



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ของเสียปลาทะเลจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง
เพื่อผลิตไบโอดีเซล

Feasibility Study of Using Sea Fish Waste from Frozen Foods Factory to Produce
Biodiesel

นามผู้วิจัย นางสาวนฤภา อาคะพงษ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, Dr.Ing.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สัญญา สิริวิทยาปกรณั, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, Dr.Ing.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ของเสียปลาทะเลจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง
เพื่อผลิตไบโอดีเซล

Feasibility Study of Using Sea Fish Waste from Frozen Foods Factory to Produce Biodiesel

โดย

นางสาวนฤภา อาคะพงษ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2552

นฤภา อาคะพงษ์ 2552: การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ของเสียปลาทะเลจากโรงอาหารทะเลแช่แข็งเพื่อผลิตไบโอดีเซล ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, Dr.Eng. 129 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปลาที่สกัดได้จากชั้นตะกอนไขมันปลาทะเลของบ่อคักไขมันโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง ซึ่งมีค่ากรดไขมันอิสระสูง 22.41 เปอร์เซ็นต์ ด้วยกระบวนการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อลดกรดไขมันอิสระ โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา และใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสม คือ ปริมาณของกรดซัลฟูริกที่ 3, 5, 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง และ อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 10:1, 15:1 และ 20:1 (เทียบโดยโมลของกรดไขมันอิสระ) ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 (± 2) องศาเซลเซียส ขั้นตอนที่สองเป็นกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อแปลงผลผลิตจากขั้นตอนแรกให้เป็นเมทิลเอสเทอร์(ไบโอดีเซล) และกลีเซอรอลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 และ 15:1 ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 50, 55, 60, 65, 70 และ 75 (± 2) องศาเซลเซียส และระยะเวลาทำปฏิกิริยา 15, 30, 45, และ 60 นาที จากผลการทดลอง ขั้นตอนแรก พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมโดยใช้ปริมาณกรดซัลฟูริก 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 10:1 (เทียบโดยโมลของกรดไขมันอิสระ) อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 70 ± 2 องศาเซลเซียส และระยะเวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง สามารถลดกรดไขมันอิสระให้มีค่าคงเหลือได้น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนขั้นตอนที่สอง พบว่า การใช้อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1 อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 60 ± 2 องศาเซลเซียส ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที สามารถผลิตไบโอดีเซลได้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตเท่ากับ 85.84 เปอร์เซ็นต์ และได้เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์เท่ากับ 72.21 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความร้อน 39.77 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม โดยที่ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลน้ำมันปลาที่ได้ มีคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น จุดวาบไฟ จุดจุดไหม้ จุดไหลเท ค่าความเป็นกรด ค่าไอโอดีน โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรินอิสระ และกลีเซอรินทั้งหมด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ การเกษตร ซึ่งสามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตรได้

Narupa Akaphong 2009: Feasibility Study of Using Sea Fish Waste from Frozen Foods Factory to Produce Biodiesel. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Mongkol Damrongsri, Dr.Ing. 129 pages.

This research was studied a feasibility of biodiesel production from fish oil of sea fish waste scum in grease tap of frozen foods factory to have the high free fatty acids (FFA) 22.41 % with a two-step process. The first step was esterification process for reduced the FFA by used methanol and sulfuric acid catalyst, was studied the optimum factor as: the amount of sulfuric acid 3, 5, 7 and 9 %wt at the reaction times 1, 2, 3 and 4 hours and methanol/oil molar of FFA ratios 10:1, 15:1 and 20:1 at the temperature 60, 70 and 80 (± 2) $^{\circ}$ C. The second step was transesterification process for converted the product of the first step into methylester (biodiesel) and glycerol by used sodium hydroxide catalyst was studied the optimum factor as : methanol/oil molar ratios 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 and 15:1. the amount of sodium hydroxide 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25 and 1.5%wt. the temperature 50, 55, 60, 65, 70 and 75(± 2) $^{\circ}$ C and the reaction times 15, 30, 45 and 60 minute. The result of esterification process was found to be the optimum when used sulfuric acid 7%wt, methanol/oil molar of FFA ratio 10:1, the temperature 70 ± 2 $^{\circ}$ C and the reaction times 2 hours to reduce the FFA less than 2 %.

Transesterification process used methanol/oil molar ratio 6:1, sodium hydroxide 0.5%wt, the temperature 60 ± 2 $^{\circ}$ C and the reaction times 30 minute obtained the maximum yield of biodiesel, the percentage methylester and heating value was 85.84 %, 72.21 % and 39.77 MJ/Kg respective. However, it was found that the viscosity, density, flash point, cloud point, pour point, acid value, iodine value, monoglycerides, diglycerides, triglycerides, free glycerine and totalglycerine of the produced biodiesel were in the acceptable ranges according to the department of energy Thailand standards for community biodiesel and using are renewable energy for diesel fuel.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล คำรงค์ศรี ประธานกรรมการที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา สิริวิทยาปกรณ์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ร่วม ผู้ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย และเสียสละเวลาในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์
จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์ ประธาน
การสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ หนูพันธ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้กรุณาให้
คำชี้แนะอันมีประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้วิจัย อีกทั้งได้กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความ
สมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรามคำแหง และเจ้าหน้าที่ที่แนะนำการใช้
เครื่องมือในการวิเคราะห์จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญาโททุกท่าน และเพื่อนร่วมรุ่นปริญญาโท เพื่อนร่วมรุ่น
ปริญญาตรี และ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์
และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ใน การวิจัยครั้งนี้ และ ครอบครัวนพแก้ว ที่คอยให้ที่พักและ
สนับสนุนวัตถุดิบในการวิจัยครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ น้องชาย และหลาน ผู้ซึ่งคอยให้กำลังใจ
และความรักที่ยิ่งใหญ่ให้แก่ข้าพเจ้า โดยเฉพาะคุณพ่อและคุณแม่ผู้ซึ่งเป็นแรงบันดาลใจให้การ
สนับสนุนข้าพเจ้าเสมอมา

นฤภา อาคะพงษ์

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	46
อุปกรณ์	46
วิธีการทดลอง	48
ผลและวิจารณ์	60
สรุปและข้อเสนอแนะ	80
สรุป	80
ข้อเสนอแนะ	81
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	83
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันปลา	90
ภาคผนวก ข การคำนวณค่าต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย	98
ภาคผนวก ค ตารางบันทึกผลการทดลอง	114
ภาคผนวก ง โครมาโทแกรมของตัวอย่างน้ำมันปลาและไบโอดีเซล	122
ภาคผนวก จ ภาพประกอบการทดลอง	125
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	129

