดเจนโดยปริมาณกลีเซอรินที่แยกชั้นออกมามีค่าสูงที่สุดดังภาพที่ 4.5

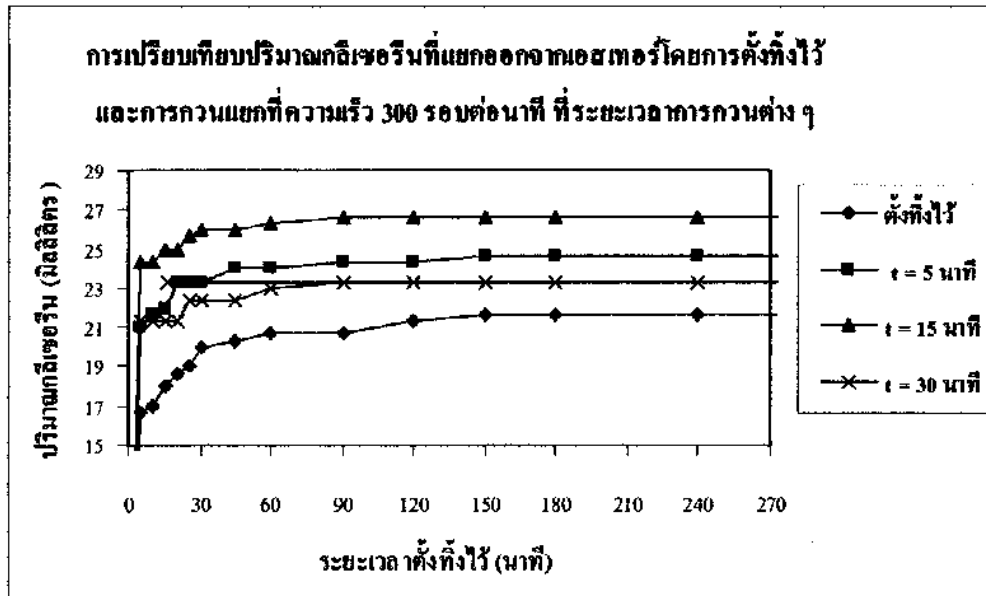
เมื่อพิจารณาปริมาณกลีเซอรินที่เริ่มคงที่โดยที่ระยะเวลาในการกวนแยกส่งผลให้เวลาที่ปริมาณกลีเซอรินจะแยกตัวออกจากเอสเทอร์คงที่ที่แตกต่างกัน นั่นคือ การตั้งตั้งไว้ การกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที ระยะเวลาที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์คงที่เท่ากับ 2.5, 3, 3 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบายข้างต้นที่กล่าวว่าการกวนที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เนื่องจากเป็นความเร็วรอบต่ำ จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการกวนนาน เพื่อให้สารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาผสมเข้ากันได้อย่างทั่วถึง การเกิดปฏิกิริยาจึงเกิดได้ดี และการกวนที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที จะช่วยให้การแยกชั้นระหว่างกลีเซอริน และเอสเทอร์ได้ดีขึ้น เนื่องจากการกวนที่ความเร็วรอบที่ต่ำกว่าความเร็วที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา จะทำให้เกิดการรวมตัวของกลีเซอริน ซึ่งจากการทดลองของ Gerpen, Shanks, Pruszkod, Clements and Knothe (2004: 67) สรุปว่า การกวนที่ช้าลงหลังจากการทำปฏิกิริยาเสร็จสิ้นแล้ว จะช่วยให้เกิดการแยกชั้นระหว่างกลีเซอรินและเอสเทอร์เกิดได้ดีขึ้น จากการทดลองนี้การกวนที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลา 30 นาที สามารถแยกชั้นให้ปริมาณกลีเซอรินคงที่ได้เร็วกว่าการตั้งตั้งไว้ และการกวนใช้เวลา 5 และ 15 นาที ซึ่งการใช้ระยะเวลาการกวนที่นานที่สุด เป็นการช่วยให้กลีเซอรินรวมตัวและแยกออกจากเอสเทอร์ได้ดีที่สุด แต่การกวนที่ใช้ระยะเวลา 5 และ 15 นาที ปริมาณกลีเซอรินที่คงที่ใช้เวลามากกว่าการตั้งตั้งไว้ ทั้งนี้ผู้ศึกษาสันนิษฐานว่าเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันย้อนกลับกลายเป็นโมโนกลีเซอไรด์ซึ่งจะทำให้กลีเซอรินแยกออกได้ยากยิ่งขึ้น (Frangrui and Hana, 1999 อ้างถึงใน ฉัฐพงศ์ เสนาธิบดิน และวิธาน เกียรติอุบลไพบูล, 2544: 8)

ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดที่แยกออกมาที่สามารถวัดได้จากกรดตั้งทิ้งไว้ การกวนที่ใช้ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 21.67, 22.67, 22.00 และ 23.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกมาจากเอสเทอร์โดยการตั้งทิ้งไว้ การกวนที่ใช้เวลา 5 และ 15 นาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดของการกวนที่ใช้เวลา 30 นาที แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับการตั้งทิ้งไว้ และการกวนที่ใช้เวลา 5 และ 15 นาที ทั้งนี้สอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้นที่กล่าวว่า การกวนที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ความแรงของการกวนน้อยทำให้ของผสมระหว่างสารตั้งต้นที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา คือ น้ำมันปาล์ม และเมทานอล ผสมเข้ากันได้ยาก ดังนั้น ระยะเวลาในการกวนที่ 5 และ 15 นาที ไม่เพียงพอสำหรับการผสมให้น้ำมันปาล์ม และเมทานอลที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา ผสมกันได้อย่างทั่วถึง การเกิดปฏิกิริยาจึงเกิดขึ้นไม่มาก ทำให้อัตราการแยกกลีเซอรินและปริมาณกลีเซอรินสูงสุดจึงไม่แตกต่างเมื่อเทียบกับการตั้งทิ้งไว้ และการกวนที่ใช้เวลา 30 นาทีให้ปริมาณกลีเซอรินที่เกิดขึ้นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการตั้งทิ้งไว้ และการกวนที่ใช้เวลา 5 และ 15 นาที

4.2.2 การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการกวน 5, 15 และ 30 นาที แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาทีที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลา	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์ (มิลลิลิตร) ที่ระยะเวลาการกวน		
	5 นาที	15 นาที	30 นาที
5 นาที	21.00	24.33	21.33
10 นาที	21.67	24.33	21.33
15 นาที	22.00	25.00	21.33
20 นาที	23.33	25.00	21.33
25 นาที	23.33	25.67	22.33
30 นาที	23.33	26.00	22.33
45 นาที	24.00	26.00	22.33
1 ชั่วโมง	24.00	26.33	23.00
2 ชั่วโมง	24.33	26.33	23.33
2.5 ชั่วโมง	24.67	26.33	23.33
3 ชั่วโมง	24.67	26.33	23.33
4 ชั่วโมง	24.67	26.33	23.33
24 ชั่วโมง	24.67	26.33	23.33



ภาพที่ 4.6 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการตั้งทิ้งไว้ และการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.3 พบว่า อัตราเร็วในการแยกกลีเซอรินช่วง 5 นาทีแรกเฉลี่ยของการกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 4.93, 5.27 และ 4.67 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ อัตราการแยกกลีเซอรินของระยะเวลาการกวน 15 นาที มีค่ามากกว่าการตั้งทิ้งไว้ และการกวนที่ 5 และ 30 นาที ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดว่า ช่วงระยะเวลาที่ทำการกวนแยกนั้น สารตั้งต้นบางส่วนยังคงสามารถเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันต่อไปได้ ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.1 โดยการกวนที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นการกวนที่ความเร็วสูงกว่า 100 รอบต่อนาที ทำให้การใช้ระยะเวลาในการกวนน้อยกว่า การเกิดปฏิกิริยาจึงเกิดขึ้น ได้ดีกว่า โดยการกวนที่ใช้ระยะเวลา 15 นาที มีอัตราเร็วการแยกกลีเซอรินสูงสุด ซึ่งผู้วิจัยสันนิษฐานว่า การกวนที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที สามารถทำให้สารตั้งต้นที่ยังไม่ทำปฏิกิริยาเกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ โดยการใช้เวลา 15 นาที เกิดการผสมกันได้ดีกว่าการใช้เวลา 5 นาที แต่การใช้เวลา 30 นาที มีอัตราการแยกกลีเซอรินลดลงอาจเกิดเนื่องมาจากการกวนที่แรง และใช้เวลานาน ทำให้เมทานอลระเหยออกไปมากกว่าการใช้ระยะเวลาสั้น และเหตุผลอีกประการ คือ การกวนที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นการกวนที่ความเร็วต่ำกว่าความเร็วที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะทำให้กลีเซอรินและเอสเทอร์แยกออกจากกันได้ดีขึ้น (Gerpen, Shanks, Pruszkod, Clements and Knothe, 2004: 67)

จากการศึกษาปริมาณกลีเซอรินเริ่มต้นที่แยกออกจากเอสเทอร์ที่เวลา 5 นาที โดยการกวน แยกด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที มีปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย เท่ากับ 21.00, 24.33 และ 21.33 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอริน ที่ได้รับการกวนแยกทั้ง 3 ระยะเวลา นั้นคือ ที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาทีมีค่าแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินจากการตั้งทิ้งไว้ แต่ปริมาณกลีเซอรินจากการกวน ที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากภาพที่ 4.6 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการตั้งทิ้งไว้ และการกวนแยกที่ ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ใช้ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาดังกล่าว จะเห็นได้ว่า เส้นกราฟแสดงปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์ของการกวนที่ทั้ง 3 ระยะเวลา ในการกวน ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกมามีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือ ปริมาณกลีเซอรินจะเพิ่ม สูงขึ้นอย่างรวดเร็วใน 1 ชั่วโมงแรก จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนคงที่ โดยปริมาณกลีเซอริน เริ่มต้นของการกวนที่ใช้เวลา 5 และ 30 นาทีมีค่าใกล้เคียงกันอย่างมาก แต่เริ่มมีความแตกต่างของ ปริมาณกลีเซอรินตั้งทิ้งไว้ตั้งแต่เวลา 20 นาที เป็นต้นไป แต่ปริมาณกลีเซอรินของการกวนที่ใช้เวลา 15 นาที มีปริมาณสูงกว่าปริมาณกลีเซอรินที่ได้จากการกวนที่ 5 และ 30 นาที จากการทดสอบทาง สถิติพบว่าไม่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

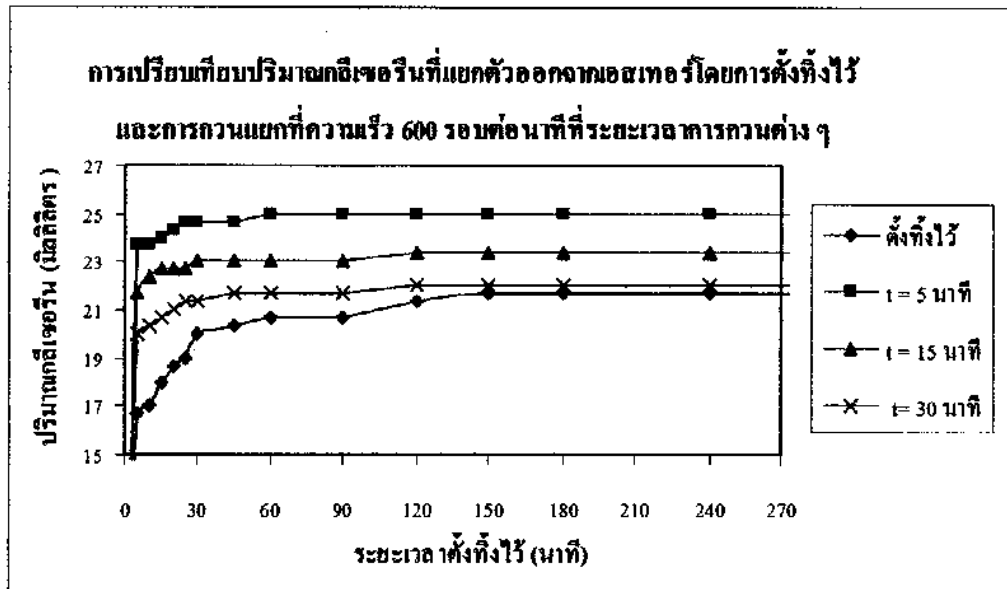
เมื่อพิจารณาปริมาณกลีเซอรินคงที่โดยที่ระยะเวลาในการกวนแยกส่งผลให้เวลาที่ปริมาณ กลีเซอรินจะแยกตัวออกจากเอสเทอร์คงที่แตกต่างกัน นั่นคือ การตั้งทิ้งไว้ การกวนที่ใช้เวลา 5, 15 และ 30 นาที ระยะเวลาที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์คงที่เท่ากับ 2.5, 2.5, 1.5 และ 1.5 ชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเวลาที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินคงที่ของการตั้งทิ้งไว้ และ การกวนที่ 5 นาที ใช้เวลาเท่ากัน นั่นคือ 2.5 ชั่วโมง และเวลาในการกวน 15 และ 30 นาที ใช้เวลา เท่ากัน คือ 1.5 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการกวนที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที พบว่าการกวนที่ 300 รอบต่อนาที ปริมาณกลีเซอรินคงที่เร็วกว่า แสดงว่า การกวนด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที ทำ ให้การเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเกิดขึ้นต่อไปได้ดีกว่า เพราะเป็นการผสมให้สารตั้งต้นที่ ยังไม่ทำปฏิกิริยาให้ผสมเข้ากันอย่างทั่วถึง ส่งผลให้ปริมาณกลีเซอรินซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมของ ปฏิกิริยามีปริมาณมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Barnwal and Sharma (2005: 372) ที่ สรุปว่าความแรงของการผสมเป็นตัวแปรที่สำคัญของการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน และ การกวนที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่น้อยกว่าความเร็วรอบที่ใช้ในการทำ ปฏิกิริยาทำให้การแยกกลีเซอรินและเอสเทอร์เกิดขึ้นได้ดีขึ้น (Gerpen, Shanks, Pruszkod, Clements and Knothe, 2004: 67)

ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดของการตั้งทิ้งไว้ และการกวนที่ใช้เวลา 5, 15 และ 30 นาที ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดที่แยกออกมาที่สามารถวัดได้มีค่าเท่ากับ 21.67, 24.67, 26.67 และ 23.33 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่ความเร็ว 300 รอบต่อ นาที ทุกระยะเวลาในการกวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินของการตั้งทิ้งไว้ และปริมาณกลีเซอรินสูงสุดที่เวลาใช้ในการกวน 5 และ 30 นาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่การกวนที่ใช้เวลา 15 นาที มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับการกวนที่ใช้เวลา 5 และ 30 นาที ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า การกวนที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นความเร็วรอบที่น้อยกว่าความเร็วรอบที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งจะช่วยให้การแยกกลีเซอรินและเอสเทอร์เกิดขึ้นได้ดีขึ้น (Gerpen, Shanks, Pruszkod, Clements and Knothe, 2004: 67) โดยการกวนที่ใช้เวลา 15 นาทีนั้น สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อไปได้มากขึ้น และอีกส่วนหนึ่งช่วยให้กลีเซอรินรวมตัวและแยกออกได้รวดเร็วขึ้นกว่าการกวนที่ระยะเวลา 5 นาที ทั้งนี้ผู้ศึกษาสันนิษฐานว่า เวลาในการกวน 5 นาที อาจจะยังไม่มากพอที่ทำให้เกิดการรวมตัวของกลีเซอริน ทำให้ปริมาณกลีเซอรินที่วัดได้มีค่าลดลง และการใช้เวลากวน 30 นาทีนั้น เวลาในการกวนอาจจะมากเกินไป ทำให้มีทานอระเหยออกไปมากกว่าการใช้ระชื่อน้อย ปริมาณกลีเซอรินที่วัดได้จึงมีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การกวนที่ระยะเวลาอื่น ๆ

4.2.3 การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการกวน 5, 15 และ 30 นาที แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาทีที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลา	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์ (มิลลิลิตร) ที่ระยะเวลาการกวน		
	5 นาที	15 นาที	30 นาที
5 นาที	23.67	21.67	20.00
10 นาที	23.67	22.33	20.33
15 นาที	24.00	22.67	20.67
20 นาที	24.33	22.67	21.00
25 นาที	24.67	22.67	21.33
30 นาที	24.67	23.00	21.33
45 นาที	24.67	23.00	21.67
1 ชั่วโมง	25.00	23.00	21.67
1.5 ชั่วโมง	25.00	23.00	21.67
2 ชั่วโมง	25.00	23.33	22.00
2.5 ชั่วโมง	25.00	23.33	22.00
3 ชั่วโมง	25.00	23.33	22.00
4 ชั่วโมง	25.00	23.33	22.00
24 ชั่วโมง	25.00	23.33	22.00



ภาพที่ 4.7 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการตั้งทิ้งไว้ และการกวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.4 พบว่า อัตราเร็วในการแยกกลีเซอรินช่วง 5 นาทีแรกเฉลี่ยของการกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 5.00, 4.67 และ 4.40 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ อัตราการแยกกลีเซอรินของระยะเวลาการกวน 5 นาที มีค่ามากกว่าการตั้งทิ้งไว้ การกวนที่ 15 และ 30 นาที ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดว่า ช่วงระยะเวลาที่ทำการกวนแยกนั้น สารตั้งต้นบางส่วนยังคงสามารถเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันต่อไปได้ ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.1 โดยการกวนที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที เป็นการกวนที่ความเร็วสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อไปได้ดี แม้ใช้ระยะเวลาการกวนน้อย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Alcantara, Amores, Canoira, Fidalgo, Franco and Narro (2000: 522) ที่สรุปว่า การกวนที่ความเร็วสูงกว่า ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เร็วกว่าการกวนที่ความเร็วต่ำกว่า แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาการกวนเป็น 15 และ 30 นาที อัตราเร็วการแยกตกลง ตามลำดับ ซึ่งผู้วิจัยสันนิษฐานว่า อาจเกิดเนื่องมาจากการกวนที่แรง และใช้เวลานาน ทำให้เมทานอลระเหยออกไปมากกว่าการใช้ระยะเวลาสั้นๆ ปริมาณกลีเซอรินที่วัดได้จึงมีปริมาณลดลง และสาเหตุอีกประการหนึ่งผู้ศึกษาได้ทำการสันนิษฐานว่า ความเร็วของการกวนทำให้กลีเซอรินที่เป็นผลิตภัณฑ์ร่วมที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน เกิดการแตกกระจายเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ในชั้นของเอสเทอร์ เนื่องจากความเร็วของการปั่นกวน ซึ่ง Kac (2007) ได้แนะนำว่า

ความเร็วรอบในการกวนไม่ควรมากกว่า 500 - 600 รอบต่อนาที เนื่องจากจะทำให้สารละลายเกิดการกระจายตัว การทำให้น้ำมันบริสุทธิ์นั้นทำได้ยากยิ่งขึ้น

จากการศึกษาปริมาณกลีเซอรินเริ่มต้นที่แยกออกจากเอสเทอร์ที่เวลาดังตั้งไว้ 5 นาที โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที มีปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยเท่ากับ 23.67, 21.67 และ 20.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินที่ได้รับการกวนแยกที่ใช้เวลา 5 และ 15 นาทีนั้นมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินจากการตั้งทิ้งไว้ แต่ปริมาณกลีเซอรินจากการกวนแยกโดยใช้ระยะเวลา 30 นาทีนั้นมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินจากการตั้งทิ้งไว้ และปริมาณกลีเซอรินจากกวนที่ใช้เวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากภาพที่ 4.7 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการตั้งทิ้งไว้ และการกวนแยกความเร็ว 600 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าเส้นแสดงปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์ของการกวนทั้ง 3 ระยะเวลาในการกวนมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ปริมาณกลีเซอรินจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วใน 30 นาทีแรก จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนคงที่ โดยเส้นปริมาณกลีเซอรินของการกวนที่ใช้เวลา 5 นาทีมีค่าสูงที่สุดตามด้วยที่ใช้เวลา 15 และ 30 นาที และการตั้งทิ้งไว้ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณกลีเซอรินคงที่โดยที่ระยะเวลาในการกวนแยกส่งผลให้เวลาที่ปริมาณกลีเซอรินจะแยกตัวออกจากเอสเทอร์คงที่แตกต่างกัน นั่นคือ การตั้งทิ้งไว้ การกวนที่ใช้ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที ระยะเวลาที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์คงที่เท่ากับ 2.5, 1, 2 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการกวนที่ใช้เวลา 5 นาที ทำให้ปริมาณกลีเซอรินคงที่โดยใช้เวลาที่น้อยที่สุด ตามด้วยการกวนที่ใช้เวลา 15 และ 30 นาที และการตั้งทิ้งไว้ ตามลำดับ โดยเวลาในการกวนแปรผันตรงกับระยะเวลาที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินคงที่ เมื่อใช้เวลานานในการกวนมาก เวลาที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินคงที่ก็มากขึ้นด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ระยะเวลาการกวนที่ความเร็วรอบสูงมีผลในทางลบต่อการแยกกลีเซอริน นั่นคือ เมื่อกวนที่ความเร็วรอบสูงเป็นเวลานานจะทำให้กลีเซอรินที่กำลังจะแยกชั้นเกิดการแตกกระจายเป็นอนุภาคคอลลอยด์ภายในเอสเทอร์ เป็นเหตุให้การแยกต้องใช้เวลาานมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Kac (2007) ซึ่งได้แนะนำว่าความเร็วรอบในการกวนไม่ควรมากกว่า 500 - 600 รอบต่อนาที เนื่องจากจะทำให้สารละลายเกิดการกระจายตัว การทำให้น้ำมันบริสุทธิ์นั้นทำได้ยากยิ่งขึ้น