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันปลาชนิดต่างๆ	6
2	ปริมาณกรดไขมันและจุลหุลอมเหลวที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันต่างๆ	7
3	คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ	29
4	กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลของประเทศสหรัฐอเมริกา	30
5	กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันของประเทศไทย	31
6	เปรียบเทียบการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีต่างๆ	35
7	คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปลาทะเล	61
8	ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันปลา	63
9	คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับมาตรฐานไบโอดีเซลและมาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน	75
ตารางผนวกที่		
ก1	ปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์และน้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการได้ตรงตามปริมาณของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน	92
ข1	ค่าการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปลา	100
ข2	การเปรียบเทียบอัตราส่วนโมล อัตราส่วนปริมาตร และเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน	105
ข3	การเปรียบเทียบอัตราส่วนโมล อัตราส่วนปริมาตร และเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน	105
ข4	ตัวอย่างค่าจากโครมาโทแกรมของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลน้ำมันปลา	107
ข5	ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลน้ำมันปลาปริมาตร 1 ลิตร	112
ข6	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลน้ำมันปลาปริมาตร 1 ลิตร	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ค1	ปริมาณน้ำมันปลาจากที่สกัดจากชั้นตะกอนไขมันด้วยความร้อนที่ 80-120 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง	115
ค2	ตารางผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปลา	116
ค3	ผลการลดกรดไขมันอิสระและเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้จากขั้นตอนการศึกษา สภาวะที่เหมาะสมของปริมาณกรดซัลฟูริกที่ 3-9 เปอร์เซ็นต์และที่เวลาทำ ปฏิกริยา 1-4 ชั่วโมง	117
ค4	ผลการลดกรดไขมันอิสระและเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้จากขั้นตอนการศึกษา สภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 10:1-20:1 และที่อุณหภูมิทำปฏิกริยา 60-80 (± 2) องศาเซลเซียส	118
ค5	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 3:1 ถึง 15:1 ในขั้นตอนผลิตไบโอดีเซลของกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน	118
ค6	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนโดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.25 ถึง 1.50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในขั้นตอนผลิตไบโอดีเซลของ กระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน	119
ค7	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิในการทำปฏิกริยาในขั้นตอน ผลิตไบโอดีเซลของกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน	119
ค8	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของระยะเวลาในการทำปฏิกริยาในขั้นตอน ผลิตไบโอดีเซลของกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน	120
ค9	ตารางผลการวิเคราะห์การกลั่น(Distillation)ของน้ำมันไบโอดีเซลปลา	121

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	สูตรโครงสร้างทั่วไปของกรดไขมัน 6
2	สูตรโครงสร้างของ Lipid พวก Glyceride 9
3	ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ 11
4	ปฏิกิริยาสaponification จากกรดไขมันอิสระ 12
5	ตัวอย่างของกรดไขมันสำเร็จรูป 18
6	ขั้นตอนการผลิตซูริมอาหารทะเลแช่แข็ง 21
7	กระบวนการแตกสลายทางความร้อน 33
8	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ 34
9	กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ 34
10	กระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไป 36
11	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ 37
12	แผนผังการทดลอง 48
13	อุปกรณ์สำหรับการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน 52
14	เครื่อง Pensky-Martens closed flash tester 57
15	เครื่องมือทดสอบหาจุดขุ่น (Cloud point) และจุดไหลเท (Pour point) 58
16	เครื่องกลั่น Distillation 58
17	ผลการลดกรดไขมันอิสระโดยใช้กรดซัลฟูริก ที่ปริมาณ 3, 5, 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักน้ำมันปลา ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1 ถึง 4 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วน เมทานอลต่อน้ำมัน ที่ 20:1 ที่อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส 65
18	เปอร์เซ็นต์ผลผลิตน้ำมันที่ได้จากการลดกรดไขมันอิสระ ที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 3, 5, 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมันปลา ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1 ถึง 4 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน ที่ 20:1 ที่อุณหภูมิ 80±2 องศาเซลเซียส 66
19	ผลการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปลาที่อัตราส่วนเมทานอล 10:1, 15:1, และ 20:1 อุณหภูมิที่ระดับ 60± 2, 70± 2 และ80 ± 2 องศาเซลเซียส โดยใช้กรดซัลฟูริก ที่ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำปฏิกิริยานาน 2 ชั่วโมง 67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	เปอร์เซ็นต์ผลผลิตน้ำมันที่ได้จากการลดกรดไขมันอิสระ ที่อัตราส่วนเมทานอล 10:1, 15:1 และ 20:1 อุณหภูมิที่ระดับ 60, 70 และ 80 (± 2) องศาเซลเซียส โดยใช้กรดซัลฟูริกที่ 7 เปอร์เซ็นต์ ทำปฏิกิริยานาน 2 ชั่วโมง	68
21	เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้กับการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 และ 15:1 โดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที	70
22	ค่าความหนืดและค่าพลังงานของไบโอดีเซลน้ำมันปลาที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 และ 15:1 โดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที	70
23	เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตไบโอดีเซลที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25-1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 6:1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที	72
24	ค่าความหนืดและค่าพลังงานของไบโอดีเซลน้ำมันปลาที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25-1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 6:1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที	72
25	เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 50 ถึง 75 (± 2) องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 6:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทำปฏิกิริยา นาน 30 นาที	73
26	ค่าความหนืดและค่าพลังงานของไบโอดีเซลน้ำมันปลาที่อุณหภูมิ 50 ถึง 75 (± 2) องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 6:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ทำปฏิกิริยา นาน 30 นาที	74
27	เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไบโอดีเซลน้ำมันปลาที่ระยะเวลา 15 ถึง 60 นาที อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 6:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ $60 (\pm 2)$ องศาเซลเซียส	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
28	ค่าความหนืดและค่าพลังงานของไบโอดีเซลน้ำมันปลาที่ระยะเวลา 15 ถึง 60 นาที อัตราส่วน โมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 6:1 ปริมาณโซเดียม ไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 60(±2) องศาเซลเซียส	76
ภาพผนวกที่		
ก1	เครื่องมือและอุปกรณ์วัดค่าความร้อน (AC-350 Automatic Calorimeter)	94
ก2	ขั้นตอนการเปิดน้ำและการบรรจุ bomb a คือ ขั้นตอนการเปิดน้ำลงใน bomb bucket b คือ การวาง bomb ลงใน bomb bucket	95
ก3	ขั้นตอนการต่อสายไฟสำหรับจุดไฟใน bomb	96
ก4	การประมวลผลของเครื่องวัดค่าความร้อน a คือ ระยะเวลาที่เครื่องจุดระเบิดเผา ตัวอย่าง และ b คือ ค่าที่พลังงานความร้อนที่เครื่องประมวลผลได้ (หน่วย cal/g)	97
ข1	โครงสร้างของน้ำมันและไขมัน	99
ข2	ตัวอย่างโครมาโทแกรมของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลน้ำมันปลา	107
ง1	โครมาโทแกรมของน้ำมันปลาที่ได้จากสกัดชั้นตะกอนไขมันของบอดักไขมัน โรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง ด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry(GC-MS) โดยศูนย์วิทยาศาสตร์ฮาลาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	123
ง2	โครมาโทแกรมของน้ำมันปลาที่ได้จากสกัดชั้นตะกอนไขมันของบอดักไขมัน โรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง ด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry(GC-MS) โดยศูนย์วิทยาศาสตร์ฮาลาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	123
ง3	โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลน้ำมันปลาจากกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ที่สภาวะอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที (ตัวอย่างที่1)	124