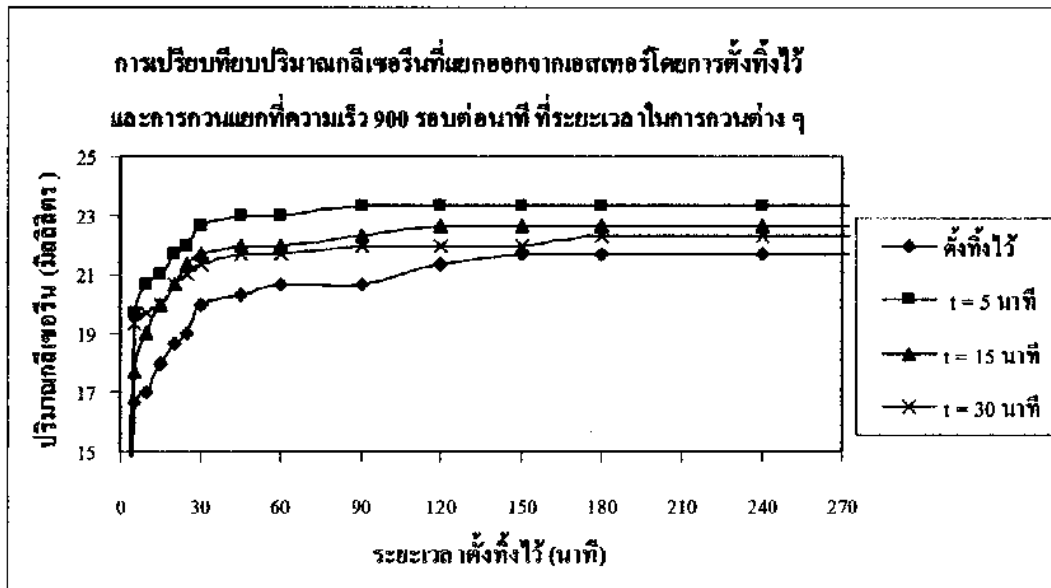
ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดของการตั้งทิ้งไว้ และการกวนที่ใช้เวลา 5, 15 และ 30 นาที ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดที่แยกออกมาที่สามารถวัดได้มีค่าเท่ากับ 21.67, 25.00, 23.33 และ 22.00 มิลลิลิตร

ตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่ความเร็ว 600 รอบต่อ นาที ทุกระยะเวลาในการกวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินของการตั้งทิ้งไว้ และปริมาณกลีเซอรินสูงสุดที่เวลาในการกวน 5, 15 และ 30 นาที มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงว่า ที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการกวนส่งผลกระทบต่อปริมาณกลีเซอริน โดยที่ใช้เวลา 5 นาที สามารถแยกกลีเซอรินได้ปริมาณสูงสุด และลดลงเมื่อเพิ่มเวลาการกวนเป็น 15 และ 30 นาที ตามลำดับ อธิบายได้ว่าการกวนด้วยความเร็วสูงนั้น ส่วนหนึ่งทำให้สารตั้งต้นที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา ผสมกันและเกิดปฏิกิริยามากขึ้น (Barwal and Sharma, 2005: 372) แต่การกวนที่ความเร็วรอบสูงและเวลาในการกวนที่มากเกินไป ทำให้เมทานอลระเหยออกไปมากกว่าการใช้ระยะเวลาสั้น ปริมาณกลีเซอรินที่วัดได้จึงมีปริมาณลดลงตามลำดับเมื่อเพิ่มระยะเวลาการกวนเพิ่มขึ้น

4.2.4 การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการกวน 5, 15 และ 30 นาที แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลา	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์ (มิลลิลิตร)		
	ที่ระยะเวลาการกวน		
	5 นาที	15 นาที	30 นาที
5 นาที	19.67	17.67	19.33
10 นาที	20.67	19.00	19.67
15 นาที	21.00	20.00	20.00
20 นาที	21.67	20.67	20.67
25 นาที	22.00	21.33	21.00
30 นาที	22.67	21.67	21.33
45 นาที	23.00	22.00	21.67
1 ชั่วโมง	23.00	22.00	21.67
1.5 ชั่วโมง	23.33	22.33	22.00
2 ชั่วโมง	23.33	22.67	22.00
2.5 ชั่วโมง	23.33	22.67	22.00
3 ชั่วโมง	23.33	22.67	22.33
4 ชั่วโมง	23.33	22.67	22.33
24 ชั่วโมง	23.33	22.67	22.33



ภาพที่ 4.8 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอริน โดยการตั้งทิ้งไว้ และการกวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาดังกล่าว

จากตารางที่ 4.5 พบว่า อัตราเร็วในการแยกกลีเซอรินช่วง 5 นาทีแรกเฉลี่ยของการกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 3.93, 3.53 และ 3.87 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ อัตราการแยกกลีเซอรินของระยะเวลาการกวนทั้ง 3 เวลา มีค่าใกล้เคียงกันโดยเวลาที่ใช้ในการกวน 5 นาทีมีค่ามากที่สุดเช่นเดียวกับการกวนที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ทั้งนี้อาจเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ที่เข้มข้นขณะทำการกวนแยก ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.1 แต่การกวนที่มีความแรงสูงทำให้อัตราเร็วการแยกลดลงเมื่อเทียบกับความเร็วรอบอื่น ๆ ซึ่งการกวนด้วยความแรงจะทำให้เมทานอลระเหยออกไปมากกว่าการใช้ความเร็วรอบต่ำกว่า และความเร็วของการกวนทำให้กลีเซอรินเกิดการแตกกระจายเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ ในชั้นของเอสเทอร์ ทำให้ปริมาณกลีเซอรินที่วัดได้จึงมีปริมาณลดลง

จากการศึกษาปริมาณกลีเซอรินเริ่มต้นที่แยกออกจากเอสเทอร์ที่เวลาตั้งทิ้งไว้ 5 นาที โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที มีปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยเท่ากับ 19.67, 17.67 และ 19.33 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินที่ได้รับการกวนแยกใช้ระยะเวลา 5 และ 15 นาทีนั้นมีความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินจากการตั้งทิ้งไว้ และปริมาณกลีเซอรินจากการกวนแยกที่ใช้ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาทีนั้นมีความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณกลีเซอรินคงที่ โดยที่ระยะเวลาในการกวนแยกส่งผลให้เวลาที่ปริมาณกลีเซอรินจะแยกตัวออกจากเอสเทอร์คงที่แตกต่างกัน นั่นคือ การตั้งทิ้งไว้ การกวนที่เวลา 5, 15 และ 30 นาที ระยะเวลาที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์คงที่เท่ากับ 2.5, 1.5, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเวลาการกวนที่ใช้เวลา 5 นาที ทำให้ปริมาณกลีเซอรินคงที่ได้เร็วที่สุด ตามด้วยเวลาการกวนที่ใช้เวลา 15 นาที การตั้งทิ้งไว้ และการกวนที่ใช้เวลา 30 นาที ตามลำดับ ดังนั้น เวลาในการกวนที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ส่งผลให้เวลาที่ปริมาณกลีเซอรินคงที่แตกต่างกัน โดยเวลาในการกวนแปรผันตรงกับระยะเวลาที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินคงที่ เช่นเดียวกับการกวนที่ 600 รอบต่อนาที เมื่อใช้เวลาในการกวนมาก เวลาที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินคงที่ก็มากขึ้นด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การกวนที่ความเร็วรอบสูงมีผลในทางลบต่อการแยกกลีเซอริน ดังที่ Kac (2007) กล่าวไว้ว่า การกวนที่ความเร็วมากกว่า 500 รอบต่อนาที จะทำให้เกิดการแตกกระจายของสารละลาย ทำให้การแยกเกิดขึ้นได้ยาก นั่นคือ เมื่อกวนที่ความเร็วรอบสูงเป็นระยะเวลานานจะทำให้กลีเซอรินที่กำลังจะแยกชั้นเกิดการแตกกระจายเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ภายในเอสเทอร์ เป็นเหตุให้การแยกต้องใช้เวลาานมากขึ้น โดยเฉพาะการกวนที่ 30 นาที ซึ่งใช้เวลาในการทำให้ปริมาณกลีเซอรินคงที่มากกว่าการตั้งทิ้งไว้

ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดของการตั้งทิ้งไว้ และจากการกวนที่ใช้ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดที่แยกออกมาที่สามารถวัดได้มีค่าเท่ากับ 21.67, 23.33, 22.67 และ 22.33 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ทุกระยะเวลาในการกวนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินของการตั้งทิ้งไว้ ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดที่เวลาในการกวน 5 นาที มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับการตั้งทิ้งไว้ และการกวนที่ใช้เวลา 30 นาที แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับการกวนที่ใช้เวลา 15 นาที ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดจากการกวนที่ใช้เวลา 15 นาที มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินจากการตั้งทิ้งไว้ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากการกวนที่ใช้เวลา 5 และ 30 นาที และปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่ใช้เวลาการกวน 30 นาที มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับการตั้งทิ้งไว้ และการกวนที่ใช้เวลา 5 นาที จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่า การกวนที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5 นาที มีปริมาณกลีเซอรินสูงกว่าการกวนที่ 15 และ 30 นาที เนื่องจากการกวนที่ความเร็วรอบสูงและเวลาในการกวนที่มากขึ้น ทำให้เมทานอลระเหยออกไปมากกว่าการใช้ระยะเวลาการกวนน้อย ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.2.3 ปริมาณกลีเซอรินที่วัดได้จึงมีปริมาณลดลง

4.3 ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที

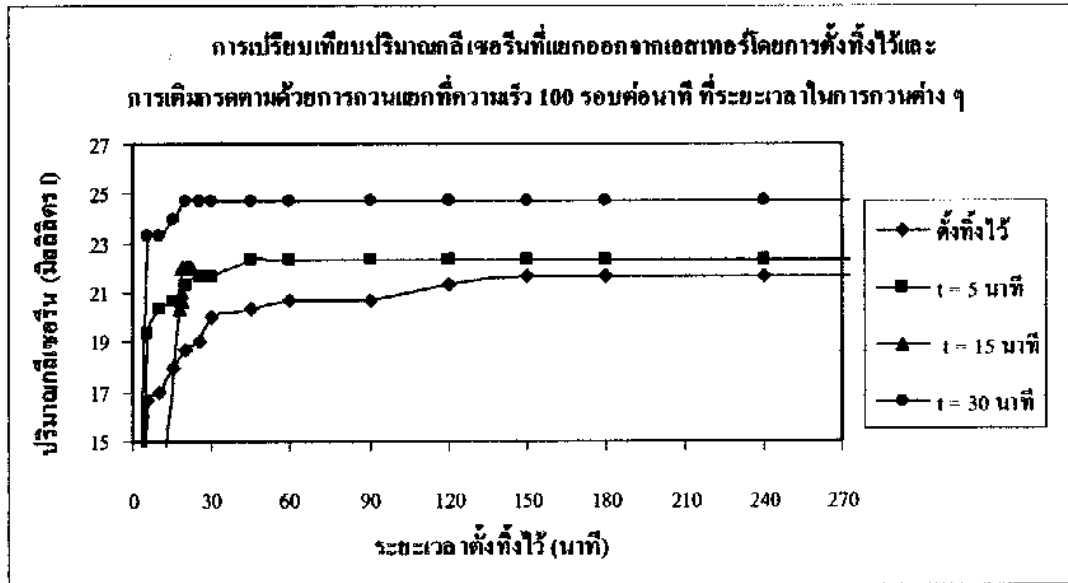
การศึกษาปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที และระยะเวลาในการกวน เวลา 5, 15 และ 30 นาที โดยแต่ละหน่วยทดลองวัดในรูปของปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์ในกรวยแยกมีหน่วยเป็นมิลลิลิตรที่ระยะเวลาดังตั้งไว้ ดังต่อไปนี้ ระยะเวลา 5 นาที 10 นาที 15 นาที 20 นาที 25 นาที 30 นาที 45 นาที 1 ชั่วโมง 1.5 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 2.5 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

**4.3.1 การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98%
ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที**

ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการกวน 5, 15 และ 30 นาที แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.6

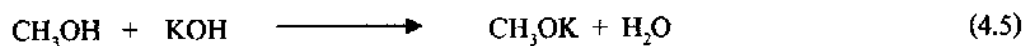
**ตารางที่ 4.6 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98%
ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที
โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ**

เวลา	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์ (มิลลิลิตร) ที่ระยะเวลาการกวน		
	5 นาที	15 นาที	30 นาที
5 นาที	19.33	20.33	23.33
10 นาที	20.33	20.67	23.33
15 นาที	20.67	21.00	24.00
20 นาที	21.33	22.00	24.67
25 นาที	21.67	22.00	24.67
30 นาที	21.67	22.00	24.67
45 นาที	22.33	22.00	24.67
1 ชั่วโมง	22.33	22.00	24.67
1.5 ชั่วโมง	22.33	22.00	24.67
2 ชั่วโมง	22.33	22.00	24.67
2.5 ชั่วโมง	22.33	22.00	24.67
3 ชั่วโมง	22.33	22.00	24.67
4 ชั่วโมง	22.33	22.00	24.67
24 ชั่วโมง	22.33	22.00	24.67



ภาพที่ 4.9 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการเคี่ยวกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ภายในชั้นของกลีเซอรินจะประกอบไปด้วยเมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ กรดไขมันอิสระ และอื่น ๆ (Bamwal and Sharma, 2005: 370) ซึ่งในระหว่างขั้นตอนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Leung and Guo (2006: 887) กล่าวว่า การละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล จะเกิดโพแทสเซียมเมทอกไซด์ (Potassium Methoxide) และน้ำขึ้น ดังสมการที่ 4.5

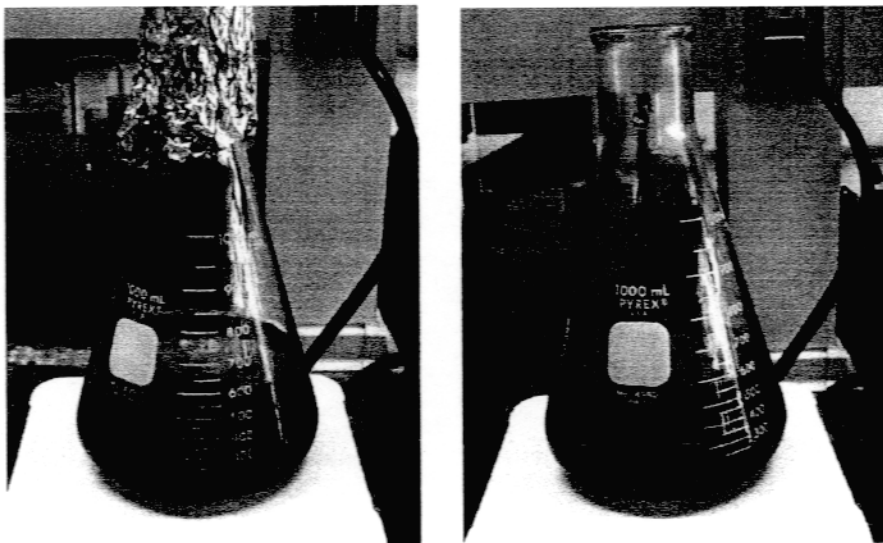


น้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานี้จะทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เกิดเป็นปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification) ขึ้น ทำให้ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ลดลง และเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลง นอกจากนี้สบู่ยังทำให้การแยกกลีเซอรินและเอสเทอร์เกิดขึ้นได้ยากอีกด้วย (Ramadhas, 2005: 339) ซึ่งการเคี่ยวกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 98% นี้ กรดซัลฟูริกที่เติมเข้าไปสามารถทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาดังที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Meher, Dharmagadka

and Naik, 2005: 1394) ซึ่งจากการทดลองนี้คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กลายเป็นเกลือของโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) ดังสมการที่ (4.6)

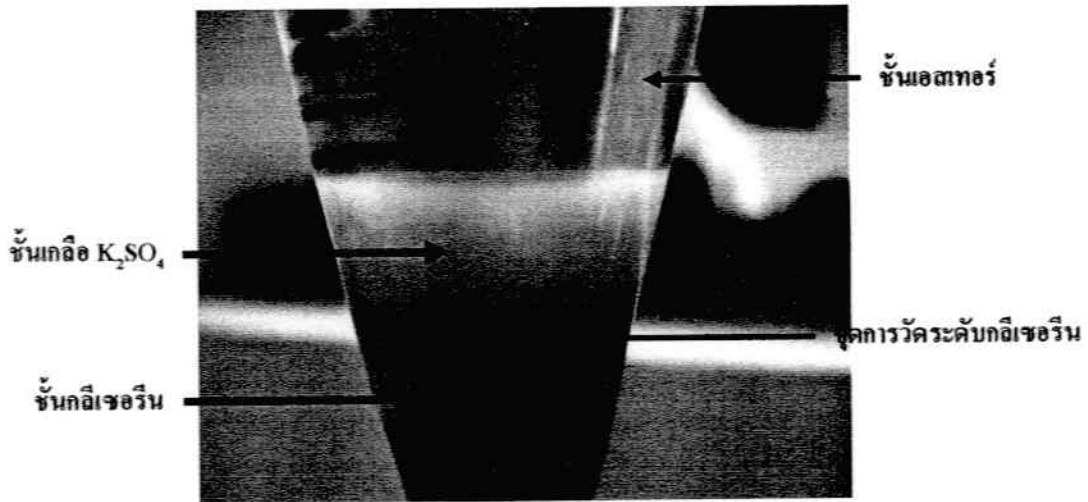


ซึ่งโดยทั่วไป ภายในชั้นของกลีเซอรินจะประกอบไปด้วย กลีเซอริน เมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา สมุ่ ตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำ และอื่น ๆ ซึ่งการเติมกรดซัลฟูริกเข้าไปภายในของผสมเมทิลเอสเทอร์ และกลีเซอริน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้กรดเข้าทำปฏิกิริยาสะเทินค่า (Neutralised) ซึ่งเป็นหนึ่งในขั้นตอนการทำให้กลีเซอรินบริสุทธิ์ (Bouaid, Diaz, Martinez and Aracil, 2005: 195) ดังนั้น เกลือที่เกิดขึ้นจะเกิดภายในชั้นของกลีเซอริน ซึ่งรายละเอียดจะแสดงดังภาพ 4.10 และ 4.11



ภาพที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของไบโอดีเซลก่อน (ซ้าย) และหลังการเติมกรด (ขวา)

จากภาพที่ 4.10 หลังเติมกรดลงไปแล้วทำการกวนแยกต่อ ไบโอดีเซลที่ทำการผลิตจะมีลักษณะเปลี่ยนจากสีเหลืองใส เป็นสีเหลืองขุ่น อันเนื่องมาจากการเกิดเกลือโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) ขึ้น และนำของผสมที่ได้ใส่ลงในกรวยแยก ลักษณะของเกลือภายในกรวยแยกแสดงดังภาพที่ 4.11 ซึ่งเกลือที่เกิดขึ้นจะตกตะกอนอยู่ภายในชั้นกลีเซอริน และบางส่วนจะละลายอยู่ภายในชั้นกลีเซอรินในเวลาต่อมา การวัดปริมาณกลีเซอรินจึงรวมกับปริมาณเกลือที่เกิดขึ้นด้วย



ภาพที่ 4.11 แสดงลักษณะเกลือที่เกิดขึ้นในกรวยแยกภายหลังการเติมกรดซัลฟูริก 98%

จากตารางที่ 4.6 พบว่า อัตราเร็วในการแยกกลีเซอรินช่วง 5 นาทีแรกเฉลี่ยของการกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 3.87, 4.07 และ 4.67 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ อัตราการแยกกลีเซอรินของระยะเวลาการกวน 30 นาที มีค่ามากที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การเติมกรดตามด้วยการกวนแยก เป็นการเพิ่มโอกาสในการให้กรดซัลฟูริกผสมเข้ากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นเกลือ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกวนเปรียบเสมือนการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดและด่างทำให้เกิดปฏิกิริยากลายเป็นเกลือได้ดียิ่งขึ้น เมื่อสามารถกำจัดโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อยู่ภายในชั้นของกลีเซอริน กลีเซอรินก็สามารถแยกตัวออกจากเอสเทอร์ได้ง่ายมากขึ้น (Bouaid, Diaz, Martinez and Aracil, 2005: 195) แต่เนื่องจากการกวนที่ความเร็วรอบต่ำทำให้ต้องใช้เวลาในการกวนนานจึงจะทำให้กรดที่เติมลงไปเข้าผสมกับด่างอย่างทั่วถึง ปฏิกิริยาสะเทินด่างจึงเกิดขึ้นได้ดี ดังนั้น การกวนที่ใช้เวลา 30 นาที จึงสามารถกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่สุด

จากการศึกษาปริมาณกลีเซอรินเริ่มต้นที่แยกออกจากเอสเทอร์ที่เวลาดังตั้งไว้ 5 นาที โดย การเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย เท่ากับ 19.33, 20.33 และ 23.33 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินของการตั้งทิ้งไว้ และการกวนที่ใช้เวลา 5 และ 15 นาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่การกวนที่ใช้เวลา 30 นาที แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับการตั้งทิ้งไว้ และการกวนที่ใช้เวลา 5 และ 15 นาที

และเมื่อพิจารณาเส้นกราฟการแยกชั้นของกลีเซอรินจากภาพที่ 4.9 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที จะเห็นว่าลักษณะปริมาณกลีเซอรินที่แยกชั้นออกจากเอสเทอร์โดยการตั้งทิ้งไว้ และการกวนที่ใช้เวลา 5 และ 15 นาที มีปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกมามีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา นั่นคือ ตั้งแต่เวลาตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จนถึงเวลา 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกับการทดลองการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาทีโดยไม่เติมกรด แต่การกวนที่เวลา 30 นาที จะมีลักษณะแยกตัวออกจากกลุ่มอย่างชัดเจน โดยเส้นกราฟของปริมาณกลีเซอรินที่แยกชั้นออกมาที่ค่าสูงที่สุดจากกราฟ เช่นเดียวกับการทดลองการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาทีโดยไม่เติมกรด ความแตกต่างระหว่างกราฟการแยกชั้นของกลีเซอรินจากการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที กับ กราฟการแยกชั้นของกลีเซอรินจากการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที นั่นคือ เส้นกราฟการแยกชั้นของการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในช่วง 20 นาทีแรกเท่านั้น ซึ่งกราฟการแยกชั้นของการกวนแยกเพียงอย่างเดียว ลักษณะของกราฟมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 2 ชั่วโมงแรก

เมื่อพิจารณาปริมาณกลีเซอรินที่เริ่มคงที่โดยที่ระยะเวลาในการกวนแยกส่งผลให้เวลาที่ปริมาณกลีเซอรินจะแยกตัวออกจากเอสเทอร์คงที่แตกต่างกัน นั่นคือ การตั้งทิ้งไว้ การกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที ระยะเวลาที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์คงที่เท่ากับ 2.5 ชั่วโมง, 45, 20 และ 20 นาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การกวนแยกเพียงอย่างเดียวที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาทีโดยไม่เติมกรด พบว่า การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที การแยกชั้นระหว่างกลีเซอรินและเอสเทอร์ใช้เวลาการแยกน้อยกว่า สาเหตุที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากการเติมกรด เป็นการขจัดตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่างออกจากกลีเซอริน ทำให้สารที่ปนเปื้อนในชั้นกลีเซอรินลดน้อยลง (Bouaid, Diaz, Martinez and Aracil, 2005: 195) ประกอบกับการกวนด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่น้อยกว่าความเร็วรอบที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทำให้การแยกกลีเซอรินและเอสเทอร์เกิดขึ้นได้ดีขึ้น (Gerpen, Shanks, Pruszkod, Clements and Knothe, 2004: 67) โดยเป็นการช่วยให้เกิดการรวมกลุ่มของกลีเซอริน และการรวมกลุ่มของเมทิลเอสเทอร์ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยเฉพาะการกวนที่ใช้ระยะเวลา 15 และ 30 นาที ที่ใช้เวลาการตั้งทิ้งไว้เพียง 20 นาที ปริมาณกลีเซอรินก็สามารถแยกออกจากเอสเทอร์จนคงที่ได้

ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดที่แยกออกมาที่สามารถวัดได้จากการตั้งทิ้งไว้ การกวนที่ใช้ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 21.67, 22.33, 22.00 และ 24.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกมาจากเอสเทอร์โดยการตั้งทิ้งไว้ และการกวนที่ใช้เวลา 5 และ 15 นาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ปริมาณกลีเซอริน

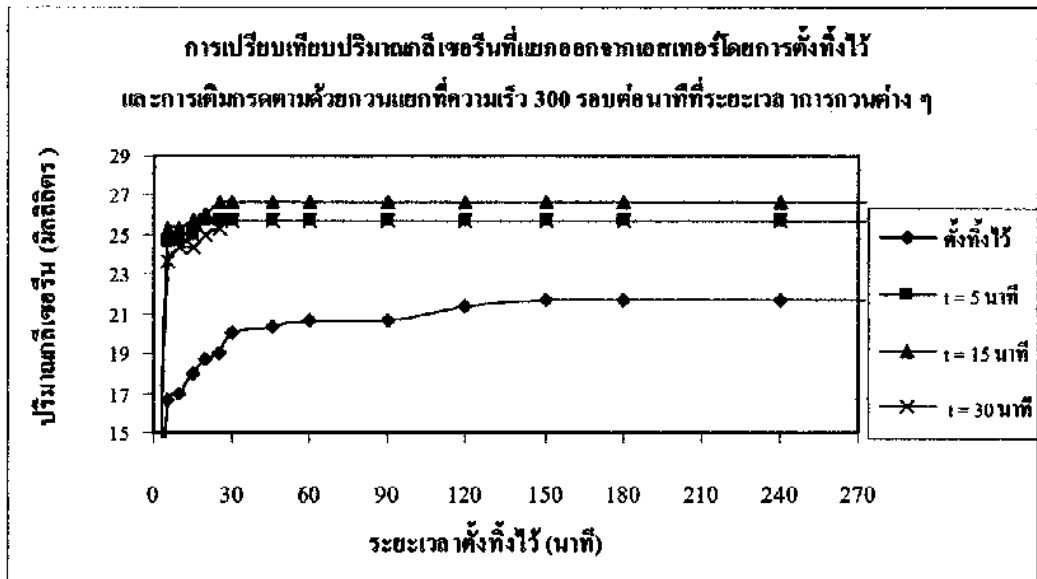
สูงสุดของการกวนที่ใช้เวลา 30 นาที แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับการตั้งทิ้งไว้ และการกวนเป็นเวลา 5 และ 15 นาที ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการกวนที่ความเร็ว 100 รอบต่อ นาทีโดยไม่เติมกรด ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การเติมกรดตามด้วยการกวนแยก เป็นการลดตัวเร่ง ปฏิริยาประเภทต่าง และสบู่ออกขึ้นในชั้นของกลีเซอริน (Bouaid, Diaz, Martinez and Aracil, 2005: 195) ดังนั้น ระยะเวลาในการทำปฏิริยาจึงมีส่วนเกี่ยวข้องกับแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์ และกลีเซอริน และการกวนที่มีความเร็วต่ำกว่าความเร็วที่ใช้ในการทำปฏิริยา เป็นการช่วยทำให้ กรดที่เติมลงไปสามารถสัมผัสหรือทำปฏิริยากับตัวเร่งปฏิริยาประเภทต่างได้ทั่วถึง และเป็นการ ช่วยทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างกลีเซอรินและเอสเทอร์ได้ดียิ่งขึ้น (Gerpen, Shanks, Pruszkod, Clements and Knothe, 2004: 67) โดยที่ระยะเวลาในการกวนนานยิ่งเป็นการปล่อยให้กรดมีโอกาส ผสมและทำปฏิริยากับต่างได้อย่างทั่วถึง และเกิดเป็นเม็ดออกตะกอนในชั้นของกลีเซอริน ดังนั้น เมื่อสามารถขจัดสารเจือปนออกจากชั้นของเอสเทอร์ได้ ปริมาณกลีเซอรินที่แยกได้จึงมีค่าสูงขึ้น

**4.3.2 การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98%
ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที**

ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการกวน 5, 15 และ 30 นาที แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการ 5, 15 และ 30 นาที ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

เวลา	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์ (มิลลิลิตร) ที่ระยะเวลาการกวน		
	5 นาที	15 นาที	30 นาที
5 นาที	24.67	25.33	23.67
10 นาที	24.67	25.33	24.33
15 นาที	25.00	25.67	24.33
20 นาที	25.67	26.00	25.00
25 นาที	25.67	26.67	25.33
30 นาที	25.67	26.67	25.67
45 นาที	25.67	26.67	25.67
1 ชั่วโมง	25.67	26.67	25.67
1.5 ชั่วโมง	25.67	26.67	25.67
2 ชั่วโมง	25.67	26.67	25.67
2.5 ชั่วโมง	25.67	26.67	25.67
3 ชั่วโมง	25.67	26.67	25.67
4 ชั่วโมง	25.67	26.67	25.67
24 ชั่วโมง	25.67	26.67	25.67



ภาพที่ 4.12 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยเติมกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยก ที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาทีที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ ระยะเวลาต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.7 พบว่า อัตราเร็วในการแยกกลีเซอรินช่วง 5 นาทีแรกเฉลี่ยของการกวนที่ ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 4.93, 5.06 และ 4.73 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ อัตรา การแยกกลีเซอรินของระยะเวลาการกวน 15 นาที มีค่ามากกว่าการตั้งทิ้งไว้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.33 มิลลิลิตรต่อนาที และการกวนที่ 5 และ 30 นาที ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดว่า เนื่องจากการเติมกรดสามารถขจัด ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทค่างที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันให้เป็นกลาง และช่วยใน การย่อยสลายสบู่ที่เกิดขึ้น (Encinar, Gonzalez and Einares, 2007: 516) ทำให้กลีเซอรินสามารถแยก ชั้นได้ง่ายขึ้น การกวนภายหลังการเติมกรดจึงเป็นการช่วยให้กรดสามารถผสมและทำปฏิกิริยากับ ตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการกวนเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี แต่การกวนที่ 30 นาที อัตราการแยกกลีเซอรินลดลงเนื่องจากระยะเวลาการกวนที่นานเกินไป ทำให้เมทานอลในของ ผสมระเหยออกไป ปริมาณกลีเซอรินที่วัดได้จึงมีค่าลดลง

จากการศึกษาปริมาณกลีเซอรินเริ่มต้นที่แยกออกจากเอสเทอร์ที่เวลาดังตั้งทิ้งไว้ 5 นาที โดย การเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลา การกวน 5, 15 และ 30 นาที มีปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย เท่ากับ 24.67, 25.33 และ 23.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินของการกวนด้วยความเร็ว 300 รอบต่อ

นาที ทั้ง 3 ระยะเวลาการกวน นั่นคือ ที่เวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินของการตั้งทิ้งไว้ แต่ปริมาณกลีเซอรินของการกวนที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

และเมื่อพิจารณาเส้นการแยกชั้นของกลีเซอรินจากภาพที่ 4.12 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที จะเห็นว่าลักษณะปริมาณกลีเซอรินที่แยกชั้นออกจากเอสเทอร์โดยใช้ระยะเวลาการกวน 5 และ 15 นาที มีปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกมาใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษานั้นคือ เวลาการตั้งทิ้งไว้ตั้งแต่ 5 นาที จนถึง เวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเส้นกราฟที่ได้จากการทดลองการกวนที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาทีโดยไม่เติมกรด พบว่า เส้นกราฟที่ได้จากการเติมกรดปริมาณกลีเซอรินจากการกวนทั้ง 3 ระยะเวลาปริมาณใกล้เคียงและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่ปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาทีเพียงอย่างเดียว แม้จะมีลักษณะการแยกชั้นที่คล้ายคลึงกัน แต่ความแตกต่างระหว่างปริมาณกลีเซอรินทั้ง 3 ระยะเวลาการกวน มีมากกว่าความแตกต่างระหว่างปริมาณกลีเซอรินของการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ทำให้สามารถขจัดสิ่งปนเปื้อนในชั้นกลีเซอรินออก สอดคล้องกับ Gerpen, Shanks, Pruszkod, Clements and Knothe (2004: 70) ที่กล่าวว่า การเติมกรดจะช่วยกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยา และสบู่ที่เกิดขึ้น ทำให้กลีเซอรินแยกชั้นออกมาได้มากกว่าการกวนเพียงอย่างเดียว อีกทั้งการเติมกรดจะช่วยให้ปริมาณกลีเซอรินเข้าสู่สภาวะที่คงที่ได้อย่างรวดเร็วมากกว่าการกวนเพียงอย่างเดียว สังเกตได้จากเส้นกราฟ ปริมาณกลีเซอรินจะเข้าสู่ปริมาณคงที่ ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้เพียง 25 นาทีเท่านั้น

เมื่อพิจารณาปริมาณกลีเซอรินที่เริ่มคงที่โดยที่ระยะเวลาในการกวนแยกส่งผลให้เวลาที่ปริมาณกลีเซอรินจะแยกตัวออกจากเอสเทอร์คงที่แตกต่างกัน นั่นคือ การตั้งทิ้งไว้ การกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที ระยะเวลาที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์คงที่เท่ากับ 2.5 ชั่วโมง, 20, 25 และ 30 นาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการกวนแยกเพียงอย่างเดียวที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาทีโดยไม่เติมกรด พบว่า การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที การแยกชั้นระหว่างกลีเซอรินและเอสเทอร์ใช้เวลาในการแยกชั้นน้อยกว่า สาเหตุที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากการเติมกรดเป็นการขจัดตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทค่าออกจากกลีเซอรินกับ (Gerpen, Shanks, Pruszkod, Clements and Knothe, 2004: 70) ทำให้สารที่ปนเปื้อนในชั้นเอสเทอร์ลดน้อยลง ทำให้การแยกเกิดขึ้นได้รวดเร็วขึ้น

ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดที่แยกออกมาที่สามารถวัดได้จากการตั้งทิ้งไว้ การกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 21.67, 25.67, 26.67 และ 25.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการ

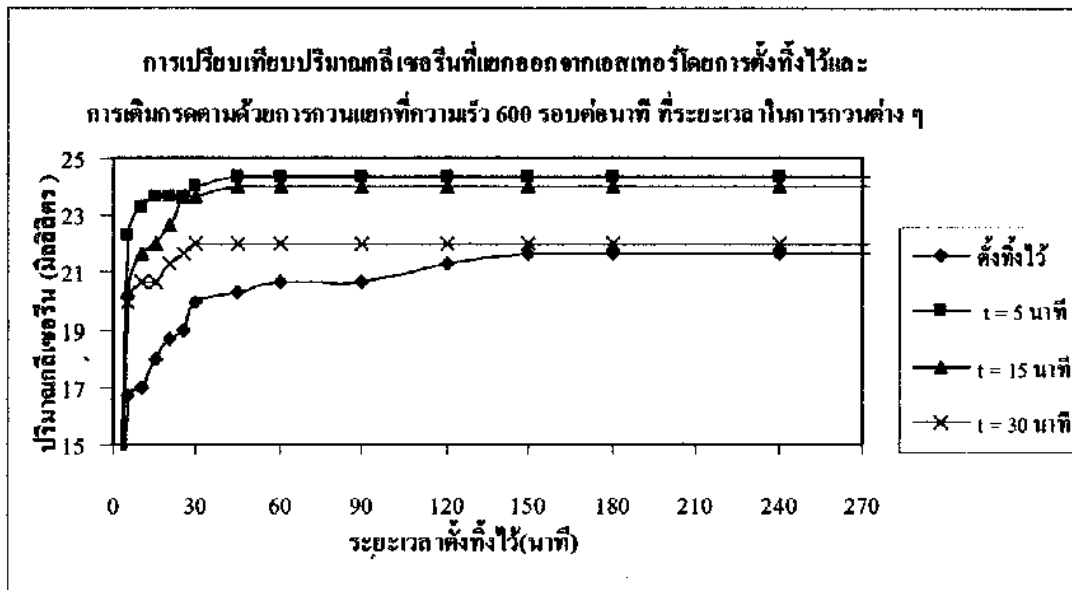
ทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกมาจากเอสเทอร์โดยการเติมกรดทั้ง 3 ระยะเวลา มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินที่ได้จากการตั้งทิ้งไว้ แต่ปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่ใช้เวลา 5 และ 30 นาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่ใช้เวลา 15 นาที เช่นเดียวกับเวลาในการกวนที่ 30 นาที ที่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่ใช้เวลา 15 นาที แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่ใช้เวลา 5 นาทีโดยไม่เติมกรด ซึ่งการทดลองนี้ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาทีโดยไม่เติมกรด เนื่องจากการกวนที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที นอกจากจะส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟูริกกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ยังช่วยทำให้ปริมาณกลีเซอรินแยกออกมาจากเอสเทอร์ได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากเป็นความเร็วรอบที่ต่ำกว่าความเร็วรอบที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (Gerpen, Shanks, Pruszkod, Clements and Knothe, 2004: 67) แต่การกวนที่ใช้ 30 นาทีปริมาณกลีเซอรินลดลง ผู้วิจัยสันนิษฐานว่าระยะเวลาการกวนที่นานเกินไปทำให้เมทานอลที่อยู่ในของผสมระเหยออกไปสู่บรรยากาศปริมาณกลีเซอรินที่ได้จึงมีค่าลดลง

4.3.3 การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที

ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการกวน 5, 15 และ 30 นาที แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ต่างๆ

เวลา	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์ (มิลลิลิตร)		
	ที่ระยะเวลาการกวน		
	5 นาที	15 นาที	30 นาที
5 นาที	22.33	20.33	20.00
10 นาที	23.33	21.67	20.67
15 นาที	23.67	22.00	20.67
20 นาที	23.67	22.67	21.33
25 นาที	23.67	23.67	21.67
30 นาที	24.00	23.67	22.00
45 นาที	24.33	24.00	22.00
1 ชั่วโมง	24.33	24.00	22.00
1.5 ชั่วโมง	24.33	24.00	22.00
2 ชั่วโมง	24.33	24.00	22.00
2.5 ชั่วโมง	24.33	24.00	22.00
3 ชั่วโมง	24.33	24.00	22.00
4 ชั่วโมง	24.33	24.00	22.00
24 ชั่วโมง	24.33	24.00	22.00



ภาพที่ 4.13 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยเติมกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.8 พบว่า อัตราเร็วในการแยกกลีเซอรินช่วง 5 นาทีแรกเฉลี่ยของการกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 4.46, 4.06 และ 4.00 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ อัตราการแยกกลีเซอรินของระยะเวลาการกวน 5 นาที มีค่ามากกว่าการตั้งทิ้งไว้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.33 มิลลิลิตรต่อนาที และการกวนที่ 15 และ 30 นาที ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดว่า แม้ว่าการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็วรอบสูงจะเป็นการช่วยให้เกิดการขจัดตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่างได้ดี แต่การกวนระยะเวลานานเกินไป คือที่ 15 และ 30 นาที จะทำให้เมทานอลในของผสมระเหยออกไป ทำให้อัตราการแยกกลีเซอรินลดลง

จากการศึกษาปริมาณกลีเซอรินเริ่มต้นที่แยกออกจากเอสเทอร์ที่เวลาตั้งทิ้งไว้ 5 นาที โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที มีปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย เท่ากับ 22.33, 20.33 และ 20.00 มิลลิลิตรตามลำดับ ซึ่งจากการทดสอบทางสถิติพบว่า ปริมาณกลีเซอรินของการกวนด้วยความเร็ว 600 รอบต่อนาที ทั้ง 3 ระยะเวลา นั่นคือ ที่เวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินของตั้งทิ้งไว้

และเมื่อพิจารณาเส้นการแยกชั้นของกลีเซอรินจากภาพที่ 4.13 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที จะเห็นว่าลักษณะปริมาณกลีเซอรินที่แยกชั้นออกจากเอสเทอร์โดยการกวนที่ระยะเวลา 5 นาที ให้ปริมาณกลีเซอรินที่แยกสูงสุด และปริมาณกลีเซอรินจะลดลง เมื่อเพิ่มระยะเวลาการกวนเป็น 15 และ 30 นาที ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การกวนด้วยความเร็วสูงที่ระดับ 600 รอบต่อนาที เป็นการทำให้ปริมาณกลีเซอรินเกิดการแตกตัวเป็นอนุภาคเล็กปะปนอยู่ในชั้นเมทิล เอสเทอร์ การแยกชั้นจึงทำได้ยากมากขึ้น

เมื่อพิจารณาปริมาณกลีเซอรินที่เริ่มคงที่โดยที่ระยะเวลาในการกวนแยกส่งผลให้เวลาที่ปริมาณกลีเซอรินจะแยกตัวออกจากเอสเทอร์คงที่แตกต่างกัน นั่นคือ การตั้งทิ้งไว้ การกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที ระยะเวลาที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์คงที่เท่ากับ 2.5 ชั่วโมง, 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการกวนแยกเพียงอย่างเดียวที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที พบว่า การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที การแยกชั้นระหว่างกลีเซอรินและเอสเทอร์ใช้เวลาในการแยกชั้นน้อยกว่า สาเหตุที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากการเติมกรด เป็นการขจัดตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทค่างและสบู่ที่เกิดขึ้นออกจากเอสเทอร์ ทำให้สารที่ปนเปื้อนในชั้นกลีเซอรินลดน้อยลง ทำให้การแยกเกิดขึ้นได้รวดเร็วขึ้น (Gerpen, Shanks, Pruszkod, Clements and Knothe, 2004: 70) ถึงแม้การกวนด้วยความเร็ว 600 รอบต่อนาที จะทำให้กลีเซอรินเกิดการแตกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ (Kac, 2007) แต่การเติมกรดเป็นการช่วยให้ปริมาณกลีเซอรินคงที่ได้รวดเร็วขึ้น

ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดที่แยกออกมาที่สามารถวัดได้จากการตั้งทิ้งไว้ การกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 21.67, 24.33, 24.00 และ 22.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกมาจากเอสเทอร์โดยการเติมกรดทั้ง 3 ระยะเวลา มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินที่ได้จากการตั้งทิ้งไว้ แต่ปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่เวลา 5 และ 15 นาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่เวลา 30 นาที เช่นเดียวกับเวลาในการกวนที่ 15 นาที ที่มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่ 30 นาที แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่เวลา 5 นาที เนื่องจากการเติมกรดเป็นการช่วยกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทค่างจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน และสบู่ที่เกิดขึ้น (Gerpen, Shanks, Pruszkod, Clements and Knothe, 2004: 70) ทำให้ปริมาณกลีเซอรินที่วัดได้จากการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกมีค่าสูงกว่าการกวนแยกเพียงอย่างเดียว แต่สาเหตุที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาการกวน

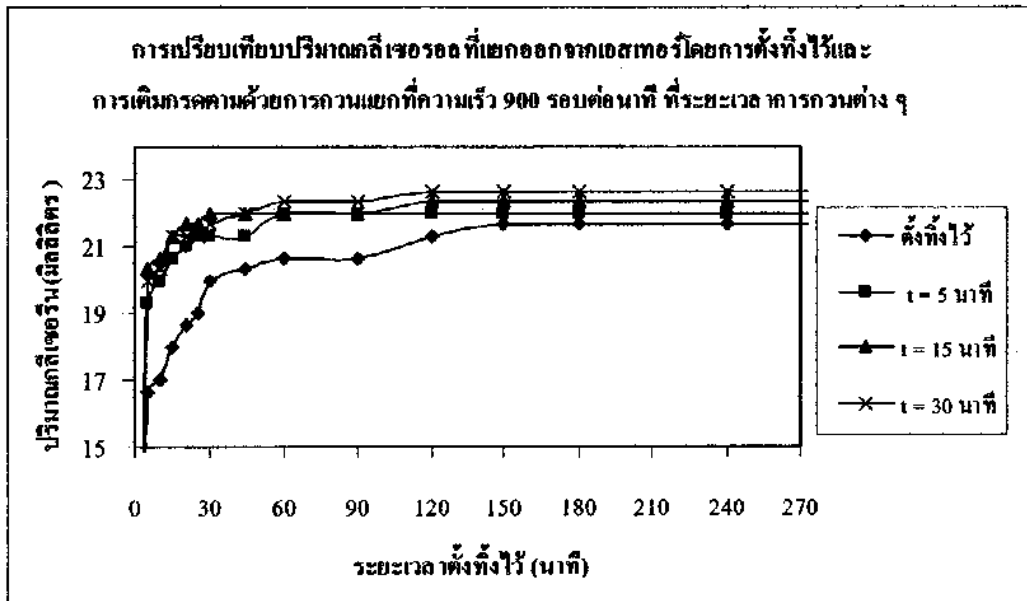
เนื่องจากการกวนที่ระยะเวลานานขึ้นจะทำให้มีทานอลที่อยู่ภายในของผลสมระเหยออกไป ทำให้ปริมาณกลีเซอรินที่วัดได้มีค่าลดลง