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง4 โคโรมาโตรแกรมของไบโอดีเซลน้ำมันปลาจากกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ที่สภาวะอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอก- ไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที (ตัวอย่างที่2)	124
จ1 จุดเก็บตัวอย่างชั้นตะกอนไขมันบดักไขมันโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง	126
จ2 ตัวอย่างชั้นตะกอนไขมันปลาทะเลก่อนการสกัดแยกชั้นน้ำมันด้วยวิธีการเจียวด้วย ความร้อน	126
จ3 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลน้ำมันปลาด้วยกระบวนการ 2 ขั้นตอน	127
จ4 ขั้นตอนการล้างชั้นเมทิลเอสเทอร์(ชั้นไบโอดีเซล) ก่อนนำไปไล่ความชื้น	127
จ5 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล	128
จ6 เปรียบเทียบวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลและผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลน้ำมัน ปลา	128

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ASTM	=	American Society for Testing and Materials
AOAC	=	Association of Official Analytical Chemists
AOCS	=	American Oil Chemists Society
$^{\circ}\text{C}$	=	degree celsius
cSt.	=	centistokes
ρ	=	density
FAME	=	fatty acid methyl ester
FFA	=	free fatty acid
GC	=	gas chromatography
GC –MS	=	gas chromatography mass spectrophoyometry
g/l	=	gram per liter
g/ml	=	gram per milliliters
hr	=	hour
H_2O	=	water
H_2SO_4	=	sulfuric acid
KOH	=	potassium hydroxide
NaOH	=	sodium hydroxide
M	=	molar
N	=	normal
MeOH	=	methanol
NaOH	=	sodium hydroxide
%wt	=	percentage by weight
%v	=	percentage by volume

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ของเสียปลาทะเลจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง เพื่อผลิตไบโอดีเซล

Feasibility Study of Using Sea Fish Waste from Frozen Foods Factory to Produce Biodiesel

คำนำ

ปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต และการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศส่งผลทำให้ความต้องการใช้น้ำมันเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งประเทศไทยเองต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และกำลังประสบปัญหากับราคาน้ำมันของตลาดโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ตลอดเวลารวมทั้งปริมาณแหล่งน้ำมันสำรองของโลกเหลือน้อยลง จึงทำให้หลายประเทศพยายามหาแนวทางในการประหยัดพลังงานและแหล่งพลังงานทดแทนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากน้ำมัน เพื่อเป็นการรักษา เงินตราต่างประเทศ สร้างความมั่นคงและสามารถพึ่งพาตนเองในด้านของพลังงานภายในประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่นได้นำมาพัฒนาและปรับปรุงโครงสร้าง ประกอบกับปัญหาภาวะโลกร้อน (Global warming) ที่มีผลทำให้โลกเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น อุณหภูมิโลกสูงขึ้น ฤดูกาลเปลี่ยนแปลง ภูเขาน้ำแข็งละลาย เป็นต้น สาเหตุเกิดจาก มลภาวะทางอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นพลังงานทดแทนที่นำมาใช้จึงจำเป็นต้องเป็นพลังงานที่สะอาดเช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานจากก๊าซชีวภาพ พลังงานลม เอทานอล ไบโอดีเซล เป็นต้น เพื่อลดการปลดปล่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และสารซีเอฟซี (CFC) ที่มีผลทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน ไบโอดีเซล เป็นอีกแนวทางหนึ่งเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยที่ไบโอดีเซลส่วนใหญ่สามารถผลิตได้จากน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันจากถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ ไขมันวัว ไขมันหมู และไขมันไก่ เป็นต้น รวมถึงน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้แล้ว

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารทะเลซึ่งขบวนการผลิตที่ได้จากอุตสาหกรรมเหล่านี้จะมีส่วนของเสีย และน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมัน เป็นองค์ประกอบ ซึ่งไขมันและน้ำมัน เป็นสารอินทรีย์ที่มีเสถียรภาพสูง ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน กลีเซอรอล สเตียรอยด์ กรดไขมัน (เกรียงศักดิ์, 2539) เป็นองค์ประกอบที่ไม่ละลายน้ำเป็นผลให้แยกชั้นกับน้ำ โดยไขมันและน้ำมันจะจับรวมตัวกันเป็นก้อนและลอยปกคลุม

ผิวหนังเป็นสาเหตุทำให้ออกซิเจนไม่ละลายลงไปในแหล่งน้ำ และ ต้องอาศัยระยะเวลาในการย่อยสลายทางชีวภาพยาวนาน และเมื่อของเสียเหล่านี้สะสมในแหล่งน้ำส่งผลทำให้น้ำเกิดการเน่าเสีย จึงจำเป็นต้องมีการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียออกจากกระบวนการดังกล่าว ก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพหรือก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งวิธีการกำจัดประกอบด้วย วิธีทางเคมี วิธีทางกายภาพ และชีวภาพ การกำจัดทางเคมีจะใช้สารเคมีเพื่อกำจัดไขมันและน้ำมัน ส่วนวิธีการกำจัดทางกายภาพ จะใช้วิธีการทำให้ลอยและใช้ถังดักไขมัน ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างสูง โดยใช้หลักการทำให้ไขมันและน้ำมันลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้า และกวาดไขมันและน้ำมันที่ลอยแยกชั้นกับน้ำออกไปทิ้ง และปัจจุบันการกำจัดชั้นของไขมันและน้ำมัน ยังไม่ถูกวิธีซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษขยะของเสียตามมา

เพื่อลดปัญหาจึงได้ศึกษาการนำของเสียไขมันและน้ำมันมาปรับปรุงกระบวนการใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อเป็นแนวทางในการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นและเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียเหล่านี้และเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มแหล่งพลังงานทดแทน

คำสำคัญ (keywords): ไบโอดีเซล(Biodiesel), น้ำมันและไขมันปลา(Fat and Fish Oil), ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Tranesterification), ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification), การกำจัดของเสีย (Waste Disposal), น้ำเสีย (Wastewater), การนำกลับมาใช้ประโยชน์ (Recycle)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในของเสียปลาทะเลจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง มาผลิตน้ำมันไบโอดีเซล
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันปลาที่สกัดจากของเสียปลาทะเล
3. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลและผลผลิตของไบโอดีเซลจากน้ำมันปลาทะเล
4. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปลาทะเล

ขอบเขตของงานวิจัย

1. การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันจากชั้นไขมันของบ่อตกไขมันระบบบำบัดน้ำเสีย จากโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง มาผลิตเป็นไบโอดีเซล ภายในห้องทดลอง โดยใช้ ปรุฏิกิริยาแบบ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนเอสเทอร์ฟิเคชัน และขั้นตอนทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
2. ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองน้ำมันปลาจากการสกัดชั้นไขมันที่แยกออกจากน้ำเสียก่อนที่จะเข้าระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง แห่งหนึ่งในประเทศไทย
3. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันปลาทะเลที่สกัดได้จากชั้นไขมันที่แยกออกจากน้ำเสีย โดยวิเคราะห์ กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid), สaponification), ชนิดและปริมาณกรดไขมัน (fatty acid composition), จุดวาบไฟ, ความหนืด, ความหนาแน่น, ไอโอดีนัมเบอร์และ ค่าความร้อน
4. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปลาทะเล โดยศึกษาปัจจัยในขั้นตอนเอสเทอร์ฟิเคชันดังนี้
 - 4.1 ปริมาณกรดซัลฟูริกที่ 3 ถึง 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1 ถึง 4 ชั่วโมง
 - 4.2 อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเทียบกรดไขมันอิสระ ที่ 10:1, 15:1 และ 20:1 ที่อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 60, 70 และ 80 (± 2) องศาเซลเซียส