4.3.4 การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที

ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการกวน 5, 15 และ 30 นาที แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ต่าง ๆ

เวลา	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์ (มิลลิลิตร) ที่ระยะเวลาการกวน		
	5 นาที	15 นาที	30 นาที
5 นาที	19.33	20.33	20.00
10 นาที	20.00	20.67	20.33
15 นาที	20.67	21.33	21.33
20 นาที	21.00	21.67	21.33
25 นาที	21.33	21.67	21.33
30 นาที	21.33	22.00	21.67
45 นาที	21.33	22.00	22.00
1 ชั่วโมง	22.00	22.00	22.33
1.5 ชั่วโมง	22.00	22.00	22.33
2 ชั่วโมง	22.00	22.33	22.67
2.5 ชั่วโมง	22.00	22.33	22.67
3 ชั่วโมง	22.00	22.33	22.67
4 ชั่วโมง	22.00	22.33	22.67
24 ชั่วโมง	22.00	22.33	22.67



ภาพที่ 4.14 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยเติมกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที โดยตั้งทิ้งไว้ที่ระยะเวลาต่างๆ

จากตารางที่ 4.9 อัตราเร็วในการแยกกลีเซอรินช่วง 5 นาทีแรกเฉลี่ยของการกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 3.87, 4.07 และ 4.00 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ อัตราการแยกกลีเซอรินของทั้ง 3 ระยะเวลาการกวนมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเทียบกับอัตราการแยกกลีเซอรินช่วง 5 นาทีแรก ของการกวนด้วยความเร็วอื่นๆ พบว่า การกวนที่ 900 รอบต่อนาที มีอัตราการแยกน้อยกว่า ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดว่า การกวนที่ความเร็วรอบสูง ความแรงของการกวนจะทำให้เมฆไขมันของผสมระเหย และความเร็วของการกวนทำให้กลีเซอรินเกิดการแตกกระจายเป็นโมเลกุลเล็กๆ ในชั้นของเอสเทอร์ ทำให้ปริมาณกลีเซอรินที่วัดได้จึงมีปริมาณลดลง

จากการศึกษาปริมาณกลีเซอรินเริ่มต้นที่แยกออกจากเอสเทอร์ที่เวลาตั้งทิ้งไว้ 5 นาที โดยการเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที มีปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย เท่ากับ 19.33, 20.33 และ 20.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากการทดสอบทางสถิติพบว่า ปริมาณกลีเซอรินของการกวนด้วยความเร็ว 900 รอบต่อนาทีทั้ง 3 ระยะเวลาการกวนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินที่ตั้งทิ้งไว้ แต่ปริมาณกลีเซอรินทั้ง 3 ระยะเวลาการกวนแยก นั่นคือ ที่เวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

และเมื่อพิจารณาเส้นการแยกชั้นของกลีเซอรินจากภาพที่ 4.14 ลักษณะการแยกตัวของกลีเซอรินโดยการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที มีปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกมาใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันตลอดระยะเวลาการศึกษา โดยปริมาณกลีเซอรินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก และจะเพิ่มขึ้นอย่างเล็กน้อยจนคงที่ในเวลาต่อมา

เมื่อพิจารณาปริมาณกลีเซอรินที่เริ่มคงที่โดยที่ระยะเวลาในการกวนแยกส่งผลให้เวลาที่ปริมาณกลีเซอรินจะแยกตัวออกจากเอสเทอร์คงที่แตกต่างกัน นั่นคือ การดั่งทิ้งไว้ การกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที ระยะเวลาที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์คงที่เท่ากับ 2.5, 1, 2 และ 2 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการกวนแยกเพียงอย่างเดียวที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที พบว่า การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 900 รอบต่อนาที การแยกชั้นระหว่างกลีเซอรินและเอสเทอร์ใช้เวลาน้อยกว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลการกวนที่ความเร็วอื่นๆ พบว่าการกวนที่ความเร็วนี้ทำให้ปริมาณกลีเซอรินคงที่ช้ากว่าการกวนความเร็วอื่นๆ สาเหตุที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากการกวนที่ความเร็วรอบมากกว่า 500 รอบต่อนาที ส่งผลให้กลีเซอรินแตกออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ กระจายอยู่ในเมทิลเอสเทอร์ ทำให้การแยกเกิดขึ้นได้ยากขึ้น (Kac, 2007)

ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดที่แยกออกมาที่สามารถวัดได้จากการดั่งทิ้งไว้ การกวนที่ระยะเวลา 5, 15 และ 30 นาที มีค่าเท่ากับ 21.67, 22.00, 22.33 และ 22.67 มิลลิกรัม ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกมาจากเอสเทอร์โดยการเติมกรดทั้ง 3 ระยะเวลา มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินที่ได้จากการดั่งทิ้งไว้ แต่ปริมาณกลีเซอรินจากการกวนทั้ง 3 ระยะเวลา มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากการเติมกรดเป็นการช่วยกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยา และสบู่ที่เกิดขึ้นออกจากกลีเซอริน การแยกกลีเซอรินจึงเกิดขึ้นได้ดี (Gerpen, Shanks, Pruszkod, Clements and Knothe, 2004: 70) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณกลีเซอรินที่เกิดขึ้น เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาได้ถูกกำจัดออกไปแล้ว ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันจึงไม่สามารถเกิดต่อเนื่องไปได้ ปริมาณกลีเซอรินทั้ง 3 ระยะเวลาการกวนจึงไม่แตกต่างกัน

4.4 อิทธิพลของความเร็วรอบในการกวนแยกที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน

ผลการศึกษาปริมาณกลีเซอรินและประสิทธิภาพในการแยกกลีเซอรินที่ความเร็วรอบของการกวนแยกที่แตกต่างกัน คือ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที แสดงดังตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.15

ตารางที่ 4.10 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที

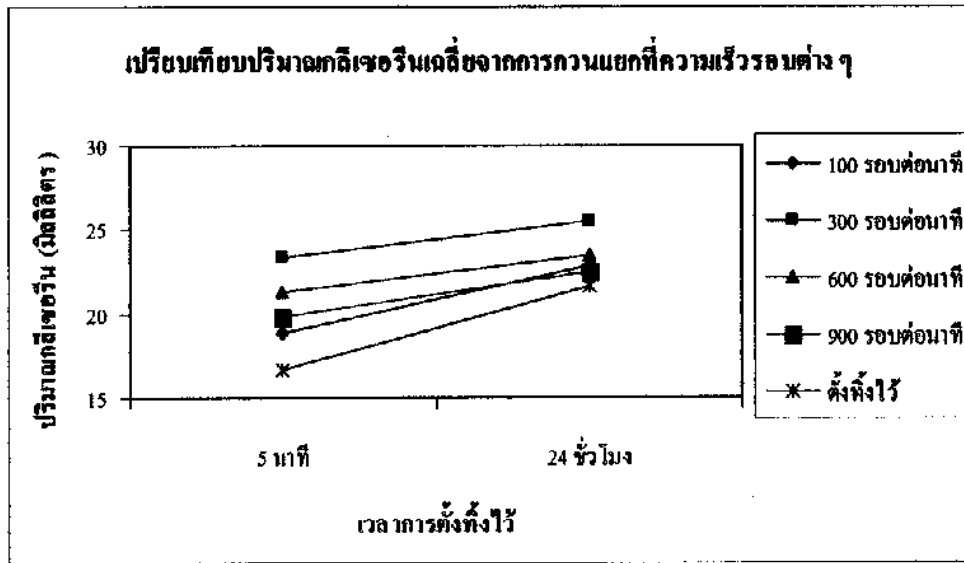
เวลาที่ทำการศึกษา	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)			
	ความเร็วรอบการกวนแยก (รอบต่อนาที)			
	100	300	600	900
ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที	19.89 ^b	23.38 ^a	21.33 ^b	19.89 ^b
ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง	22.89 ^b	25.50 ^a	23.44 ^b	22.56 ^b
ประสิทธิภาพการแยก (ร้อยละ)	85.82	95.61	87.89	84.60

หมายเหตุ: ^{ab} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยของการตั้งทิ้งไว้ ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 16.67 และ 21.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอริน โดยการตั้งทิ้งไว้มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 81.25

ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินสูงสุด ที่การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 15 นาที มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 100 (ปริมาณกลีเซอรินเท่ากับ 26.67 มิลลิลิตร)



ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

จากการพิจารณาปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง โดยการกวนแยกที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน คือ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ซึ่งปริมาณกลีเซอรินจากทุกความเร็ว มีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณกลีเซอรินที่ตั้งทิ้งไว้โดยไม่ทำการกวน โดยการกวนที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที มีปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์สูงที่สุด ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 23.38 และ 25.50 มิลลิลิตร ตามลำดับ และการตั้งทิ้งไว้โดยไม่ทำการกวนแยก (กลุ่มควบคุม) มีปริมาณกลีเซอรินน้อยที่สุด ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 16.67 และ 21.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ให้ปริมาณกลีเซอรินสูงสุด และมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินที่ความเร็วรอบอื่น ๆ ซึ่งสามารถดูแนวโน้มปริมาณกลีเซอรินได้จากภาพที่ 4.15

เมื่อทำการทดสอบอิทธิพลของความเร็วรอบในการกวนแยกที่มีต่อปริมาณกลีเซอรินในทางสถิติ พบว่า ความเร็วในการกวนมีอิทธิพลส่งผลกระทบต่อค่าปริมาณกลีเซอรินทั้งการตั้งทิ้งไว้ที่เวลา 5 นาที และ 24 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการทดลองจะเห็นว่าที่การกวนความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ปริมาณกลีเซอรินมีค่าเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มความเร็วยรอบ คือ จากการตั้งทิ้งไว้ จนถึง การกวนที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที และลดลงเมื่อเพิ่ม

ความเร็วเป็น 600 และ 900 รอบต่อนาที ดังภาพที่ 4.15 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเร็วรอบมีผลต่อการผสมเข้ากันของสารตั้งต้นที่ยังไม่ทำปฏิกิริยา ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Barmwal and Sharma (2005: 372), Alcantara, Amores, Canoira, Fidalgo, Franco and Navarro (2000: 522) และ Meher, Dharmagadda and Naik (2005: 1395) ที่กล่าวว่า ความเร็วรอบมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ที่เคชัน การกวนที่ความเร็วต่างๆ มีส่วนช่วยทำให้กลีเซอรินรวมตัว หรือแตกกระจายเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ เพราะความแรงของการกวน และการกวนที่ความเร็วสูงจะทำให้เมทานอลที่อยู่ภายในของผสมมีโอกาสระเหยออกได้ง่าย

4.5 อิทธิพลของระยะเวลาในการกวนแยกที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน

ผลการศึกษาปริมาณกลีเซอรินและประสิทธิภาพในการแยกกลีเซอรินที่ระยะเวลาในการกวนแยกที่แตกต่างกัน คือ 5, 15 และ 30 นาที แสดงดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.16

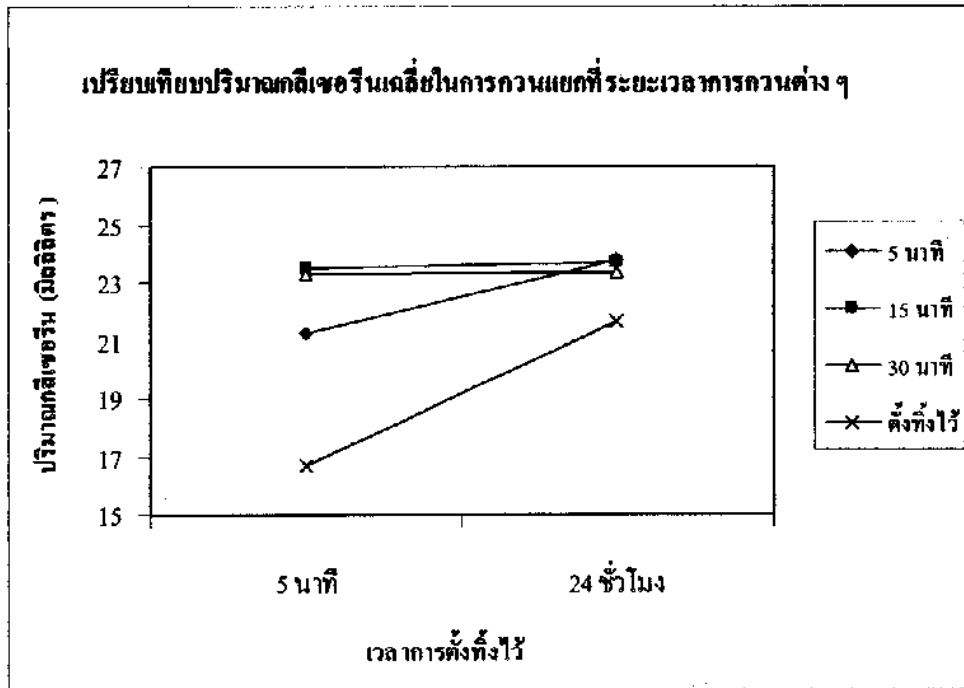
ตารางที่ 4.11 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่ระยะเวลาในการกวนแยก 5, 15 และ 30 นาที

เวลาที่ทำการศึกษา	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)		
	ระยะเวลาการกวนแยก (นาที)		
	5	15	30
ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที	21.25	23.50	23.21
ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง	23.75	23.67	23.38
ประสิทธิภาพการแยก (ร้อยละ)	89.05	88.75	87.66

หมายเหตุ: ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยของการตั้งทิ้งไว้ ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 16.67 และ 21.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอริน โดยการตั้งทิ้งไว้มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 81.25

ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินสูงสุด ที่การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 15 นาที มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 100 (ปริมาณกลีเซอรินเท่ากับ 26.67 มิลลิลิตร)



ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์ โดยการใช้ระยะเวลาการกวนแยกต่าง ๆ

จากการพิจารณาปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง โดยใช้ระยะเวลาในการกวนแตกต่างกัน คือ 5, 15 และ 30 รอบต่อนาที ซึ่งปริมาณกลีเซอรินจากการใช้ระยะเวลาในการกวนต่าง ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณกลีเซอรินที่ตั้งทิ้งไว้โดยไม่ทำการกวน โดยการกวนที่ใช้ระยะเวลา 15 นาที มีปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์สูงที่สุด ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 23.50 และ 23.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ และการตั้งทิ้งไว้โดยไม่ทำการกวนแยก (กลุ่มควบคุม) มีปริมาณกลีเซอรินน้อยที่สุด ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 16.67 และ 21.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่า ปริมาณกลีเซอรินที่ใช้ระยะเวลาในการกวน 15 นาที ให้ปริมาณกลีเซอรินสูงสุด แต่มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาการกวนอื่น ๆ ซึ่งสามารถดูแนวโน้มปริมาณกลีเซอรินได้จากภาพที่ 4.16

เมื่อทำการทดสอบอิทธิพลของระยะเวลาในการกวนแยกที่มีต่อปริมาณกลีเซอรินในทางสถิติ พบว่า ระยะเวลาในการกวนแยกไม่มีอิทธิพลต่อค่าปริมาณกลีเซอรินทั้งการตั้งทิ้งไว้ที่เวลา 5 นาที และ 24 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าที่ระยะเวลา

การกวน 15 นาที แม้จะมีปริมาณกลีเซอรินสูงกว่า การใช้ระยะเวลาการกวน 5 และ 30 นาที แต่ ปริมาณกลีเซอรินที่แตกต่างมีค่าไม่มากนัก ทำให้จากการทดสอบทางสถิติ ระยะเวลาในการกวน ไม่มีผลต่อปริมาณกลีเซอริน

4.6 อิทธิพลของการเติมกรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน

ผลการศึกษาปริมาณกลีเซอรินและประสิทธิภาพในการแยกกลีเซอรินในการกวนแยกเพียง อย่างเดียว และการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก แสดงดังตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.17

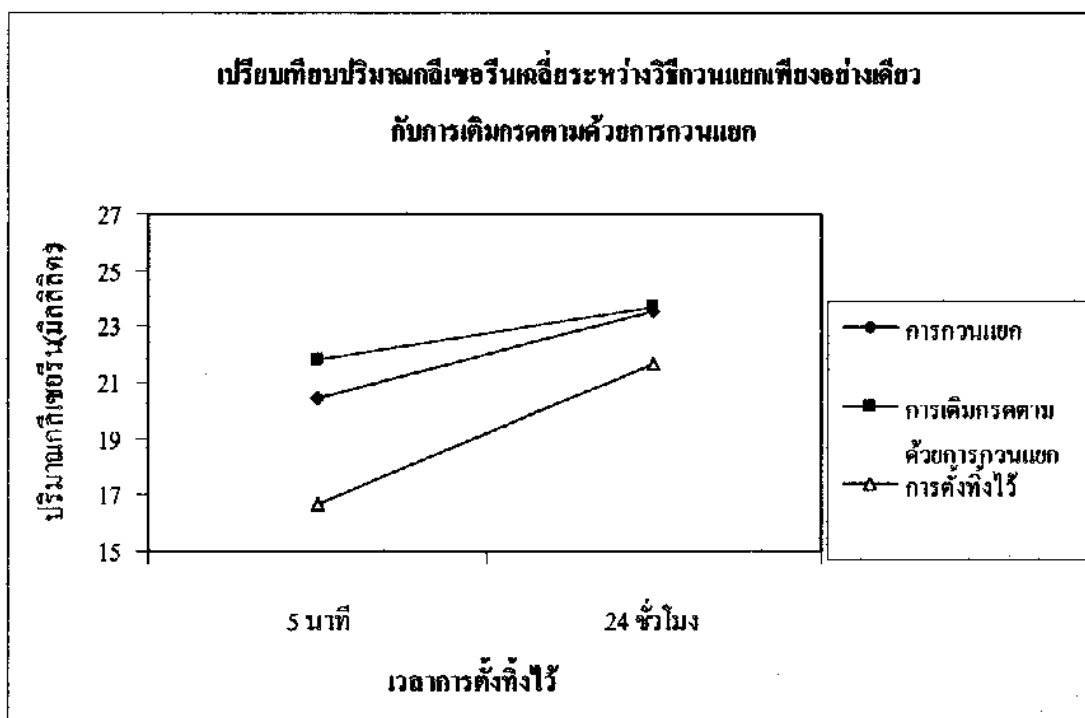
ตารางที่ 4.12 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยจากการกวนแยกเพียงอย่างเดียว และการเติมกรดตามด้วยการ กวนแยก

เวลาที่ทำการศึกษา	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)	
	วิธีการแยกกลีเซอริน	
	การกวนแยกเพียง อย่างเดียว	การเติมกรดตามด้วย การกวนแยก
ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที	20.42 ^b	21.83 ^a
ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง	23.50	23.69
ประสิทธิภาพการแยก (ร้อยละ)	88.11	88.83

หมายเหตุ: ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยของการตั้งทิ้งไว้ ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง มีค่า เท่ากับ 16.67 และ 21.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอริน โดยการตั้งทิ้งไว้มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 81.25

ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินสูงสุด ที่การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 15 นาที มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 100 (ปริมาณกลีเซอรินเท่ากับ 26.67 มิลลิลิตร)



ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยวิธีการกวนแยกกับการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก

จากการพิจารณาปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยใช้วิธีการกวนแยกเพียงอย่างเดียว และการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก ซึ่งปริมาณกลีเซอรินที่วัดได้จากทั้งสองวิธีนี้ ปริมาณกลีเซอรินมีค่าเพิ่มขึ้นจากปริมาณกลีเซอรินที่ตั้งทิ้งไว้โดยไม่ทำการกวน โดยวิธีเติมกรดตามด้วยการกวนแยก มีปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์สูงที่สุด ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 21.83 และ 23.69 มิลลิลิตร ตามลำดับ และการตั้งทิ้งไว้โดยไม่ทำการกวนแยก (กลุ่มควบคุม) มีปริมาณกลีเซอรินน้อยที่สุด ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 16.67 และ 21.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบทางสถิติ พบว่า ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที วิธีการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก ปริมาณกลีเซอรินแยกออกจากเอสเทอร์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปริมาณกลีเซอรินจากวิธีการกวนแยกเพียงอย่างเดียว ซึ่งปริมาณกลีเซอรินจากการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกมีค่าสูงกว่า แต่ปริมาณกลีเซอรินที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ทั้งวิธีการกวนแยกเพียงอย่างเดียว และวิธีการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก ทั้งสองวิธีมีค่าปริมาณกลีเซอริน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อทำการทดสอบอิทธิพลของการเติมกรดซัลฟูริก 98 % ที่มีต่อปริมาณกลีเซอรินในทางสถิติพบว่า การเติมกรดมีอิทธิพลส่งผลต่อค่าปริมาณกลีเซอรินทั้งการตั้งทิ้งไว้ที่เวลา 5 นาที แต่ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การเติมกรดเป็นการขจัดตัวเร่งปฏิกิริยา และสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ที่อยู่ภายในของผสมเอสเทอร์และกลีเซอริน (Gerpen, Shanks, Pruszkod, Clements and Knothc, 2004: 70) เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาหมดไป ทำให้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ ทำให้การแยกกลีเซอรินเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 5 นาที แต่ไม่มีผลกับปริมาณกลีเซอรินที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพราะปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันได้สิ้นสุดลงเมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริกเกิดเป็นเกลือขึ้น