5. ปัจจัยในขั้นตอนทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ดังนี้

- 5.1 อัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันต่อเมทานอลที่ 3:1 ถึง 15:1
- 5.2 ปริมาณตัวเร่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.25 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- 5.3 อุณหภูมิทำปฏิกิริยาที่ 50 ถึง 75 (± 2) องศาเซลเซียส
- 5.4 ระยะเวลาทำปฏิกิริยาที่ 15 ถึง 60 นาที

6. การศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปลาทะเล โดยวิเคราะห์ ความหนืด (Viscosity), จุดไหลเท (Pour point), จุดขุ่น (Cloud point), จุดวาบไฟ (Flash point), ความหนาแน่น (Density), ค่าความร้อน (Heating value), ค่าความเป็นกรด (Acid value) ไอโอดีน, โมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์, ไตรกลีเซอไรด์, กลีเซอรินอิสระ, กลีเซอรินทั้งหมดและ เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์

การตรวจเอกสาร

1. น้ำมันและไขมัน

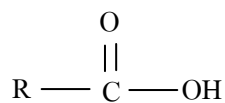
น้ำมันและไขมัน หรือลิพิด (Lipid) เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วย ธาตุคาร์บอนไฮโดรเจน ออกซิเจน เช่นเดียวกับสารประกอบคาร์โบไฮเดรต เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิต มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic Solvent) เช่น คลอโรฟอร์ม เบนซีน อีเธอร์ แอลกอฮอล์ และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ เป็นต้น ลิพิดทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของ เยื่อเซลล์ เป็นสารที่สะสมพลังงาน และทำหน้าที่สำคัญอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต วิตามินที่ละลายในไขมัน 4 ชนิด คือ วิตามิน A, D, E และ K ต่างก็เป็นอนุพันธ์ของลิพิด ลิพิดบางชนิดอยู่ร่วมกับโปรตีน ได้แก่ ไกลโปโปรตีนในเลือด ซึ่งทำหน้าที่ขนส่งลิพิดทางกระแสโลหิตไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

ลิพิด เป็นชื่อของกลุ่มชีวโมเลกุลที่มีสมบัติร่วมกัน คือ การไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อพิจารณาโครงสร้างโมเลกุลของไขมันและน้ำมันพบว่าส่วนใหญ่ของโครงสร้างเป็น ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ซึ่งมีสมบัติสำคัญ คือ ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ด้วยเหตุนี้ลิพิดจึงไม่ละลายน้ำ ลิพิดบางชนิดมีโครงสร้างบางส่วนแสดงถึงประจุ หรือ ความมีขั้ว (Polarity) หมู่เหล่านี้มีความชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงทำให้ลิพิดกลุ่มนี้มีทั้งชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ อยู่ในโมเลกุลเดียวกัน เรียกว่า โมเลกุลประเภทนี้ว่า แอมฟิไฟล์ (Amphiphile)

1.1 องค์ประกอบพื้นฐานของน้ำมันและไขมัน

น้ำมันและไขมันประกอบด้วยกรดไขมันเป็นหลัก น้ำมันและไขมันบางชนิดประกอบด้วยสารอื่นที่ทำให้ให้น้ำมันและไขมันมีคุณสมบัติต่างกันคือ (สรรเสริญ, 2531)

1.1.1 กรดไขมัน (Fatty acid) กรดไขมันเป็นองค์ประกอบของน้ำมันและไขมัน เป็นกรดอินทรีย์ที่มีไฮโดรคาร์บอนสายตรง ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนตั้งแต่ 4-24 อะตอม เรียงต่อกันด้วยพันธะคาร์บอน และมีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ เป็นหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ปลายด้านหนึ่ง ดังภาพที่ 1 ในธรรมชาติพบกรดไขมันอิสระได้น้อยมาก เพราะส่วนใหญ่กรดไขมันจะรวมตัวกับ แอลกอฮอล์ด้วยพันธะเอสเทอร์



ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างทั่วไปของกรดไขมัน

ที่มา: พจน์ และคณะ (2543)

กรดไขมันสามารถจำแนกตามสมบัติของสายไฮโดรคาร์บอนเป็น 2 ชนิด คือกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) หมายถึงกรดไขมันที่สายไฮโดรคาร์บอนเป็นแอลเคน (Alkane) ซึ่งประกอบด้วย อะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนที่จับกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด เช่น กรดปาล์มมิก (Palmitic acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) หมายถึง กรดไขมันที่สายไฮโดรคาร์บอนเป็นแอลเคน ซึ่งมีอะตอมของคาร์บอนบางอะตอมที่จับกันด้วยพันธะคู่ จำแนกย่อยออกตามลักษณะ โครงสร้างและจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลได้เป็น 3 พวก คือ กรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 คู่ กรดไขมันที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ และสารพวกไอโคซานอยด์ (Eicosanoid) ซึ่งน้ำมันที่ได้จากสัตว์ดิบก้นน้ำ เช่น น้ำมันเมล็ดถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม ไขมันวัว น้ำมันหมู หรือน้ำมันปลา เป็นต้นจะมีปริมาณของกรดไขมันที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันปลาชนิดต่าง ๆ

กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก)	น้ำมันตับปลาคอด	น้ำมันตับปลา Halibut	น้ำมันตับปลาทูน่า
C ₁₄	5.8	3.9	-
C ₁₆	8.4	15.1	17.9
C ₁₈	0.6	0.5	8.9
รวมทั้งหมด	14.8	19.5	26.8

ตารางที่ 1 (ต่อ)

กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก)	น้ำมันตับปลาคอด	น้ำมันตับปลา Halibut	น้ำมันตับปลาทูน่า
C ₁₄	0.2	-	-
C ₁₆	20.0	18.7	3.4
C ₁₈	29.1	34.4	23.5
C ₂₀	25.4	13.8	28.2
C ₂₂	9.6	13.6	18.1
รวมทั้งหมด	84.3	80.5	73.2

ที่มา: Tucker and Pigott (1992)

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดไขมันและจุดหลอมเหลวที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันต่างๆ