4.7 อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบของการกวาดแยก ระยะเวลาการกวาด และการเติมกรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน

4.7.1 อิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบของการกวาดแยก และระยะเวลาการกวาดที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน

ผลการศึกษาปริมาณกลีเซอรินเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบของการกวาดแยก และระยะเวลาในการกวาดที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน แสดงดังตารางที่ 4.13, 4.14 และ 4.15

ตารางที่ 4.13 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวาดแยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ใช้ระยะเวลาการกวาด 5, 15 และ 30 นาที ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)		
	ระยะเวลาในการกวาด (นาที)		
	5	15	30
100	18.17 ^d	19.00 ^{c,d}	22.50 ^{a,b,c}
300	22.83 ^{a,b}	24.83 ^a	22.50 ^{a,b,c}
600	23.00 ^{a,b}	21.00 ^{b,c,d}	20.00 ^{b,c,d}
900	21.00 ^{b,c,d}	19.00 ^{c,d}	19.67 ^{b,c,d}

หมายเหตุ: ^{ab} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยของการตั้งทิ้งไว้ ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที มีค่าเท่ากับ 16.67 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4.14 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ใช้ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)		
	ระยะเวลาในการกวน (นาที)		
	5	15	30
100	22.50 ^b	22.00 ^b	22.00 ^{a,b}
300	25.17 ^{a,b}	26.50 ^a	24.83 ^{a,b}
600	24.67 ^{a,b}	23.67 ^{a,b}	20.00 ^b
900	22.67 ^b	22.50 ^b	22.50 ^b

หมายเหตุ: ^{ab} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

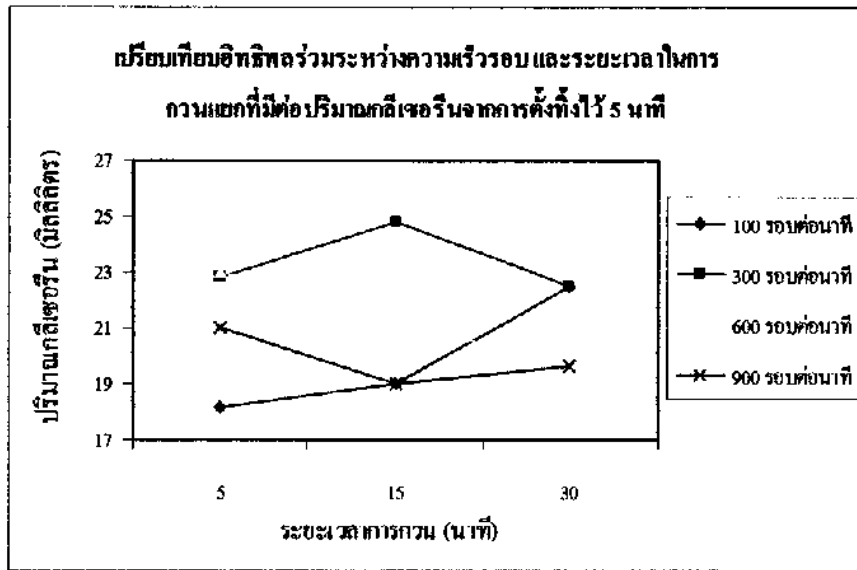
ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยของการตั้งทิ้งไว้ ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 21.67 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4.15 ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอริน โดยการกวนแยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ใช้ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที

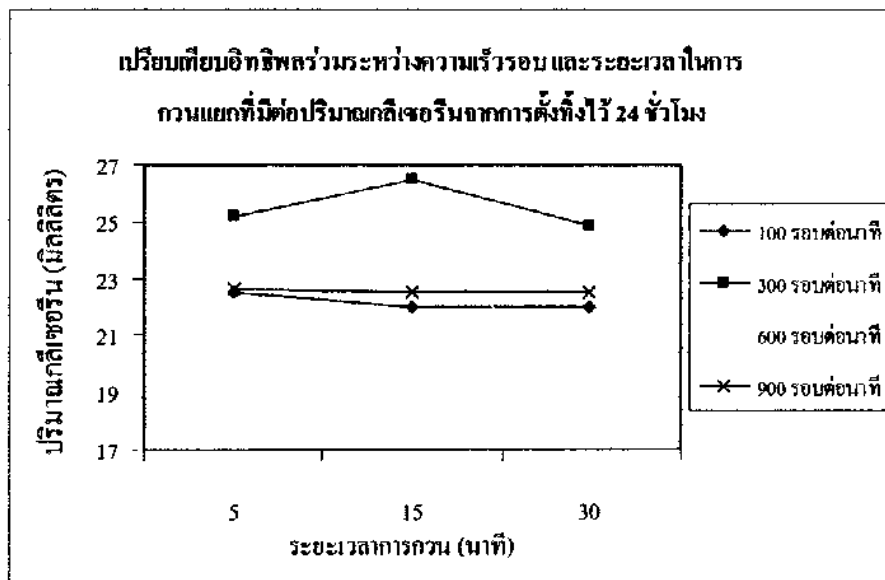
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)		
	ระยะเวลาในการกวน (นาที)		
	5	15	30
100	84.36	82.49	82.49
300	94.38	99.36	93.10
600	92.50	88.48	74.99
900	85.00	84.36	84.36

หมายเหตุ: ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอริน โดยการตั้งทิ้งไว้มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 81.25

ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินสูงสุด ที่การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 15 นาที มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 100 (ปริมาณกลีเซอรินเท่ากับ 26.67 มิลลิลิตร)



ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบ และระยะเวลาในการกวนแยกที่มีต่อปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาคั่งทิ้งไว้ 5 นาที



ภาพที่ 4.19 เปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบ และระยะเวลาในการกวนแยกที่มีต่อปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาคั่งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

จากการทดลอง พบว่า ปริมาณกลีเซอรินที่ความเร็วในการกววน 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที และที่ระยะเวลาในการกววน 5, 15 และ 30 นาที โดยทุกความเร็วรอบในการกววนทั้ง 3 ระยะ มีปริมาณกลีเซอรินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการตั้งทิ้งไว้ ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาในการกววน 15 นาที มีค่าปริมาณกลีเซอรินสูงสุด จากการตั้งทิ้งไว้ที่ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.83 และ 26.50 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการตั้งทิ้งไว้มีค่าปริมาณกลีเซอรินต่ำสุด คือ 16.67 และ 21.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ

เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบในการกววนกับระยะเวลาในการกววนในทางสถิติ พบว่า ความเร็วในการกววนกับระยะเวลาในการกววนมีอิทธิพลร่วมกันส่งผลต่อค่าปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาดังตั้งทิ้งไว้ 5 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งจากการวิเคราะห์ความเร็วรอบ และระยะเวลาการกววนแยก จะเห็นว่าความเร็วรอบเท่านั้นที่มีผลต่อปริมาณกลีเซอรินที่เวลาดังตั้งทิ้งไว้ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง แต่เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบ และระยะเวลาการกววนแยกพบว่าส่งผลต่อปริมาณกลีเซอรินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระยะเวลาการกววนที่สามารถแยกปริมาณกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ได้สูงสุดจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบที่ใช้ในการกววน เมื่อใช้ความเร็วรอบต่ำ จะใช้เวลาในการกววนนาน ปริมาณกลีเซอรินจึงเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบสูงขึ้น การใช้เวลาในการกววนมากขึ้นจะทำให้ปริมาณกลีเซอรินลดลง ซึ่งสาเหตุได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 4.2.3 ซึ่งเวลาการกววนที่เหมาะสมในการแยกปริมาณกลีเซอรินออกได้สูงสุดจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบที่ใช้ เช่น

การกววนที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที จะใช้เวลาการกววน 30 นาที

การกววนที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที จะใช้เวลาการกววน 15 นาที

การกววนที่ความเร็ว 600 และ 900 รอบต่อนาที จะใช้เวลาการกววน 5 นาที

4.7.2 อิทธิพลของร่วมระหว่างความเร็วรอบของการกววนแยก และการเติมกรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน

ผลการศึกษาปริมาณกลีเซอรินเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบของการกววนแยก และการเติมกรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน แสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเตอร์โดยเติมกรดตามด้วยการกววนแยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ของการกววนแยกเพียงอย่างเดียว และการเติมกรดตามด้วยการกววนแยก ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)	
	วิธีการแยกกลีเซอริน	
	การกววนแยกเพียงอย่างเดียว	การเติมกรดตามด้วยการกววนแยก
100	18.78 ^d	21.00 ^{b, c, d}
300	22.22 ^{a, b}	24.55 ^a
600	21.78 ^{b, c}	20.89 ^{b, c, d}
900	18.89 ^{c, d}	20.89 ^{b, c, d}

หมายเหตุ: ^{abcd} ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยโดยการตั้งทิ้งไว้มีค่าเท่ากับ 16.67 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4.17 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ของการกวนแยกเพียงอย่างเดียว และการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก ที่ระยะเวลาการคั่งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)	
	วิธีการแยกกลีเซอริน	
	การกวนแยกเพียงอย่างเดียว	การเติมกรดตามด้วยการกวนแยก
100	22.78 ^{b,c}	23.00 ^{b,c}
300	25.00 ^{a,b}	26.00 ^a
600	23.44 ^{b,c}	23.44 ^{b,c}
900	22.77 ^{b,c}	22.33 ^c

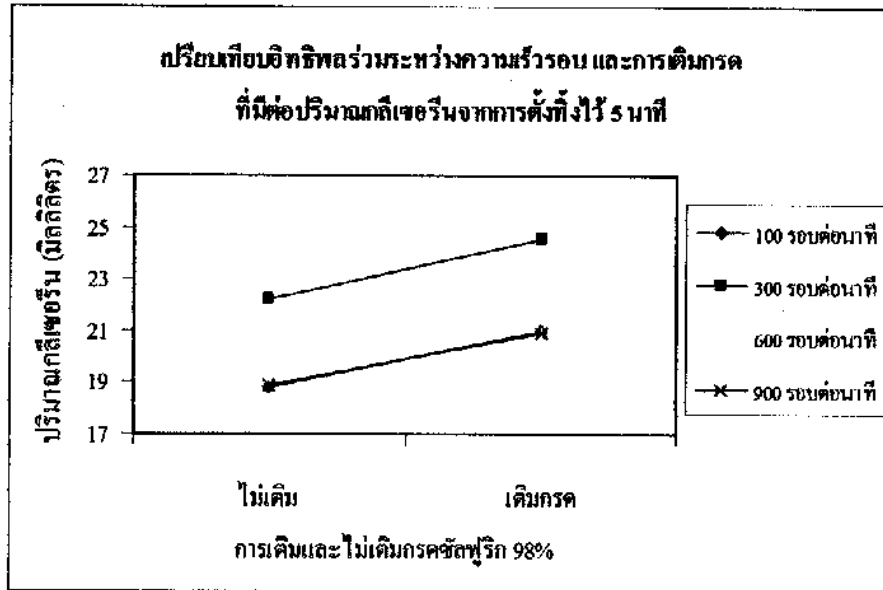
หมายเหตุ: ^{a,b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย โดยการคั่งทิ้งไว้มีค่าเท่ากับ 21.67 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4.18 ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอริน โดยการกวนแยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ของการกวนแยกเพียงอย่างเดียว และการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

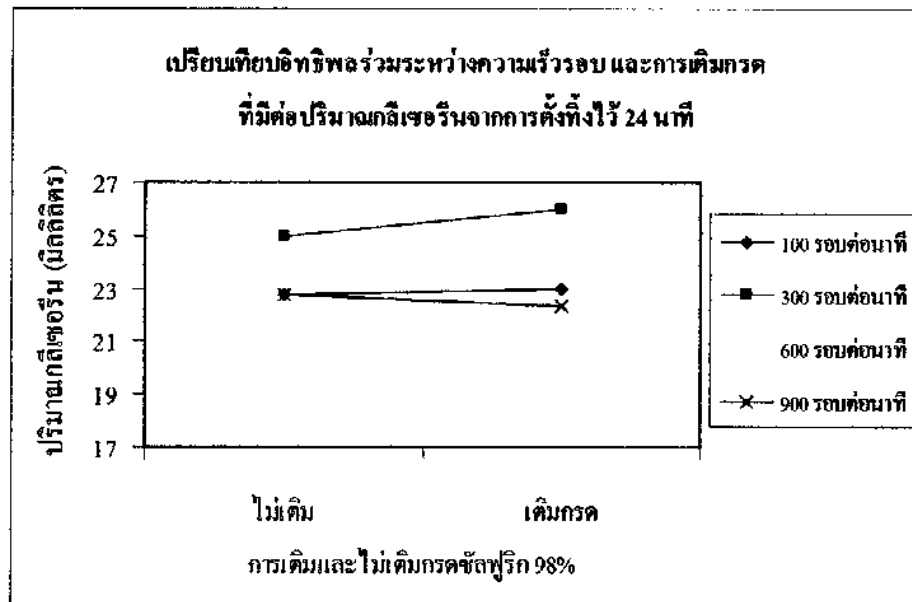
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอริน(ร้อยละ)	
	วิธีการแยกกลีเซอริน	
	การกวนแยก เพียงอย่างเดียว	การเติมกรดตามด้วย การกวนแยก
100	85.41	86.24
300	93.74	97.49
600	87.89	87.89
900	85.38	83.35

หมายเหตุ: ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอริน โดยการตั้งทิ้งไว้มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 81.25

ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินสูงสุด ที่การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 15 นาที มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 100 (ปริมาณกลีเซอรินเท่ากับ 26.67 มิลลิลิตร)



ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบ และการเติมกรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาตั้งทิ้งไว้ 5 นาที



ภาพที่ 4.21 เปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบ และการเติมกรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาดังตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

จากการทดลอง พบว่า ค่าปริมาณกลีเซอรินที่ความเร็วในการกววน 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที โดยวิธีการกววนเพียงอย่างเดียว และวิธีการเติมกรดตามด้วยการกววนแยก โดยทุกความเร็วรอบของทั้งสองวิธี มีปริมาณกลีเซอรินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการตั้งทิ้งไว้ วิธีการเติมกรดตามด้วยการกววนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที มีค่าปริมาณกลีเซอรินสูงสุด จากการตั้งทิ้งไว้ที่ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.55 และ 26.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการตั้งทิ้งไว้มีค่าปริมาณกลีเซอรินต่ำสุด คือ 16.67 และ 21.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ

เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบในการกววนกับการเติมกรดในการกววนในทางสถิติ พบว่า ความเร็วในการกววนกับการเติมกรดมีอิทธิพลร่วมกันส่งผลต่อค่าปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาตั้งทิ้งไว้ 5 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อค่าปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากความเร็วรอบในการกววนมีผลต่อการเข้าผสมของกรดภายในของผสมกลีเซอรินและเอสเทอร์ ซึ่งเป็นการขจัดสารปนเปื้อนออกจากเอสเทอร์ และความเร็วรอบในการกววนยังมีผลต่อการรวมตัว และแตกกระจายตัวเนื่องจากความเร็วของการกววน จากภาพที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าการกววนภายหลังการเติมกรดที่ระดับความเร็วรอบแตกต่างกัน ทำให้ปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาตั้งทิ้งไว้ 5 นาที มีค่าแตกต่างกันด้วย โดยการกววนที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที มีปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์ที่เวลาตั้งทิ้งไว้ 5 นาทีสูงสุด แต่ปริมาณกลีเซอรินที่เวลาตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ความเร็วรอบและการเติมกรดไม่มีผลต่อปริมาณกลีเซอริน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการเติมกรด เป็นการทำให้ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันสิ้นสุดลง เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาหมดไป ทำให้ปริมาณกลีเซอรินไม่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาอีก ปริมาณกลีเซอรินที่เกิดขึ้นจึงไม่แตกต่างกัน

4.7.3 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการกววนแยก และการเติมกรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน

ผลการศึกษาปริมาณกลีเซอรินเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการกววนแยก และการเติมกรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน แสดงดังตารางที่ 4.19, 4.20 และ 4.21

ตารางที่ 4.19 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยเติมกรดตามด้วยการกววนแยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ของการกววนแยกเพียงอย่างเดียว และการเติมกรดตามด้วยการกววนแยก ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที

ระยะเวลาการกววน (นาที)	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)	
	วิธีการแยกกลีเซอริน	
	การกววนแยก เพียงอย่างเดียว	การเติมกรดตามด้วย การกววนแยก
5	20.58	22.17
15	20.33	21.58
30	20.33	23.92

หมายเหตุ: ^{abcd} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยโดยการตั้งทิ้งไว้มีค่าเท่ากับ 16.67 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4.20 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ของการกวนแยกเพียงอย่างเดียว และการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)	
	วิธีการแยกกลีเซอริน	
	การกวนแยก เพียงอย่างเดียว	การเติมกรดตามด้วย การกวนแยก
5	23.92	23.58
15	23.58	23.75
30	23.00	23.75

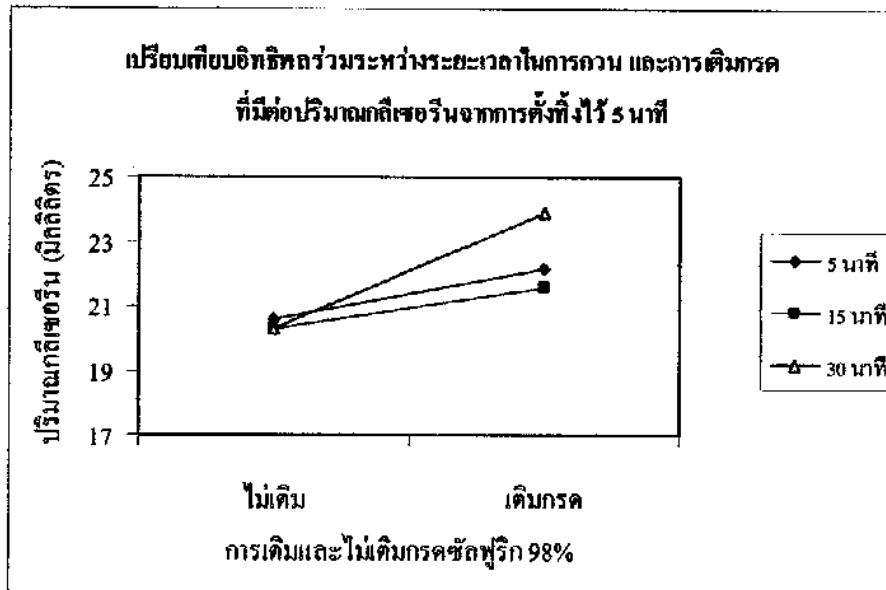
หมายเหตุ: ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยโดยการตั้งทิ้งไว้มีค่าเท่ากับ 21.67 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4.21 ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอริน โดยการกวนแยกที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที
ของการกวนแยกเพียงอย่างเดียว และการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก ที่ระยะเวลาการ
ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

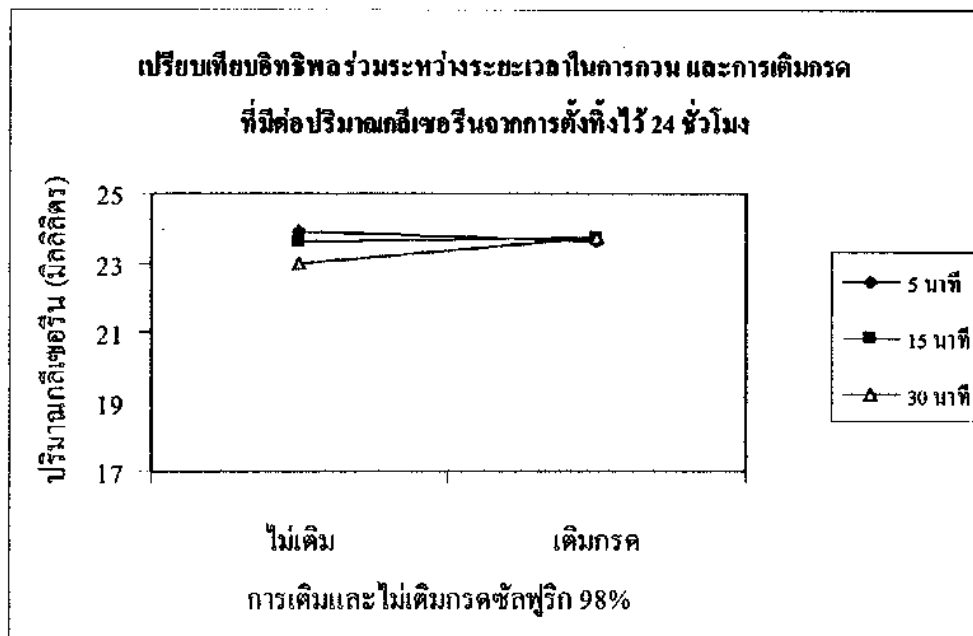
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)	
	วิธีการแยกกลีเซอริน	
	การกวนแยก เพียงอย่างเดียว	การเติมกรดตามด้วย การกวนแยก
5	89.67	88.41
15	88.41	89.05
30	86.24	89.05

หมายเหตุ: ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอริน โดยการตั้งทิ้งไว้มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 81.25

ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินสูงสุด ที่การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300
รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 15 นาที มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 100 (ปริมาณกลีเซอรินเท่ากับ 26.67
มิลลิลิตร)



ภาพที่ 4.22 เปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการกวนแยก และการเติมกรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาตั้งทิ้งไว้ 5 นาที



ภาพที่ 4.23 เปรียบเทียบอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการกวนแยก และการเติมกรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

จากการทดลอง พบว่า ค่าปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาในการกวน 5, 15 และ 30 นาที ทั้งวิธีการกวนเพียงอย่างเดียว และวิธีการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก โดยทุกระยะเวลาการกวนของทั้งสองวิธี มีปริมาณกลีเซอรินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการตั้งทิ้งไว้ วิธีการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ระยะเวลาการกวน 5 นาที มีค่าปริมาณกลีเซอรินสูงสุด จากการตั้งทิ้งไว้ที่ 5 นาที และที่ระยะเวลาการกวน 15 นาที มีค่าปริมาณกลีเซอรินสูงสุด จากการตั้งทิ้งไว้ที่ 24 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.55 และ 26.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการตั้งทิ้งไว้มีค่าปริมาณกลีเซอรินค่าสุด คือ 16.67 และ 21.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ

เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการกวน และการเติมกรด ในทางสถิติ พบว่าระยะเวลาในการกวนแยกกับการเติมกรดไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาดังตั้งไว้ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งจากการวิเคราะห์ที่ระยะเวลาในการกวนแยก และการเติมกรด จะเห็นว่าปริมาณกลีเซอรินจากการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที วิธีการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกจะมีปริมาณกลีเซอรินสูงกว่าการกวนแยกเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อทำการทดสอบทางสถิติแล้ว พบว่า ทุกระยะเวลาในการกวนแยก ของวิธีการกวนแยกเพียงอย่างเดียว และวิธีการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกมีค่าปริมาณกลีเซอรินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.7.4 อิทธิพลของร่วมระหว่างความเร็วรอบ ระยะเวลาในการกวนแยก และการเติมกรด ที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน

ผลการศึกษาปริมาณกลีเซอรินเมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบ และระยะเวลาในการกวนแยก และการเติมกรดที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน แสดงดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที ของการกวนแยกเพียงอย่างเดียว และการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)					
	ระยะเวลาในการกวน (นาที)					
	5		15		30	
	การเติมกรด		การเติมกรด		การเติมกรด	
	ไม่เติม	เติม	ไม่เติม	เติม	ไม่เติม	เติม
100	17.00 ^c	19.33 ^{b,c}	17.67 ^c	20.33 ^{a,b,c}	21.67 ^{a,b,c}	23.33 ^{a,b}
300	21.00 ^{a,b,c}	24.67 ^{a,b}	24.33 ^{a,b}	25.33 ^a	21.33 ^{a,b,c}	23.67 ^{a,b}
600	23.67 ^{a,b}	22.33 ^{a,b,c}	21.67 ^{a,b,c}	20.33 ^{a,b,c}	20.33 ^{a,b,c}	20.33 ^{a,b,c}
900	19.67 ^{b,c}	22.33 ^{a,b,c}	17.67 ^c	20.33 ^{a,b,c}	19.33 ^{b,c}	20.00 ^{a,b,c}

หมายเหตุ: ^{abcd} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยโดยการตั้งทิ้งไว้มีค่าเท่ากับ 16.67 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4.23 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที ของการกวนแยกเพียงอย่างเดีว และการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)					
	ระยะเวลาในการกวน (นาที)					
	5		15		30	
	การเติมกรด		การเติมกรด		การเติมกรด	
	ไม่เติม	เติม	ไม่เติม	เติม	ไม่เติม	เติม
100	22.67	22.33	22.00	22.00	23.67	24.67
300	24.67	25.67	26.33	26.67	24.00	25.67
600	25.00	24.33	23.33	24.00	22.00	22.00
900	23.33	22.00	22.67	22.33	22.33	22.67

หมายเหตุ: ^{ab} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยโดยการตั้งทิ้งไว้มีค่าเท่ากับ 21.67 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4.24 ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอริน โดยเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็วรอบ 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5, 15 และ 30 นาที ของการกวนแยกเพียงอย่างเดียว และการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)					
	ระยะเวลาในการกวน (นาที)					
	5		15		30	
	การเติมกรด		การเติมกรด		การเติมกรด	
	ไม่เติม	เติม	ไม่เติม	เติม	ไม่เติม	เติม
100	85.00	83.73	82.49	82.49	88.75	92.50
300	92.50	96.25	98.75	100.00	88.75	96.25
600	93.74	93.74	87.48	87.48	82.49	82.49
900	87.47	87.48	85.00	85.00	83.73	87.48

หมายเหตุ: ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอริน โดยการตั้งทิ้งไว้มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 81.25

ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินสูงสุด ที่การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 15 นาที มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 100 (ปริมาณกลีเซอรินเท่ากับ 26.67 มิลลิลิตร)

จากการทดลอง พบว่า ค่าปริมาณกลีเซอรินที่ความเร็วรอบในการกวน 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาในการกวน 5, 15 และ 30 นาที ทั้งวิธีการกวนเพียงอย่างเดียว และวิธีการเติมกรดตามด้วยการกวนแยก โดยทุกความเร็วรอบ และระยะเวลาการกวนของทั้งสองวิธี มีปริมาณกลีเซอรินเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการตั้งทิ้งไว้ วิธีการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 5 นาที มีค่าปริมาณกลีเซอรินสูงสุด จากการตั้งทิ้งไว้ที่ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 25.33 และ 26.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการตั้งทิ้งไว้มีค่าปริมาณกลีเซอรินต่ำสุด คือ 16.67 และ 21.67 มิลลิลิตร ตามลำดับ

เมื่อทดสอบอิทธิพลร่วมระหว่างความเร็วรอบ ระยะเวลาในการกวน และการเติมกรด ในทางสถิติ พบว่า ความเร็วรอบ ระยะเวลาในการกวนแยก และการเติมกรดไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่า

ปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาดังตั้งไว้ 5 นาที และ 24 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งจากการวิเคราะห์ความเร็วรอบ ระยะเวลาในการกวนแยก และการเติมกรด จะเห็นว่าปริมาณกลีเซอรินจากการตั้งทิ้งไว้ 5 นาที ปริมาณกลีเซอรินจะมีค่าแตกต่างกันตามความเร็วรอบ ระยะเวลาในการกวนแยก และวิธีการเติมกรด แต่ปริมาณกลีเซอรินจากการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ ระยะเวลากวนแยก และการเติมกรด ปริมาณกลีเซอรินไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เลข

4.8 อิทธิพลของปริมาณกรดซัลฟูริกที่มีต่อปริมาณกลีเซอริน

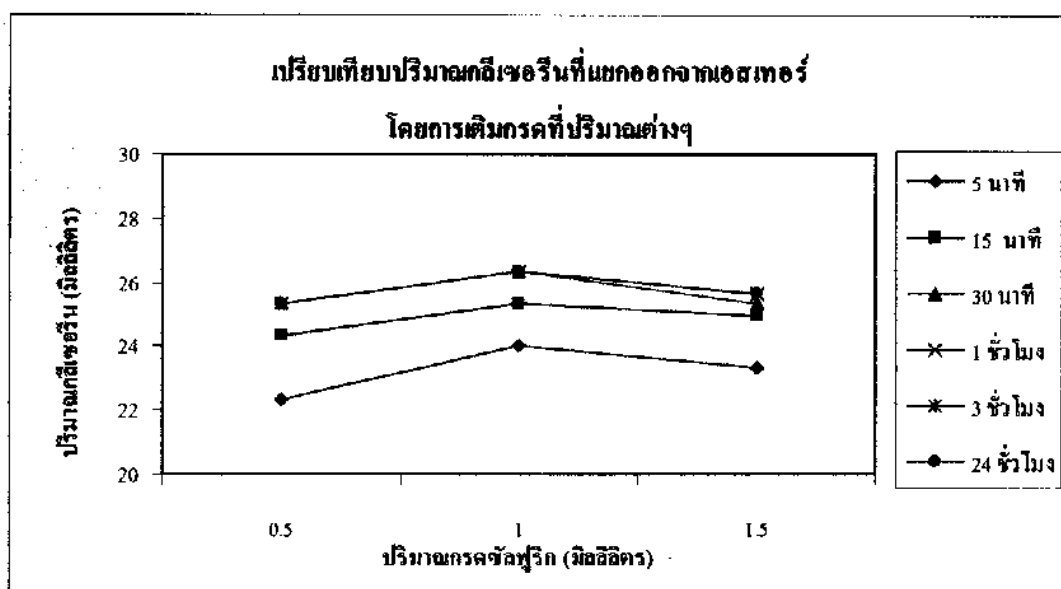
จากการศึกษาปริมาณกรดซัลฟูริกที่เหมาะสมในการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ การศึกษาครั้งนี้ทำการทดลองโดยใช้การเติมกรดปริมาณต่างๆ ได้แก่ 0.5, 1 และ 1.5 มิลลิลิตร แล้วทำการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 15 นาที ซึ่งเป็นการกวนที่สามารถแยกปริมาณกลีเซอรินออกได้สูงสุด ซึ่งผลการศึกษาปริมาณกลีเซอริน โดยการใช้ปริมาณกรดซัลฟูริกแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยการเติมกรดที่ปริมาณต่างๆ ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 15 นาที

ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร) ที่ระยะเวลา	ปริมาณกรดซัลฟูริก 98 % (มิลลิลิตร)		
	0.5	1.0	1.5
5 นาที	22.33	24.00	23.33
15 นาที	24.33	25.33	25.00
30 นาที	25.33	26.33	25.33
1 ชั่วโมง	25.33	26.33	25.67
3 ชั่วโมง	25.33	26.33	25.67
24 ชั่วโมง	25.33	26.33	25.67

จากการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณกรดซัลฟูริกที่เหมาะสมในการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยการใช้ปริมาณกรดซัลฟูริก 98% ต่างๆ ได้แก่ 0.5, 1 และ 1.5 มิลลิลิตร และทำการวัดปริมาณกลีเซอรินที่ระยะเวลาต่างๆ โดยระยะเวลาดังตั้งไว้ที่นำมาทดสอบทางสถิติได้แก่ การตั้งทิ้งไว้ที่ 5 นาที, 15 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ซึ่งสามารถแสดงภาพการแยกของกลีเซอรินจากการเติมกรดที่ปริมาณต่างๆ ได้ดังภาพที่ 4.34 จากการทดสอบทางสถิติพบว่า ที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ตลอดการศึกษา ปริมาณกลีเซอรินจากการเติมกรดซัลฟูริกที่ปริมาณแตกต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจากปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์โดยใช้ปริมาณกรดที่แตกต่างกันมีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่การเติมกรดปริมาณ

1 มิลลิลิตร มีค่าปริมาณกลีเซอรินสูงสุด ทั้งนี้เนื่องมาจาก การเติมกรดที่ปริมาณ 1.0 มิลลิลิตร สามารถทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทต่าง ได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้สามารถกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาและสบู่ได้หมด แต่การเติมกรดซัลฟูริกที่ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร อาจทำให้ค่ายังคงเหลืออยู่ในกลีเซอรินปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์จึงวัดได้ต่ำกว่าการเติมที่ 1.0 มิลลิลิตร ส่วนการเติมที่ปริมาณ 1.5 มิลลิลิตร ปริมาณกรดซัลฟูริกอาจจะมากเกินไปทำให้กรดยังคงเหลืออยู่ในกลีเซอริน ซึ่งกรดที่เหลือจะละลายอยู่ในชั้นกลีเซอรินทำให้กลายเป็นสารปนเปื้อนอยู่ภายในกลีเซอริน ปริมาณกลีเซอรินที่วัดได้จึงมีค่าลดลง



ภาพที่ 4.24 เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์ โดยการเติมกรดซัลฟูริก 98% ที่ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 1.5 มิลลิลิตร

4.9 การพิสูจน์สมมติฐาน

จากสมมติฐานการศึกษา (หัวข้อ 1.3 ในบทที่ 1) ดังต่อไปนี้

4.8.1 สมมติฐานที่ 1 การกวนแยกโดยใช้ความเร็วในการกวนที่แตกต่างกัน จะทำให้ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์ในระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแตกต่างกัน

4.8.2 สมมติฐานที่ 2 การกวนแยกที่ระยะเวลาในการกวนต่างกัน จะทำให้ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์ในระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแตกต่างกัน

4.8.3 สมมติฐานที่ 3 การเติม และไม่เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 98% จะทำให้ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์ในระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แตกต่างกัน

4.8.1 การพิสูจน์สมมติฐานที่ 1

จากผลการทดลองหาปริมาณกลีเซอริน โดยการใช้ความเร็วในการกวนที่แตกต่างกัน นำปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่ความเร็วต่างๆ มาเปรียบเทียบกัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยจากการกวนที่ความเร็วต่าง ๆ

ระยะเวลาที่ทำการศึกษา	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)			
	ความเร็วรอบการกวนแยก (รอบต่อนาที)			
	100	300	600	900
ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง	22.89 ^b	25.50 ^a	23.44 ^b	22.56 ^b

หมายเหตุ: ^{ab} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.26 เมื่อนำปริมาณกลีเซอรินของการกวนที่ความเร็วรอบแต่ละความเร็วมาเปรียบเทียบ และทำการทดสอบทางสถิติ จากการทดสอบทางสถิติพบว่า เมื่อทำการกวนที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน ทำให้ค่าปริมาณกลีเซอรินแตกต่างกัน การกวนที่ความเร็ว 300 รอบต่อ

นาที่ มีปริมาณกลีเซอรินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับการกวนที่ความเร็วรอบ 100, 600 และ 900 รอบต่อนาที

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐานที่ 1 เนื่องจากเมื่อทำการกวนที่ความเร็วแตกต่างกัน ให้ปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์มีค่าแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ ทำให้สมมติฐานเป็นจริง

4.8.2 การพิสูจน์สมมติฐานที่ 2

จากผลการทดลองหาปริมาณกลีเซอรินโดยใช้ระยะเวลาในการกวนที่แตกต่างกัน นำปริมาณกลีเซอรินจากการกวนที่ระยะเวลาต่างๆ มาเปรียบเทียบกัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.27 ตารางที่ 4.27 เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยจากการกวนที่ระยะเวลาการกวนต่าง ๆ

ระยะเวลาที่ทำการศึกษา	ปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ย (มิลลิลิตร)		
	ระยะเวลาการกวนแยก (นาที)		
	5	15	30
ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง	23.75	23.67	23.38

จากตารางที่ 4.27 เมื่อนำปริมาณกลีเซอรินของการกวนที่ระยะเวลาแตกต่างกันมาเปรียบเทียบ และทำการทดสอบทางสถิติ จากการทดสอบทางสถิติ พบว่า เมื่อทำการกวนที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดมีไม่ค่าแตกต่างกัน

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ปฏิเสธสมมติฐานที่ 2 เนื่องจากระยะเวลาการกวนที่แตกต่างกัน มีค่าปริมาณกลีเซอรินไม่แตกต่างกัน

4.8.3 การพิสูจน์สมมติฐานที่ 3

จากผลการทดลองหาปริมาณกลีเซอรินโดยการไม่เติมและเติมกรดซัลฟูริก จากการเฉลี่ยทุกระยะเวลาการกวนต่าง ที่ความเร็วรอบต่างกัน นำปริมาณกลีเซอรินจากการไม่เติมและเติมกรดมาเปรียบเทียบกัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 เปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินเฉลี่ยจากการไม่เติมและเติมกรด

ความเร็ว (รอบต่อนาที)	ปริมาณกลีเซอริน (มิลลิลิตร)	
	ไม่เติมกรด	เติมกรด
100	20.97	22.64
300	24.23	25.71
600	22.98	22.98
900	21.71	21.72
เฉลี่ย	22.47	23.26

จากตารางที่ 5.3 เมื่อนำปริมาณกลีเซอรินของการไม่เติมและเติมกรดซัลฟูริก โดยกวนที่ความเร็วต่างๆ และเปรียบเทียบปริมาณกลีเซอรินของการเติมกรดและไม่เติมกรด จากการทดสอบทางสถิติพบว่า การไม่เติมและเติมกรดซัลฟูริก ไม่มีผลทำให้ปริมาณกลีเซอรินมีค่าแตกต่างกัน

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ปฏิเสธสมมติฐานที่ 3 เนื่องจากการเติมและไม่เติมกรด ไม่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินมีค่าแตกต่างกัน

จากการทดสอบสมมติฐาน ทั้ง 3 สมมติฐาน ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดมีค่าแตกต่างกัน คือ ความเร็วรอบ ส่วนระยะเวลาในการกวนแยก และเติมกรดนั้น ไม่มีผลต่อปริมาณกลีเซอริน ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ปริมาณกลีเซอรินที่วัดได้ มีค่าสูงสุด เมื่อทำการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการกวน 15 นาที

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยการกวนแยก มีผลการวิจัยสรุปตามวัตถุประสงค์การทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ความเป็นไปได้ในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินให้เร็วยิ่งขึ้นโดยใช้วิธีการกวนแยก พบว่า การใช้วิธีการกวนแยก สามารถช่วยให้การแยกชั้นระหว่างกลีเซอรินและเอสเทอร์เกิดขึ้นได้รวดเร็วมากขึ้นกว่าการตั้งทิ้งไว้ โดยสามารถเพิ่มอัตราการแยกกลีเซอรินในช่วง 5 นาทีแรกได้เท่ากับ ร้อยละ 45.63 และสามารถเพิ่มปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกจากเอสเทอร์ได้สูงสุดถึง ร้อยละ 24.03

5.1.2 สภาพที่เหมาะสมในการกวนแยกเอสเทอร์และกลีเซอริน พบว่า สภาพที่เหมาะสมจากการพิจารณาปริมาณกลีเซอรินที่แยกออกได้สูงสุด คือ การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที ที่ระยะเวลาการกวน 15 นาที

5.1.3 ประสิทธิภาพการแยกชั้นเอสเทอร์และกลีเซอรินจากการกวนแยกที่ความเร็ว และเวลาในการกวนแยกต่าง ๆ และการเติมกรดกับไม่เติมกรด พบว่า

5.1.3.1 การตั้งทิ้งไว้ จากการทดลอง พบว่า ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดที่แยกออกจากเอสเทอร์มีค่าเท่ากับ 21.67 มิลลิลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการแยกได้เท่ากับ 81.25

5.1.3.2 ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยการกวนแยกที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที

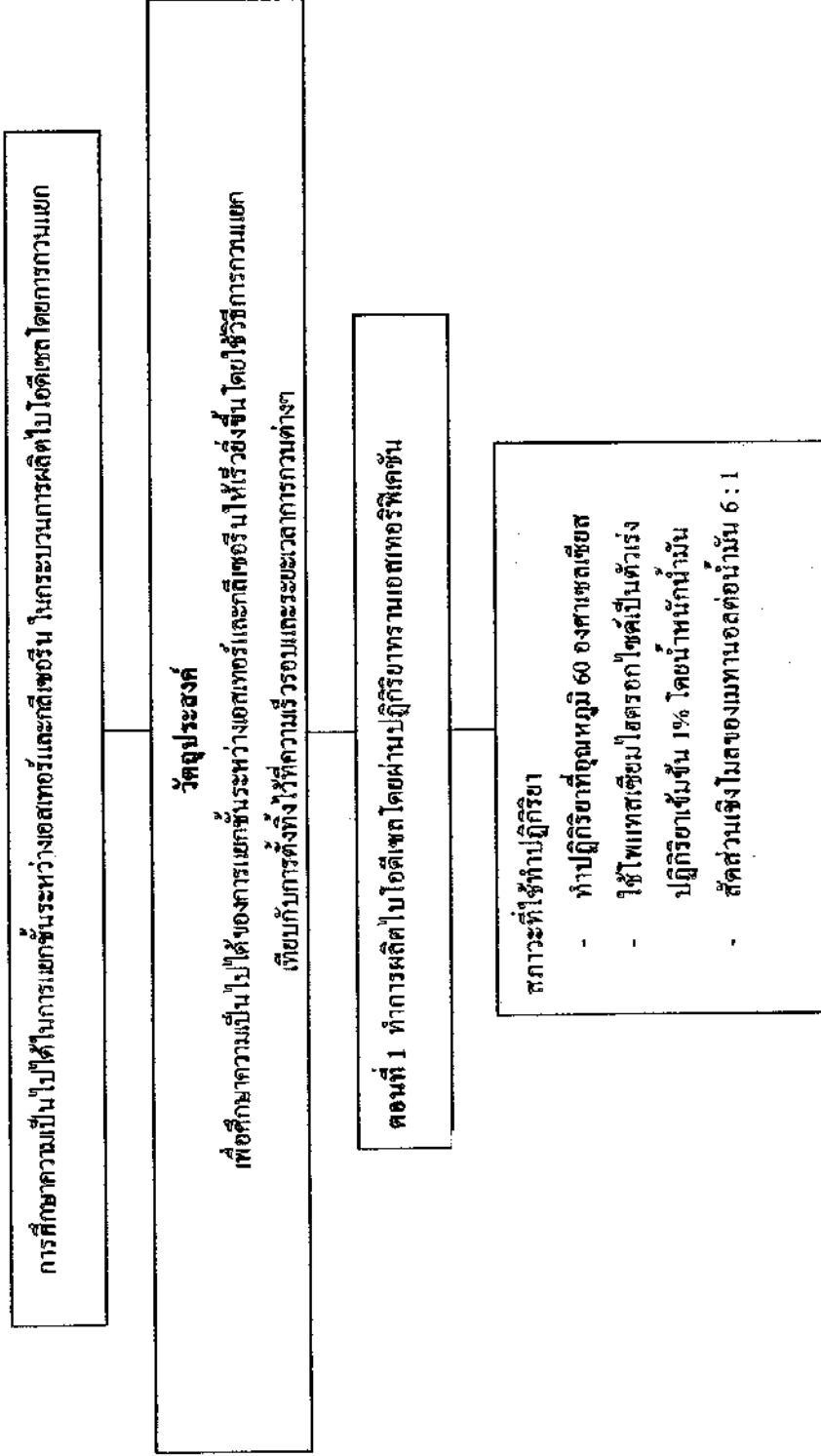
ระยะเวลาการกวน (นาที)	ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอริน(ร้อยละ)			
	ความเร็วรอบการกวนแยก (รอบต่อนาที)			
	100	300	600	900
5	85.00	92.50	93.74	87.47
15	82.49	98.75	87.48	85.00
30	88.75	88.75	82.49	83.73