กรดไขมัน	ไขมัน วัว	น้ำมัน หมู	น้ำมัน มะพร้าว	น้ำมัน เมล็ดฝ้าย	น้ำมันปาล์ม (kernel)	น้ำมัน ปาล์ม	น้ำมัน ถั่วเหลือง
Caprylic C8:0	-	-	7.6	-	1.4	-	-
Capric C10:0	-	-	7.3	-	2.9	-	-
Lauric C12:0	-	0.3	48.2	-	50.9	0.1	-
Myristic C14:0	3.1	1.7	16.6	1.0	18.4	1.2	0.1
Myristoleic C14:1	0.4	0.2	-	-	-	-	-
Palmitic C16:0	29.1	26.2	8.0	25.0	8.7	46.8	10.5
Palmitoleic C16:1	34.0	4.0	1.0	0.7	-	3.8	-
Stearic C18:0	18.9	13.5	3.4	2.8	1.9	37.5	3.2
Oleic C18:1	44.0	42.9	5.0	17.1	14.6	10.0	22.3
Linoleic C18:2	0.3	9.0	2.5	52.7	1.2	-	54.5
Linolenic C18:3	-	0.3	-	-	-	-	8.3
จุดหลอมเหลว (°C)	40-48	33-46	23-28	-2 ถึง 2	24-28	27-50	-8 ถึง -18

ที่มา: นิธิยา (2548)

1.1.2 กลีเซอรอล หรือ กลีเซอริน (Glycerol) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมัน และไขมัน ควบคู่กับกรดไขมัน กลีเซอรอลเป็นแอลกอฮอล์ชนิดที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ (Three carbon hydric alcohol) หมายความว่า น้ำมันและไขมันเป็นเอสเทอร์ของแอลกอฮอล์ชนิดนี้ จึงเรียก น้ำมันและไขมันว่า กลีเซอไรด์ (Glyceride) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ตามจำนวนโมเลกุลของ กรดไขมันที่ไปทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล ดังภาพที่ 2 ดังนี้

1.1.2.1 โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) คือ กลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมัน 1 โมเลกุลจับอยู่ที่หมู่ไฮดรอกซิลของกรีเซอรอลตำแหน่งใดก็ได้เพียง 1 หมู่

1.1.2.2 ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) คือ กลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมัน 2 โมเลกุล จับอยู่ที่หมู่ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอลตำแหน่งใดก็ได้ 2 หมู่

1.1.2.3 ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) คือ กลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมัน โมเลกุลจับอยู่ที่หมู่ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอลตำแหน่งทั้ง 3 หมู่

1.1.3 สารประกอบอื่น ๆ ไขมันธรรมชาติอาจมีสารประกอบอื่น ๆ ประกอบอยู่ด้วย เช่น ไกลโคลิปิด หรือ เซเรโบไซด์ (glycolipid or cerebroside) ฟอสโฟกลีเซอไรด์ หรือ ฟอสฟาไทด์ (phosphaglyceride or phosphatide) และไลโปโปรตีน (lipoprotein)

1.1.4 องค์ประกอบของไขมันเป็นสารประกอบได้จากการไฮโดรไลซ์ไขมัน

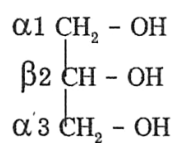
1.1.5 ไขมันอื่น ๆ เช่น สารประกอบคาโรทีน

1.2 การจำแนกประเภทของน้ำมันและไขมัน

ลิปิด หรือน้ำมันและไขมัน เป็นกลุ่มสารประกอบผสมจำนวนมากที่ไม่ได้สร้างมาจาก โมเลกุลหน่วยโครงสร้างเหมือนโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรต ในการจำแนกประเภทของลิปิด สามารถจำแนกตามองค์ประกอบทางเคมีได้ 4 ประเภท คือ

1.2.1 ลิปิดอย่างง่าย (simple lipid) ลิปิดกลุ่มนี้เป็นเอสเทอร์ที่เกิดจากการรวมตัวกัน ระหว่างไขมันกับแอลกอฮอล์ จำแนกย่อยออกตามชนิดของแอลกอฮอล์ได้ 2 ชนิด คือ น้ำมัน และ ไขมัน (Oil and Grease) กับไข (wax)

1.2.2 ลิปิดเชิงประกอบ (compound lipid) ลิปิดพวกนี้นอกจากจะประกอบขึ้นจาก กรดไขมันและแอลกอฮอล์แล้ว ยังมีหมู่สารประกอบอื่น ๆ มารวมด้วย ตัวอย่างเช่น ฟอสโฟลิปิด (phospholipid) ไกลโคลิปิด (glycolipid) สฟิงโกลิปิด (sphingolipid) เป็นต้น



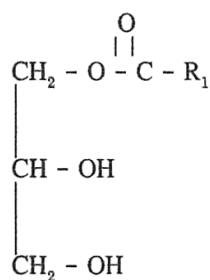
กลีเซอรอล
(Glycerol)



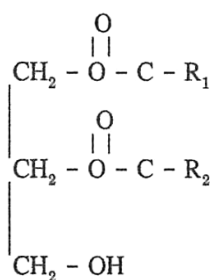
กรดไขมัน
(Fatty acid)



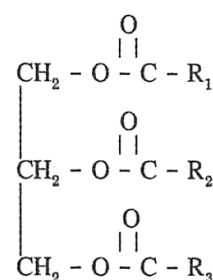
หมู่เอซิล
(Acyl group)



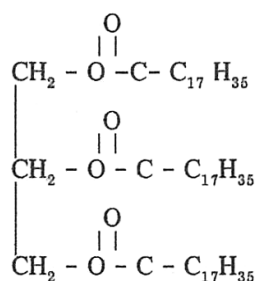
โมนอกลิเซไรด์
(Monoglyceride)



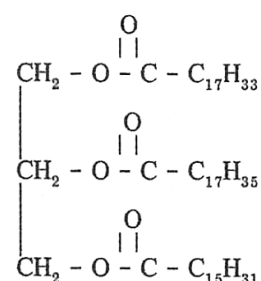
ไดกลีเซไรด์
(Diglyceride)



ไตรกลีเซไรด์
(Triglyceride)



Simple triglyceride
ไตรสเตียรีน
(Tristearin)



Mix triglyceride
แอลฟา-โอลีโอ-แอลฟาไพรม-ปิตา-พาลมิโทสเตียรีน
(α -Oleo- α - β -Palmitostearin)

ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างของ Lipid พวก Glyceride

ที่มา: พจน์ และคณะ (2543)

1.2.3 อนุพันธ์ของลิพิด (derived lipid) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลาย ลิพิดอย่างง่าย หรือลิพิดเชิงประกอบที่ยังคงมีสมบัติของความเป็นลิพิดอยู่ เช่น โมโนเอซิลกลีเซอรอล (monoacylglycerol) และ ไดเอซิลกลีเซอรอล (diacylglycerol) เป็นอนุพันธ์ที่ได้จากการย่อยไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) เป็นต้น

1.2.4 ลิพิดเบ็ดเตล็ด (miscellaneous lipid) หมายถึง ลิพิดที่ไม่สามารถจำแนกเข้ากลุ่มใด ๆ ในสามกลุ่มข้างต้นได้ ลิพิดพวกนี้ ได้แก่ แอลิเฟติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbon) สารประกอบเทอร์พีน (terpene) และสเตอรอยด์ (steroid)

1.3 คุณสมบัติทางกายภาพของไขมัน

คุณสมบัติทางกายภาพของไขมันขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล และชนิดของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบ ดังนี้

1.3.1 สี กลิ่น รส ไขมันที่บริสุทธิ์เป็นสารไม่มีสีไม่มีกลิ่น และไม่มีรส และมีสมบัติเป็นกลาง แต่ถ้าทั้งกรดไขมันไว้ในอากาศนานๆ จะถูกออกซิไดซ์โดยก๊าซออกซิเจน ทำให้มีกลิ่นเหม็นหืน

1.3.2 จุดหลอมเหลว หมายถึง อุณหภูมิที่ทำให้น้ำมันและไขมันเปลี่ยนสภาพจากของแข็ง เป็นของเหลว จุดหลอมเหลวของไขมันขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ ความยาวของโมเลกุลหรือจำนวนคาร์บอนอะตอมในโซ่ไฮโดรคาร์บอนจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับจุดหลอมเหลวและจำนวนพันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุลของกรดไขมันจะเป็นปฏิกิริยาผกผันกับจุดหลอมเหลวของไขมันนั้น ๆ

1.3.3 การละลาย ไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันโมเลกุลเล็ก ๆ สามารถละลายน้ำได้ การละลายจะอาศัยโครงสร้างของกรดไขมัน ซึ่งสามารถแบ่งกรดไขมันออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ละลายน้ำได้ เรียกส่วนนี้ว่า โพลาร์ (polar) และส่วนที่ไม่ละลายน้ำ เรียกว่า นอนโพลาร์ (non – polar) ซึ่งการละลายน้ำของกรดไขมันจะลดลงเมื่อมีกรดไขมันที่มีสายยาว (คาร์บอนมากกว่า 6 อะตอม) แต่ไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ จะสามารถละลายน้ำได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เบนซีน แอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม เฮกเซน เป็นต้น

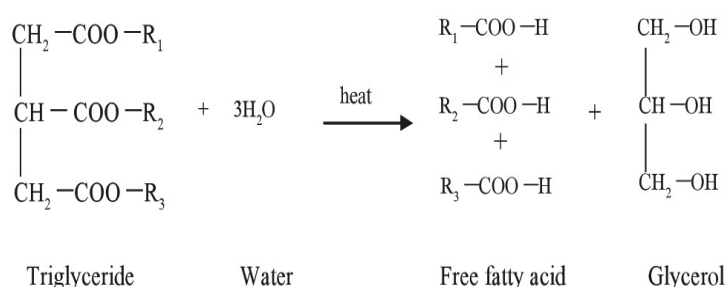
1.3.4 จุดเดือด ไขมันจะมีจุดเดือดสูงขึ้นตามจำนวนคาร์บอนอะตอมที่เพิ่มขึ้น

1.3.5 ความถ่วงจำเพาะ คือ ค่าของความหนาแน่นของน้ำมันและไขมันแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน ซึ่งน้ำมันและไขมัน มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ ไขมันแข็งมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.86 ส่วนไขมันเหลวจะมีความถ่วงจำเพาะ ประมาณ 0.92 – 0.94 ดังนั้นไขมันจึงลอยอยู่บนผิวน้ำ

1.4 คุณสมบัติทางเคมีของไขมัน

คุณสมบัติทางเคมีของไขมันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของไขมัน อาจจำแนกได้ดังนี้

1.4.1 ปฏิกิริยา Hydrolysis ไขมันจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยน้ำที่อุณหภูมิและความดันสูง แต่ถ้าเติมตัวคะตะไลต์ไขมันจะถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายขึ้น หรือการนำไปต้มที่ความดันปกติก็สามารถไฮโดรไลซ์ได้ ผลจากไฮโดรไลซ์คือไขมันกับกลีเซอรอลดังภาพที่ 3 การไฮโดรไลซ์ไขมันอาจทำได้โดยใช้เอนไซม์ไลเปส (lipase) ซึ่งจะให้กรดไขมันกับกลีเซอรอลเช่นเดียวกัน

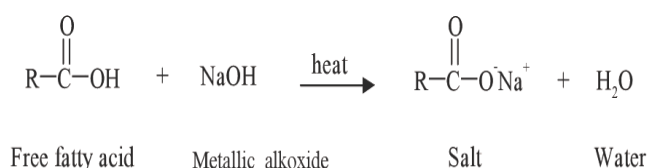


ภาพที่ 3 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์

ที่มา: Khan (2002)

1.4.2 ปฏิกิริยา Saponification เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันกับด่างได้

ผลิตภัณฑ์เป็นเกลือของกรดไขมัน เมื่อต้มไขมันกับด่างแก่ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) จะแตกสลายได้กลีเซอรอลกับเกลือของกรดไขมัน หรือสบู่ ดังภาพที่ 4 จากการที่ไขมันทำปฏิกิริยากับด่างแล้วให้สบู่ขึ้น ปริมาณของด่างที่ใช้สามารถนำมาคำนวณหาค่า saponification ซึ่งหมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับไขมันจำนวน 1 กรัม



ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชันจากกรดไขมันอิสระ

ที่มา: Khan (2002)

1.4.3 ปฏิกิริยา Acylation กลีเซอรไรด์ หรือไขมันที่กรดไขมันที่หมู่ไฮดรอกซิลอยู่

ในโมเลกุล hydroxylated fatty acid สามารถทำปฏิกิริยากับอะซิติคแอนไฮไดรด์ได้กรดอะซิติคและ Acetylated glyceride

1.4.4 ปฏิกิริยา Hydrogenation ไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว สามารถ

เกิดปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจน โดยมีนิกเกิลเป็นคะตะไลซ์ ได้กลีเซอรไรด์อิ่มตัว ซึ่งปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้จะบอกให้ทราบได้ว่ากลีเซอรไรด์หรือกรดไขมันนั้นมีความไม่อิ่มตัวมากหรือน้อย

1.4.5 ปฏิกิริยา Halogenation คลอรีน ไบรอน ไอโอดีน และไอโอดีนโบรไม (IBr)

สามารถเกิดปฏิกิริยาตรงพันธะคู่ของไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้เช่นเดียวกับไฮโดรเจน ซึ่งพันธะคู่ 1 พันธะ จะใช้ฮาโลเจน 2 อะตอมเสมอ ทำให้ไขมันนั้นกลายเป็นไขมันอิ่มตัวได้

1.4.6 ปฏิกิริยา Oxidation กลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว สามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนหรือโอโซนได้ โดยปฏิกิริยาจะเกิดตรงพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้สารพวกเปอร์ออกไซด์ (peroxide) และโอโซนไนด์ (ozonide) ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสารอื่นอีกหลายชนิดเป็นผลให้ไขมันมีความเหนียว ประโยชน์ในการทำพอกสีทา และน้ำมันชักเงา เป็นต้น

1.4.7 ปฏิกิริยาของกลีเซอรอล กลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบของไขมันและลิปิดอื่นๆ อีก บางชนิดเมื่อออกซิไดซ์กลีเซอรอลด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในสารละลายที่เป็นด่างและมีเกลือของเหล็กอยู่ด้วย จะได้กริเซอริกอัลดีไฮด์ และไดไฮดรอกซีอะซิโตนเกิดขึ้น