5.1.3.3 ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที ดังตารางที่ 5.2

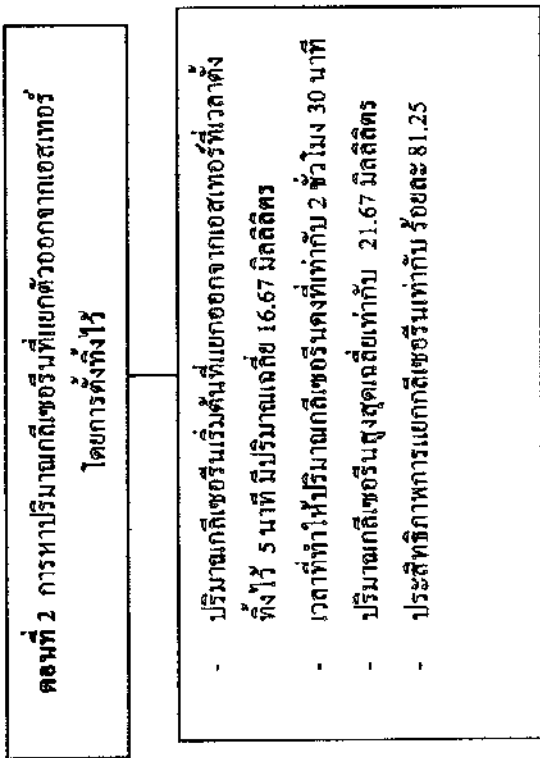
ตารางที่ 5.2 ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์โดยเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว 100, 300, 600 และ 900 รอบต่อนาที

ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอริน(ร้อยละ) ที่ระยะเวลาการกวน (นาที)	ความเร็วรอบการกวนแยก (รอบต่อนาที)			
	100	300	600	900
5	83.73	96.25	93.74	87.48
15	82.49	100.00	87.48	85.00
30	92.50	96.25	82.49	87.48

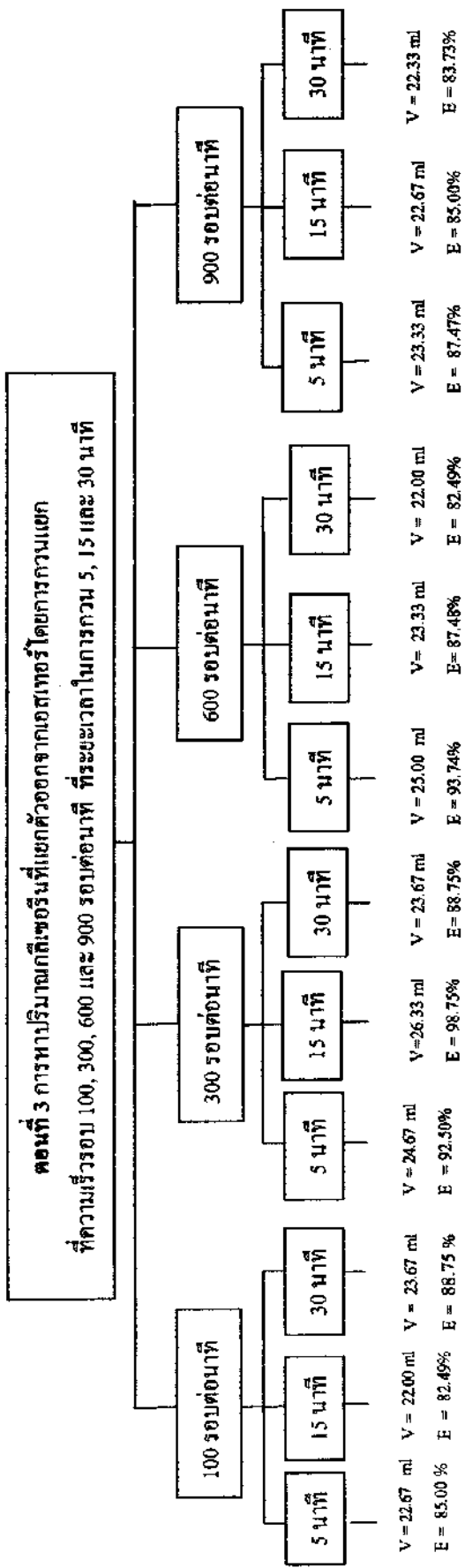
ซึ่งจากการทดสอบสมมติฐาน ทั้ง 3 สมมติฐาน ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ทำให้ปริมาณกลีเซอรินสูงสุดมีค่าแตกต่างกัน คือ ระยะเวลาในการกวนแยก ส่วนความเร็วรอบ และการเติมกรดนั้นไม่มีผลต่อปริมาณกลีเซอริน ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ปริมาณกลีเซอริน ที่วัดได้ มีค่าสูงสุด เมื่อทำการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็วรอบ 300 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการกวน 15 นาที



ภาพที่ 5.1 แผนภาพสรุปผลการทดลอง

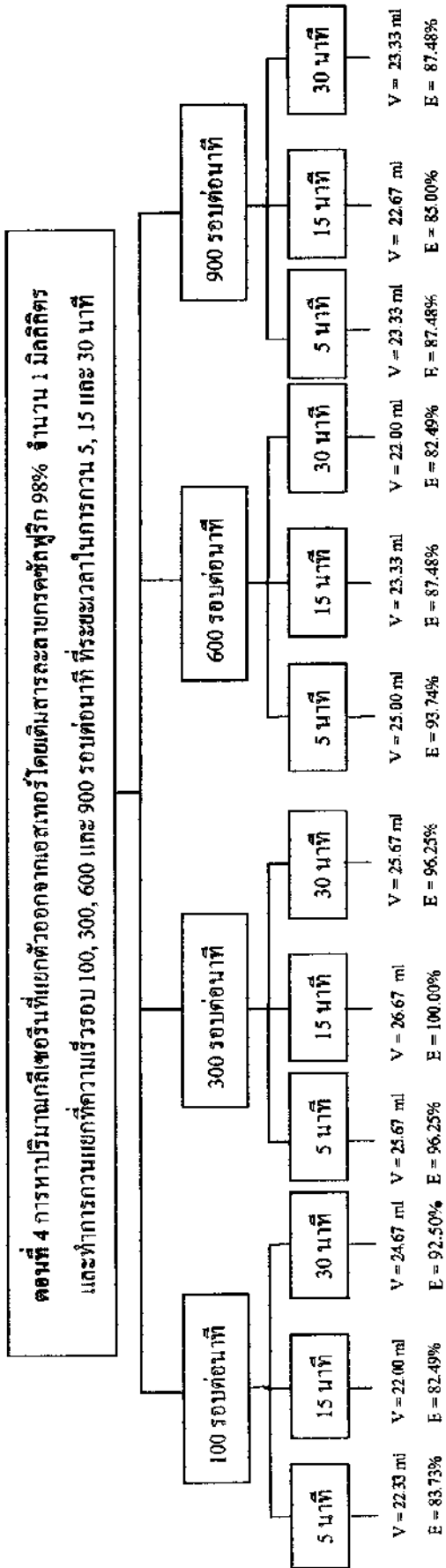


ภาพที่ 5.1 (ต่อ)



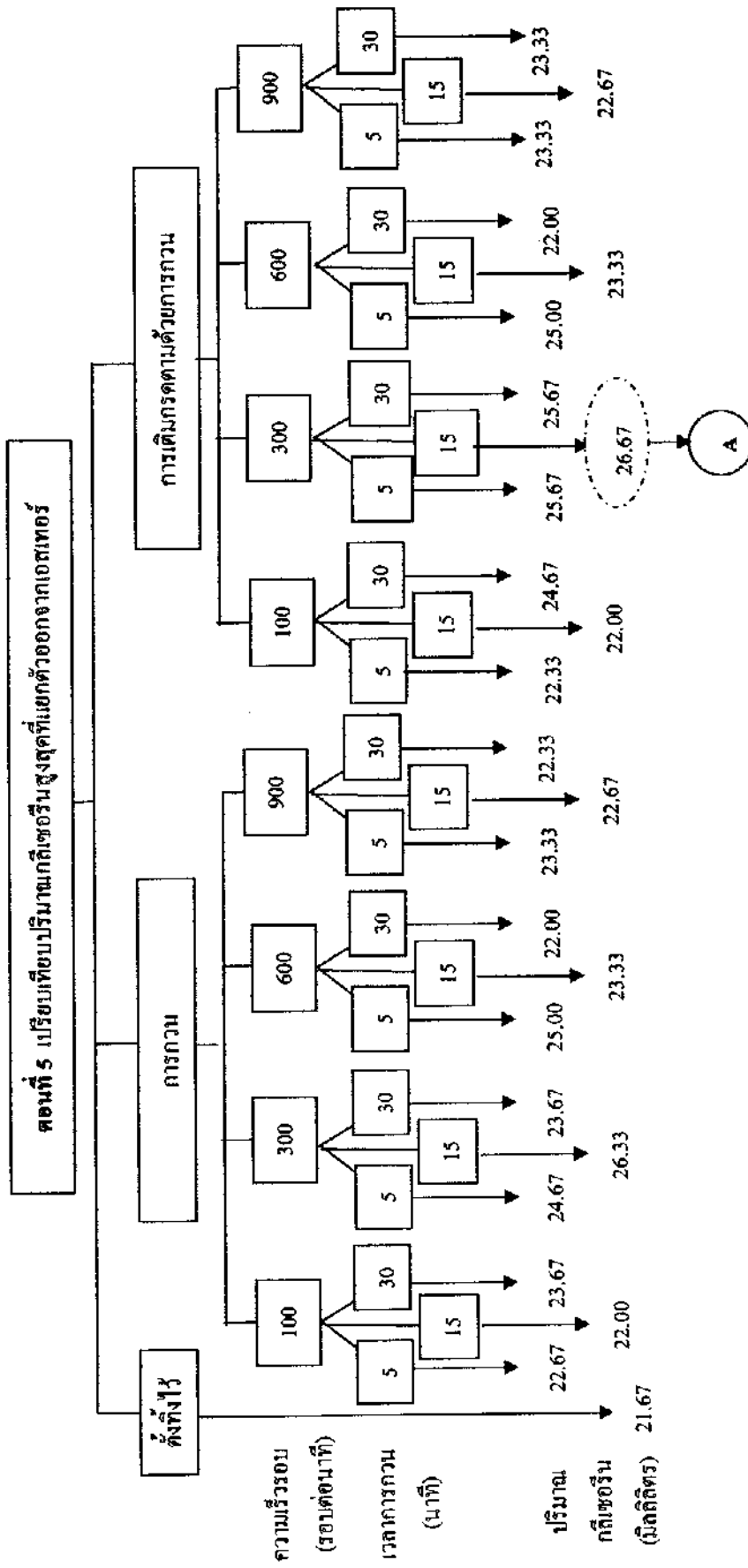
ภาพที่ 5.1 (ต่อ)

หมายเหตุ : V = ปริมาณเกลือโซเดียมสูงสุดเฉลี่ย
E = ประสิทธิภาพการแยกเกลือโซเดียม

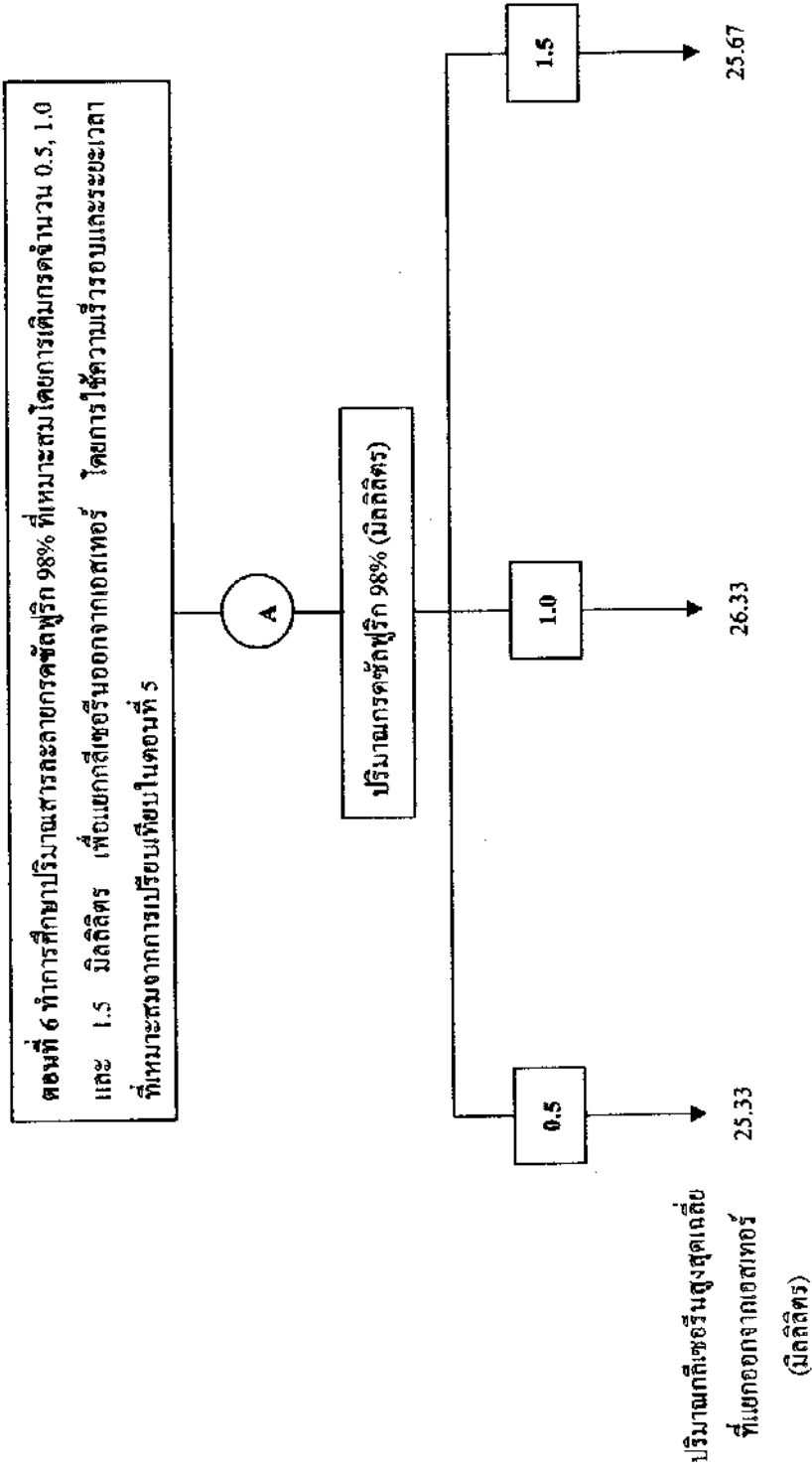


ภาพที่ 5.1 (ต่อ)

หมายเหตุ: V = ปริมาณเกลือเซอรินสูงสุดเฉลี่ย
E = ประสิทธิภาพการแยกเกลือเซอริน



ภาพที่ 5.1 (ต่อ)



ภาพที่ 5.1 (ต่อ)

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอริน ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยการกวนแยก จึงมีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการใช้การกวนแยกเพื่อแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรินในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และมีข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาค้างต่อไป ซึ่งควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมบางประการ ดังต่อไปนี้

5.2.1 ข้อเสนอแนะในการใช้วิธีการกวนแยก หรือ การเติมกรดตามด้วยการกวนแยก ในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอริน

5.2.1.1 การใช้วิธีการกวนแยก หรือ การเติมกรดตามด้วยการกวนแยกในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอริน ก่อนการพิจารณาเลือกระดับความเร็ว และระยะเวลาในการกวน ควรมีการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการแยกเอสเทอร์ และกลีเซอรินในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแต่ละประเภทก่อน เนื่องจากไบโอดีเซลที่ทำการผลิตโดยการใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน อาจทำให้ประสิทธิภาพการแยกแตกต่างกันด้วย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาวิธีการแยกที่เหมาะสมสำหรับวัตถุดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซลแต่ละประเภทก่อน เพื่อหาวิธีที่ทำให้ประสิทธิภาพการแยกกลีเซอรินสูงสุด

5.2.1.2 ในการเลือกใช้น้ำมันดิบที่จะนำมาผลิตไบโอดีเซล โดยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ควรเลือกน้ำมันดิบที่มีค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) น้อยกว่าร้อยละ 5 เช่น น้ำมันพืช เนื่องจากกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันดิบจะส่งผลทำให้เกิดสบู่ ซึ่งทำให้การแยกเอสเทอร์และกลีเซอรินเกิดได้ยากขึ้น

5.2.1.3 การใช้วิธีการกวนแยก หรือการเติมกรดตามด้วยการกวนแยกในการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอริน ควรมีการพิจารณาค้นทุนการผลิต และความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนาเทคนิคนี้ต่อไป

5.2.1.4 การใช้วิธีการกวนแยก อาจมีการปรับปรุง และออกแบบอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสม โดยใช้วัสดุที่สามารถทำเองได้ง่าย เพื่อประหยัดต้นทุน และควรคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานด้วย

5.2.1.5 ข้อจำกัดด้านการศึกษา พบว่าปริมาณกลีเซอรินที่วัดออกมา ไม่สามารถบอกได้ว่าได้ปริมาณเอสเทอร์เท่าใด เนื่องจากศึกษานี้ เอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ต้องการ ดังนั้น ควรมีการศึกษาการวัดปริมาณเอสเทอร์ที่เวลาการตั้งทิ้งไว้ต่างๆ ด้วย

5.2.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

5.2.2.1 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบชนิดของน้ำมันดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล เพื่อหาวิธีการแยกที่เหมาะสมของน้ำมันแต่ละชนิด

5.2.2.2 ควรมีการศึกษาปริมาณเอสเทอร์ที่แยกได้ในเวลาเดียวกันกับการวัดปริมาณกลีเซอริน เพื่อดูปริมาณเอสเทอร์และกลีเซอรินว่าสอดคล้องกันหรือไม่

5.2.2.3 ควรมีการนำเอสเทอร์ที่ได้จากการกลั่นแยก และการเติมกรดตามด้วยการกลั่นแยก ที่สภาวะต่างๆ ไปทดสอบในเครื่องยนต์จริง เพื่อศึกษาถึงความเหมาะสมของเอสเทอร์ที่ได้จากสภาวะต่างๆ

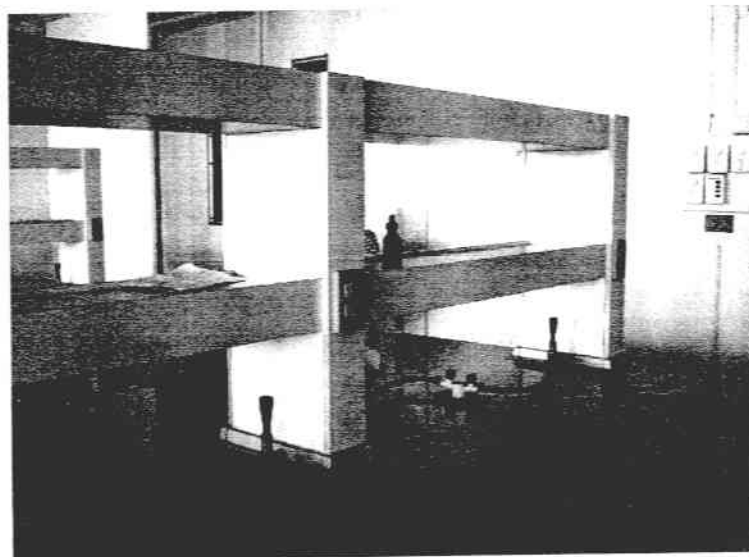
5.2.2.4 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านการตรวจวัดสิ่งปนเปื้อนที่หลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล ภายหลังการแยกโดยวิธีต่างๆ สารปนเปื้อนที่ควรศึกษาได้แก่ สารประกอบจำพวก โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) และ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) เนื่องจากก่อให้เกิดปัญหาด้านความหนืด และการเกิดเขม่าที่เครื่องยนต์

5.2.2.5 ควรมีการศึกษานำไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการแยกที่ใช้ประสิทธิภาพสูงสุดมาทดสอบกับเครื่องยนต์เพื่อหาค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ในการนำไบโอดีเซลมาเป็นพลังงานทดแทน

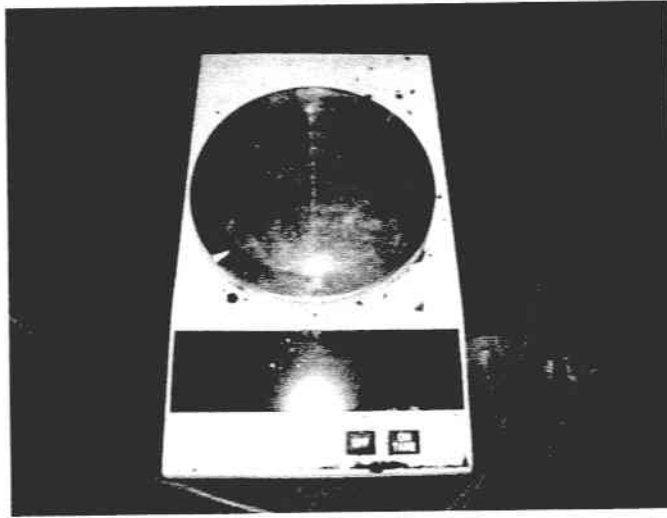
5.2.2.6 ควรมีการวัดปริมาณกลีเซอรินที่ตกค้างภายในชั้นของเอสเทอร์ และปริมาณเอสเทอร์ภายในชั้นของกลีเซอริน

ภาคผนวก

การเตรียมการทดลองและการเก็บข้อมูล



ภาพที่ 1 สถานที่ทำการทดลอง



ภาพที่ 2 เครื่องซั่งคิจิตอล ขนาด 2 ตำแหน่ง ที่ใช้ซั่งน้ำมันพืช



ภาพที่ 3 เครื่องซั่งคิจิตอล ขนาด 4 ตำแหน่ง ที่ใช้ซั่งเมทานอลและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์