1.4.8 การเหม็นหืน (Rancidity) การเหม็นหืนของไขมันเกิดจากไขมันถูกออกซิไดซ์ในอากาศ เนื่องจากไขมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบ การออกซิไดซ์จะเกิดตรงพันธะคู่ของกรดไขมัน จะได้สารพวกเปอร์ออกไซด์ แล้วจะสลายตัวไปเป็นสารประกอบอัลดีไฮด์ที่มีกลิ่นและรสไม่ดี

2. ปัญหาที่เกิดจากน้ำมันและไขมันและการกำจัด

2.1 ปัญหาที่เกิดจากน้ำมันและไขมัน

น้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียส่วนใหญ่เกิดจากการใช้วัตถุดิบในการประกอบอาหาร เช่น เนย น้ำมันหมู น้ำมันและไขมันพืช เนยเทียม ไขมันพืช ผลไม้บางชนิด ฯลฯ และกิจกรรมการใช้น้ำของมนุษย์ ได้แก่ น้ำเสียจากการประกอบอาหาร น้ำล้างภาชนะ อุปกรณ์ประกอบอาหาร เป็นต้น น้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันและไขมันเหล่านี้มีแหล่งกำเนิดจากบ้านเรือนอาคารที่พักอาศัย โรงพยาบาล ภัตตาคาร ร้านจำหน่ายอาหาร แผงลอยจำหน่ายอาหาร โรงงาน สถานประกอบการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โรงงานผลิตอาหาร และภัตตาคารจำหน่ายอาหารขนาดใหญ่ จะมีปริมาณน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนออกมากับน้ำเสียในปริมาณที่สูง

ปัญหาที่เกิดจากปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำเสียก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังนี้

2.1.1 ทำให้เกิดปัญหาต่อระบบการระบายน้ำ น้ำมันและไขมันจะพอกตัวและสะสมอยู่ในท่อระบายน้ำทำให้เกิดการอุดตันระบายน้ำไม่สะดวกส่งผลให้มีน้ำเสียขังในบริเวณที่ประกอบอาหารเกิดการปนเปื้อนในกระบวนการประกอบอาหารได้ง่าย

2.1.2 ทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง เนื่องจากน้ำมันและไขมันในน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ จะไปรบกวนการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำโดยคราบน้ำมันและไขมัน จะเคลือบอยู่บนผิวน้ำ ขัดขวางการเติมออกซิเจนส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง ทำให้เกิดการเน่าเสีย มีกลิ่นเหม็น ก่อให้เกิดเหตุรำคาญ สิ่งมีชีวิตในน้ำตาย หรือลดน้อยลง ระบบนิเวศเปลี่ยนแปลงไป เกิดผลกระทบต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์

2.1.3 ก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบบำบัดน้ำเสีย โดยน้ำมันและไขมันในน้ำเสียที่ปล่อยเข้าสู่ระบบจะไปยี้ดเกาะติดอุปกรณ์ต่างๆหรือในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการเลี้ยงจุลินทรีย์แบบยี้ดติดกับตัวกลางน้ำมันและไขมันจะไปแย่งที่ยี้ดเกาะติดกับตัวกลางแทนจุลินทรีย์ ทำให้การทำงานของระบบล้มเหลว นอกจากนี้ยังเป็นอุปสรรคที่สำคัญในการทำความสะดวกอุปกรณ์ของระบบทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียลดลง

2.1.4 ก่อให้เกิดความสกปรก ทำลายทัศนียภาพที่สวยงาม

2.2 การกำจัดน้ำมันและไขมัน

ไขมันและน้ำมัน หากไม่ได้รับการจัดการที่เหมาะสมก่อนปล่อยทิ้ง หรือเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดไขมันและน้ำมันออกจากน้ำเสีย ซึ่งมีอยู่หลายวิธีดังต่อไปนี้ (เกรียงศักดิ์, 2539)

2.2.1 การเติมคลอรีน เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการกำจัดไขมันต่าง ๆ ในน้ำเสีย คลอรีนที่ใช้ในการเติมลงไปอาจเป็นสารละลายโดยเติมสารละลายคลอรีนลงไปในถังตกตะกอนแรก หรือในถังเติมอากาศ ประมาณ 2 ถึง 5 มก./ลิตร

2.2.2 การเติมคลอรีนรวมกับการเป่าฟองอากาศ ซึ่งเป็นวิธีที่ดีกว่าการเติมคลอรีนอย่างเดียว สำหรับการกำจัดไขมันออกจากน้ำเสีย ซึ่งระบบนี้จะเป็นระบบที่ใช้ก๊าซคลอรีนผสมกับอากาศเพื่อเป่าลงในถังเป่าอากาศโดยทั่วไปแล้วจะใช้คลอรีนประมาณ 2 ถึง 10 มก./ลิตร

2.2.3 การทำให้ลอย (Floatation) การทำให้ลอยเป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันมากสำหรับการกำจัดน้ำมันและไขมันซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย และมีประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันและน้ำมันค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น กระบวนการทำให้ลอยนี้มีหลักการ คือ นำพวกน้ำมันหรือไขมันซึ่งมีน้ำหนักเบาให้ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ จากนั้นใช้วิธีการกวาด น้ำมันหรือไขมันที่อยู่บริเวณผิวน้ำออกจากถัง การทำให้ตะกอนลอยมี 3 วิธี

2.2.3.1 Dissolve-air floatation หลักการของวิธีแรกนี้คือเป่าอากาศลงในเสียน้ำใต้ความดัน 2-3 บรรยากาศ จากนั้นปล่อยน้ำมันให้อยู่ในสถานะของความดันบรรยากาศ และวิธีการหมุนเวียนความดันภายในถังความดันมีประมาณ 2.8 ถึง 3.6 กก.ต่อตร.ซม. ซึ่งใช้เวลาเก็บกักของน้ำในถังความดันประมาณ 2-4 นาที ให้อากาศละลายอยู่ในน้ำ จากนั้นจึงปล่อยน้ำออก

2.2.3.2 Air Floatation หลักการคือ การเติมอากาศหรือเป่าอากาศโดยตรง ณ ความดันบรรยากาศในการเป่าอากาศจะให้เกิดฟองอากาศที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของฟองอากาศประมาณ 2-3 มม. นำพวกตะกอนต่าง ๆ ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ จากนั้นพวกตะกอนที่ลอยขึ้นมาจะถูกกวาดทิ้งออกไป

2.2.3.2 Vacuum Floatation หลักการคือ เป่าอากาศลงในน้ำเสียนจนถึงจุดอิ่มตัว ซึ่งมีอยู่ 2 วิธีคือ เป่าอากาศลงในน้ำเสียโดยตรง และวิธีการปล่อยให้อากาศเข้าไปสู่เครื่องสูบน้ำเอง ระบบนี้จะใช้ถังปิดซึ่งจะเก็บน้ำที่ถูกเป่าอากาศจนถึงจุดอิ่มตัวขณะนี้น้ำภายในถังจะมีสภาพเป็นสุญญากาศเมื่อถังนี้ได้ถูกเปิดออกโดยใช้ตัวควบคุมแล้ว อากาศที่ละลายอยู่ในน้ำก็จะถูกแยกออกมาจากน้ำในลักษณะของฟองอากาศขนาดเล็กๆพาตะกอนต่างๆในน้ำเสียนลอยขึ้นมาบนผิวน้ำลักษณะฝ้าตะกอน (Scum) ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้โดยวิธีการกวาดและหรือสูบน้ำออก