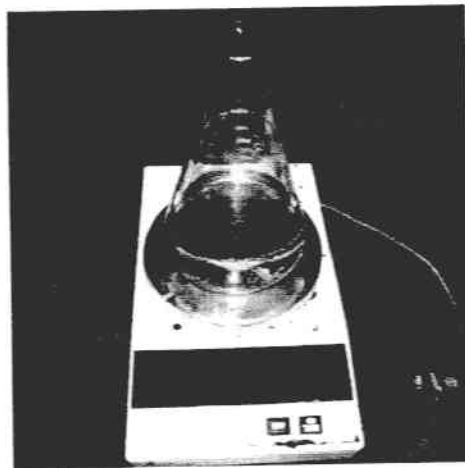
ภาพที่ 4 น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 5 เมทานอล และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์



ภาพที่ 6 กรดซัลฟูริก 98%



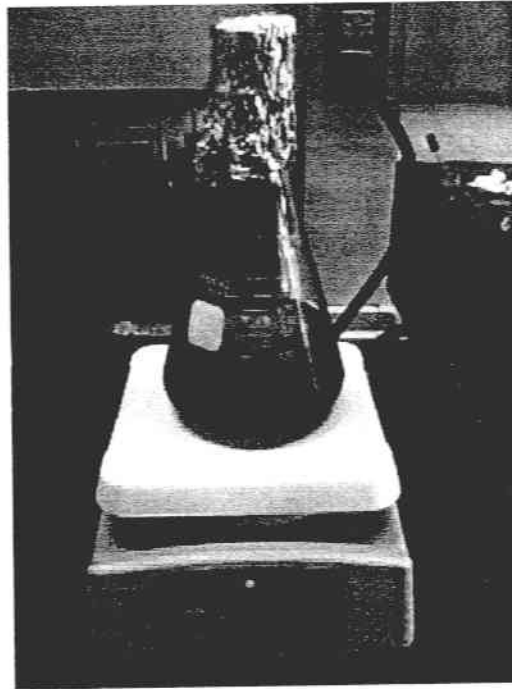
ภาพที่ 7 ชั่งน้ำหนักน้ำมันปาล์ม 400 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 1000 มิลลิลิตร และอุ่นน้ำมัน
พืชให้ได้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลานานประมาณ 30 นาที



ภาพ 8 ชั่งสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 5 กรัม



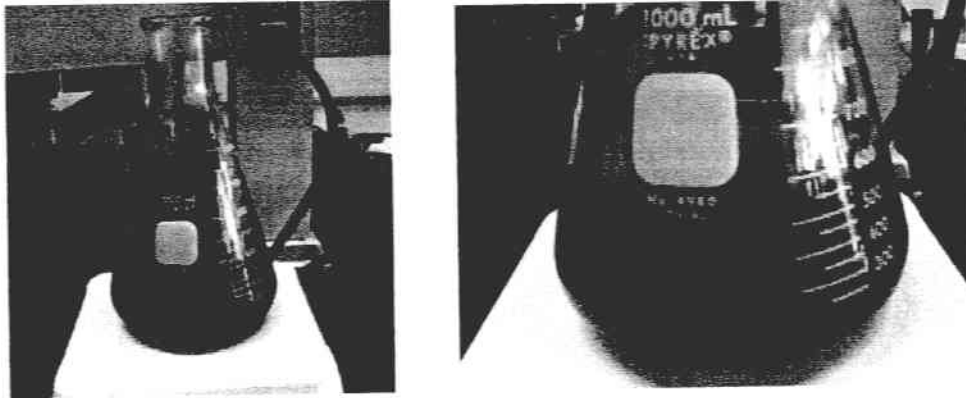
ภาพที่ 9 ชั่งเมทานอลจำนวน 100 กรัมแล้วผสมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้
คนให้เข้ากัน จะได้สารละลายโพแทสเซียมเอทอกไซด์



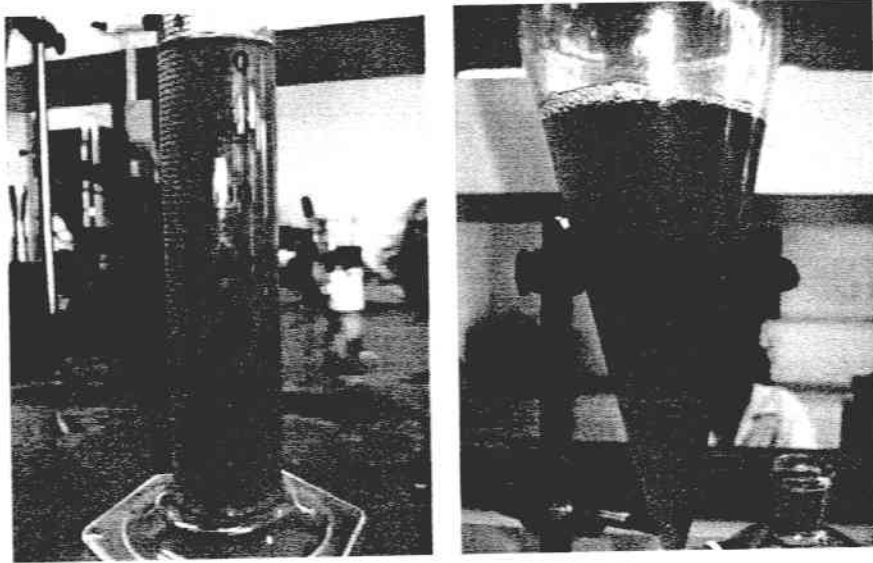
ภาพที่ 10 เทสารละลายโพแทสเซียมเมธอกไซด์ลงในน้ำมันพืชที่อุณหภูมิความเร็ว 600 รอบต่อนาที และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยานาน 30 นาที



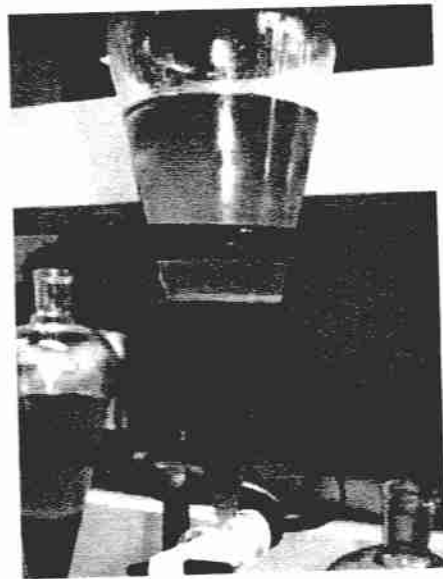
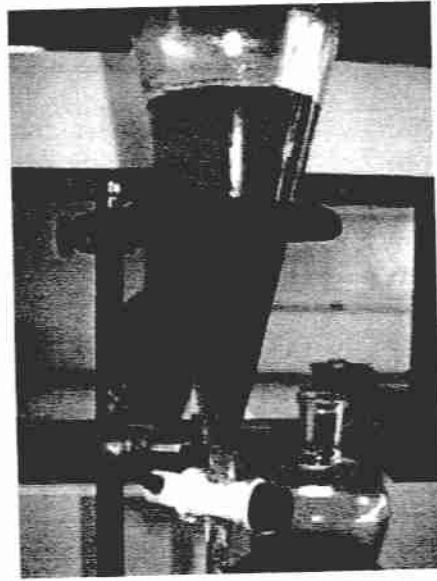
ภาพที่ 11 สีของไบโอดีเซลขณะเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน



ภาพที่ 12 เคมีสารละลายกรดซัลฟูริก 98% ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ตามด้วยการกวนแยกที่ความเร็ว
และระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 13 น้ำของผสมกลีเซอรินและเอสเทอร์ จำนวน 150 มิลลิลิตร ใส่กรวยแยก



ภาพที่ 14 วัดปริมาณกลีเซอรินที่แยกตัวออกจากเอสเทอร์ที่ระยะเวลาต่างๆ

บรรณานุกรม

- กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ. 2549. น้ำมันดีเซล. ค้นวันที่ 10 ตุลาคม 2549 จาก <http://www.dmf.go.th>.
- กรมธุรกิจพลังงาน. 2549. สถานการณ์น้ำมันเชื้อเพลิง เดือนมกราคม - กันยายน 2549. ค้นวันที่ 10 ธันวาคม 2549 จาก http://www.doeb.go.th/news/oil_oct/oil_etc.htm
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2549. ตักยภาพของไบโอดีเซลในประเทศไทย. ค้นวันที่ 10 ธันวาคม 2549 จาก <http://www.dede.go.th>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2549. ยุทธศาสตร์ไบโอดีเซล. ค้นวันที่ 10 ธันวาคม 2549 จาก <http://www.dede.go.th>
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2549. สถิติการผลิตการเกษตรตามชนิดพืช กลุ่มพืชไร่ ปีเพาะปลูก 2548/2549 ทั้งประเทศ. ค้นวันที่ 10 ธันวาคม 2549 จาก http://production.doae.go.th/estimate/reportP2/reportP2_display.php
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2549. คำศัพท์สิ่งแวดล้อม. ค้นวันที่ 15 ตุลาคม 2549 จาก <http://www.deqp.go.th/>
- กรมอุทกหารเรือ กองทัพเรือ. 2549. ไบโอดีเซล. ค้นวันที่ 10 ตุลาคม 2549 จาก <http://www.navy.mi.th/>
- กระทรวงพลังงานและกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2549. ยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบและส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลจากปาล์ม. ค้นวันที่ 10 ธันวาคม 2549 จาก <http://www.dede.go.th/dcdc/fileadmin/usr/bers/biodiesel/bioplan.pdf>
- คณะกรรมการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร. 2545. พลังงานทดแทน เอทานอลและไบโอดีเซล. กรุงเทพฯ: แปลน พรินต์ติ้ง. 89-97.
- โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี. 2549. พืชน้ำมัน. ค้นวันที่ 12 ตุลาคม 2549 จาก <http://rspg.thaigov.net>
- จินตนา อุบลวัฒน์. 2548. ไบโอดีเซล : พลังงานชีวภาพแห่งยุค. วารสารพลังงาน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สถาบันวิจัยพลังงาน. 6: 53-66.

- ชาคริต ทองอุไร สันห์ชัย กลิ่นพิภฏ จิต ถิ่นวรพันธ์ และเสถียร วาณิชวีริยะ. 2544. การวิจัยเพื่อแปรรูปน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงและทดแทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตร. โครงการส่งเสริมอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มขนาดเล็ก อันเนื่องมาจากพระราชดำริ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชาคริต ทองอุไร สันห์ชัย กลิ่นพิภฏ จิต ถิ่นวรพันธ์ และเสถียร วาณิชวีริยะ. 2549. โครงการจัดสร้างโรงงานสกัดน้ำมันพืชและผลิตไบโอดีเซลครบวงจร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ฉัฐพงษ์ เสนาธิบดี และวิธาน เกียรติอุบลไพฑูถ. 2544. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดในปาล์มโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน. ปรินูญานิพนธ์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นิตยา ถิ่นจี่ และอุพดี ดวงสวัสดิ์. 2544. ศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชใช้แล้ว. ปรินูญานิพนธ์ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ธราพงษ์ วิฑิตสานต์ สุชญา นิตวัฒน์นันทน์ นุจรี เกาห์ประเสริฐ และธนทิพย์ อัสวคองสิทธิ์. 2546. การศึกษาความเป็นได้ในการนำน้ำมันพืชที่ประกอบอาหารมาใช้ประโยชน์ทดแทนในด้านพลังงาน (ส่วนที่ 2). ทูลุคหุนนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- ธิตารัตน์ เสถียรพัฒนาภูถ และ มยุรฉัตร อุ่นจิตติ. 2544. การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิต Biodiesel. ปรินูญานิพนธ์ สาขาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). 2549. แผนการขยายการใช้ NGV เพื่อเป็นทางเลือกเชื้อเพลิงในภาคขนส่ง. คั้นวันที่ 10 ธันวาคม 2549 จาก <http://www.pttplc.com>
- ปิติพันธ์ ลุปัญญาพันธ์. 2549. ปรินูญานิพนธ์ที่มีอิทธิพลต่อการรวบรวมน้ำมันพืชที่ใช้แล้วเพื่อมาผลิตน้ำมันมันไบโอดีเซล: กรณีศึกษาครัวเรือนเขตภาษีเจริญ. สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันพัฒนาบริหารศาสตร์.
- ปิยะกรณ์ วลัยกนก และศุภรัตน์ วัฒนาวังจงสุข. 2545. การเตรียมและศึกษาสมบัติของดีเซลชีวภาพจากมะพร้าว. ปรินูญานิพนธ์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

- พรณนีย์ วิชาชู. 2549. ป่าลมน้ำมัน...จากน้ำมันพืชถึงไบโอดีเซล. ค้นวันที่ 10 ธันวาคม 2549 จาก <http://www.pttple.com>
- ภาวิณี คณาสวัสดิ์ และคัง พุทธศุภร์. 2540. การสังเคราะห์เมทิลและเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันป่าลมน้ำมัน โดยวิธีทางเคมีและทางเอนไซม์. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และสถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์.
- มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน. 2549. การผลิตไบโอดีเซล จากน้ำมันสัตว์/น้ำมันพืชใช้แล้ว. ค้นวันที่ 15 ตุลาคม 2549 จาก <http://www.emac.or.th>
- มูลนิธิศูนย์สื่อเพื่อการพัฒนา. 2548. ทำไบโอดีเซลใช้เอง. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ ฉบับที่ 7.
- มูลนิธิสถาบันพลังงานทดแทน เอทานอล - ไบโอดีเซล แห่งประเทศไทย. 2549. พลังงานทดแทน น้ำมันป่าลมน้ำมันบริสุทธิ์ทดแทนน้ำมันดีเซล. ค้นวันที่ 15 ตุลาคม 2549 จาก <http://www.ethanol-thailand.com>
- วชิรา พรหมจอม และ อัจฉรา สุวรรณวรบุญ. 2543. ปฏิบัติการานเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันป่าลมน้ำมันในเครื่องปฏิกรณ์แบบนิ่ง. วิทยุวิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วรรณวิไล ไกรเพ็ชร. 2550. ระบบการแยกสารโดย Hydrocyclone. ค้นวันที่ 15 มีนาคม 2550 จาก www.vcharkarn.com
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2547. โครงการการศึกษาออกแบบการติดตั้งโรงงานผลิตไบโอดีเซลนำร่องระดับชุมชน. รายงานสรุปสำหรับผู้บริหารเสนอต่อกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 5 (นครราชสีมา). 2550. ไบโอดีเซล * ลักษณะและคุณภาพที่ทางราชการ ประกาศกำหนด *. ค้นวันที่ 20 มิถุนายน 2550 จาก [www_energy-region5_net](http://www.energy-region5_net).
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2549. ผลพยากรณ์. ค้นวันที่ 10 ธันวาคม 2549 จาก <http://www.oae.go.th/mis/predict/>
- สิทธิศักดิ์ ครอบงม. 2543. การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันพืชหลังการใช้แล้วเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- ศุมาลี เพ็ญฟู. 2549. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกใช้ไบโอดีเซลของผู้ใช้รถยนต์ใน กรุงเทพมหานคร. สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันพัฒนบริหารศาสตร์.
- อัญชนา ยอดเรืองวงศ์. 2545. คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพจากน้ำมันดิบโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย. 2549. ไบโอดีเซล. ค้นวันที่ 15 ตุลาคม 2549 จาก www.vcharkarn.com
- Alcantara, R.; Amores, J.; Canoira, L.; Fidalgo, E.; Franco, M.J. and Navarro, A. 2000. Catalytic Production Of Biodiesel From Soy-Bean Oil, Used Frying Oil And Tallow. *Biomass And Bioenergy*. 18: 515- 527.
- Antolin, G.; Tinaut, F.V.; Briceno, Y.; Castano, V.; Perez, C. and Ramirez, A.I. 2002. Optimisation Of Biodiesel Production By Sunflower Oil Transesterification. *Bioresource Technology*. 83: 111-114.
- Barnwal. B.K. and Sharma, M.P. 2005. Prospects Of Biodiesel Production From Vegetable oils in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 9: 363-378.
- Bouaid, Abderrahim.; Diaz, Yolanda.; Martinez, Mercedes. and Araci, Jose. 2005. Pilot Plant Studies of Biodiesel Production Using *Brassica carinata* as Raw Material. *Catalysis Today*. 106: 193-196.
- Ryan, David. 2004. *Biodiesel - A Primer*. Fayetteville, AR: National Sustainable Agriculture Information Service.
- Canoira, Laureano.; Alcantara, Ramon.; Torcal, Susana.; Tsiouvaras, Nikolaos.; Lois, Evripidis. and Korres, Dimitrios M. 2006. Nitration of Biodiesel of Waste Oil: Nitrated Biodiesel as A Cetane Number Enhancer. *Fuel*. 86: 965-971.
- California Stormwater BMP Handbook. 2003. *Vortex Separator*. Retrieved June 12, 2007 from <http://www.cabmphandbooks.com/Documents/Development/MP-51.pdf>.
- Encinar, J.M.; Gonzalez, J.F. and Einares, Rodriguez A. 2007. Ethanolysis of Used Frying Oil. Biodiesel Preparation and Characterization. *Fuel Processing Technology*. 88: 513-522.
- Fukuda, Hideki; Kondo, Akihiko. and Noda, Hideo. 2001. Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *Journal of Bioscience And Bioengineering*. 92: 405-416.

- Gammoun, A. et al. 2006. **Separation of Motor Oils, Oily Wastes and Hydrocarbons From Contaminated Water by Sorption on Chrome Shavings**. Retrieved January 10, 2007 from <http://lib.bioinfo.pl/pmid:17157981>
- Gubitz, G.M.; Mittelbach, M. and Trabi, M. 1999. Exploitation of the Tropical Oil Seed Plant *Jatropha curcas* L. **Bioresource Technology**. 67: 73-82.
- Kac, Aleks. 2007. **The FOOLPROOF Way to Make Biodiesel**. Retrieved January 10, 2007 from <http://journeytoforever.org/>
- Kenna, Mc. et al., 1973. **Electrochemical Flotation Concept for Removing Oil from Water**. Retrieved May 10, 2007 from <http://www.dtic.mil/>
- Leung, D.Y.C. and Guo, Y. 2006. Transesterification of Neat and Used Frying Oil: Optimization for Biodiesel Production. **Fuel Processing Technology**. 87: 883–890.
- Lin, Cherng-Yuan. and Lin, Shiou-An. 2006. Effects of Emulsification Variables on Fuel Properties of Two- and Three- Phase Biodiesel Emulsion. **Fuel**. 86: 210-217.
- Marinkovic, Siler M. and Tomasevic, A. 1998. Transesterification of Sunflower Oil *in Situ*. **Fuel**. 77: 1389-1391.
- Meher, L.C.; Dharmagadda, Vidya S.S. and Naik, S.N. 2005. Optimization of Alkali-Catalyzed Transesterification of *Pongamiapinata* oil for Production of Biodiesel. **Bioresource Technology**. 97: 1392-1397.
- Mansour, Ben L. and Chalbi, S. 2006. Removal of Oil from Oil/Water Emulsions Using Electroflotation Process. **Journal of Applied Electrochemistry**. 36: 577-581.
- Muniyappa, Praveen R.; Brammer, Scott C. and Nouredini, Hossein. 1996. Improve Conversion of Plant Oils and Animal Fats into Biodiesel and Co-Production. **Bioresource Technology**. 56: 19-24.
- On Line Resources for Biology. 2002. **Centrifugation Basics**. Retrieved May 8, 2007 from <http://www.bates.edu/acad/depts/biology/>
- Ramadhas, A.S.; Jayaraj, S. and Muraleedharan, C. 2005. Biodiesel Production from High FFA Rubber Seed Oil. **Fuel**. 84: 335-340.
- Sarin, Rakesh.; Sharma, Meeta.; Sinharay, S. and Malhotra, R.K. 2006. *Jatropha*–Palm Biodiesel Blends: An Optimum Mix for Asia. **Fuel**. 86: 1365-1371.

- Schievelbein, Vernon H. 1999. **Process for Removing Water from Heavy Crude Oil**. Retrieved May 8, 2007 from <http://www.patentstorm.us/patents/6007702-description.html>
- Suzuki, Yoshihiro. and Maruyama, Toshiroh. 2005. Removal of Emulsified Oil from Water by Coagulation and Foam Separation. **Separation Science and Technology**. 40: 3407-3418.
- The Joint Service P2 Opportunity Handbook. 2007. **Vortex Solids Separators for Treating Storm Water Runoff**. Retrieved June 13, 2007 from http://p2library.nfesc.navy.mil/P2_Opportunity_Handbook/10-2.html
- Miao, Xiaoling. and Wu, Qingyu. 2006. Biodiesel Production from Heterotrophic Microalgal Oil. **Bioresource Technology**. 97: 841-846.
- Van Gerpen, J.; Shanks, B.; Pruszkod, R.; Clements, D. and Knothe, G. 2004. **Biodiesel Analytical Methods: August 2002–January 2004**. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory.
- Veljkovic, V.B.; Lakicevic, S.H.; Stamenkovic, O.C.; Todorovic, Z.B. and Lazic, M.L. 2006. Biodiesel Production from Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) Seed Oil With a High Content of Free Fatty Acids. **Fuel**. 85: 2671-2675.
- Vicente, Gemma.; Martinez, Mercedes. And Aracil, Jose. 2007a. Optimisation of Integrated Biodiesel Production. Part I. A Study of the Biodiesel Purity and Yield. **Bioresource Technology**. 98: 1724 –1733.
- Vicente, Gemma.; Martinez, Mercedes. and Aracil, Jose. 2007b. Optimisation of Integrated Biodiesel Production. Part II: A Study of the Material Balance. **Bioresource Technology**. 98: 1754-1761.
- Wang, Yong.; Ou, Shiyi.; Liu, Pengzhan. and Zhang, Zhisen. 2007. Preparation of Biodiesel from Waste Cooking Via Two-Step Catalyzed Process. **Energy Conversion and Management**. 48: 184–188.
- Yang, Ji.; Jia, Jimping.; Wang, Yaling. and You, Weisong. 2005. Treatment of Cooking Oil Fume by Low Temperature catalysis. **Applied Catalysis B: Environmental**. 58: 123-131.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล
ประวัติการศึกษา

นางสาวพัชรินทร์ เงินไพบ่อน
วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543