2.2.4 การเพิ่มอุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดน้ำมัน คือ ถ้าอุณหภูมิของน้ำมันในน้ำเสียนสูงขึ้น ค่าความหนาแน่นของน้ำมันจะลดลง น้ำมันจะลอยตัวขึ้นมาได้

2.2.4 การขจัดไขมันในน้ำเสียได้ไหลลงสู่บ่อเปือกในสถานีสูบน้ำเสียเป็นประจำทำให้พวกไขมันเกาะตามกำแพงของบ่อ ปัญหานี้อาจแก้โดยการฉีดน้ำแรงๆ และ หรือการขจัด บริเวณที่มีไขมันออกจากน้ำเสีย

2.2.6 การเป่าอากาศ เป็นระบบที่ต้องใช้พลังงานมาก แต่จะทำให้การบำบัดน้ำเสียง่าย เพราะว่าไม่เพียงแต่สามารถกำจัดไขมันออกได้ ยังสามารถกำจัดพวกตะกอนหนักช่วยลดค่า BOD ช่วยลดค่า SS ช่วยควบคุมกลิ่นในระบบบำบัด ช่วยลดปริมาณตะกอนที่สะสมบริเวณกำแพงและบริเวณก้นบ่อเปือก ฯลฯ มีหลักการ คือ เป่าอากาศลงไปใต้น้ำ พวกฟองอากาศจะนำพวกไขมันต่างลอยขึ้นมาจากนั้นจึงทำการตักหรือกวาดพวกไขมันเหล่านี้ออกจากถังเป่าอากาศ

2.2.7 การกวาด (Skimming) เป็นระบบการกำจัดพวกสารต่าง ๆ ที่ลอยขึ้นมาจากน้ำเสีย และจากน้ำตะกอนชีวภาพ เป็นต้น ระบบการกวาดจะเป็นหนึ่งในหลายระบบของการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีกายภาพ ชนิดระบบการกวาดต่าง ๆ ที่ใช้ในงานบำบัดน้ำเสีย ดังนี้

2.2.7.1 Aerated Skimming Tanks ถึงชนิดนี้จะมีเวลาเก็บกัก 3-5 นาที และใช้ 0.375-0.06 ลูกบาศก์เมตรของอากาศ 1 ลูกบาศก์เมตรของน้ำเสีย เมื่อมีปริมาณของ Grease พอประมาณ และเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบอาจให้อากาศที่จะใช้เป่าลงในก๊าซคลอรีนประมาณ 1 - 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร

2.2.7.2 Rotating Radial Arm Skimming เครื่องกวาดชนิดนี้ นิยมใช้สำหรับกวาดพวก Scum ต่าง ๆ ในถังตกตะกอน โดยอาศัยมอเตอร์ทำการหมุนแขนกวาด Scum ไปรอบ ๆ ถังตกตะกอน เฉพาะบริเวณผิวน้ำ แล้วจึงทำการปล่อยเฉพาะ Scum ที่ถูกกวาดเหล่านี้ไหลลงท่อที่รับเฉพาะ Scum เท่านั้น เพื่อนำไปกำจัดทิ้งต่อไป

2.2.7.3 ตัวกวาดแบบธรรมดา ตัวกวาดชนิดนี้อาจทำด้วยวัสดุที่จัดหาได้ง่าย เช่น พลาสติก ยางไนรยนต์ ไม้ไผ่ เป็นต้น ตัวกวาดชนิดนี้จะใช้ได้กับทุกสภาวะอย่างเช่น มีน้ำมันจากเรือบรรทุกน้ำมันรั่วไหลทิ้งออกในทะเล ก็อาจใช้ตัวกวาดพลาสติกผูกด้วยเชือกกวาดมันที่ลอยทิ้งอยู่บนผิวน้ำทะเลให้รวมเข้ามาในบริเวณเดียวกัน เพื่อสะดวกในการกำจัดทิ้งต่อไป

2.2.7.4 Rotatable Slotted Pipe Skimmer มีลักษณะจะเป็นช่องๆ บนส่วนผิวของท่อและจะถูกติดตั้งบนผิวน้ำบริเวณทางออกของถังแยกน้ำมันออกจากน้ำทิ้ง ท่อที่ถูกเจาะเป็นช่องๆ นี้จะถูกหมุนให้ช่องดังกล่าวหันหน้ารับกระแสน้ำที่ไหลเข้ามา โดยมากแล้วน้ำมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำจะไหลเข้าท่อดังกล่าว จากนั้นน้ำมันที่ถูกแยกมานี้จะถูกถ่ายออกจากถังเพื่อนำมาใช้

2.2.7.5 Revolving Roll Skimmers มีลักษณะคล้ายเครื่องกวาด ชนิด Rotatable Slotted Pipe Skimmers เครื่องกวาดมีรูปทรงกระบอกติดตั้งไว้บนผิวน้ำ ผิวมีลักษณะเรียบจมอยู่ในน้ำอย่างน้อย 0.5 นิ้ว หลักการทำงาน คือ น้ำมันที่ลอยอยู่ใต้เกาะติดกับผิวทรงกระบอกซึ่งหมุนอยู่อย่างช้า ๆ โดยมีแผ่นมีชุดพวงน้ำมันที่เกาะติดอยู่บนผิวทรงกระบอกให้ออกเพื่อนำพวงน้ำมันเหล่านี้ไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ขึ้น

2.2.7.6 Belt Skimmers ระบบการทำงานของเครื่องกวาดมีหลักการ เช่นเดียวกับของ Revolving Roll Skimmers โดยใช้สายพานเป็นตัวจับน้ำมันสายพานมีขนาดกว้างตั้งแต่ 300-900 มม. สามารถเก็บน้ำมันประมาณ 5-10% ข้อดีของเครื่องกวาดชนิดนี้ คือ สามารถทำงานได้ถึงแม้ระดับน้ำในบ่อหรือถังจะเปลี่ยนแปลงไปมาก สำหรับข้อเสีย คือ พวงน้ำมันหรือ Grease บางชนิดไม่สามารถเกาะสายพานได้ง่าย

2.3 การบำบัดน้ำเสีย

2.3.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปมีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ คือ เพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ (BOD) เพื่อลดปริมาณสารแขวนลอยในน้ำและลดปริมาณของเชื้อโรคซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียมี 3 กระบวน ดังนี้ (กรรณิการ์, 2543)

2.3.1.1 กระบวนการทางกายภาพ (Physical unit operation) ใช้ในการกำจัดของแข็งที่ไม่ละลายน้ำโดยใช้เครื่องมือในการแยกของแข็งออกจากน้ำเสียให้ของแข็งตกตะกอน การดักด้วยตะแกรง การกวาด การทำให้ลอย การตกตะกอน การแยกด้วยแรงเหวี่ยง และการกรอง

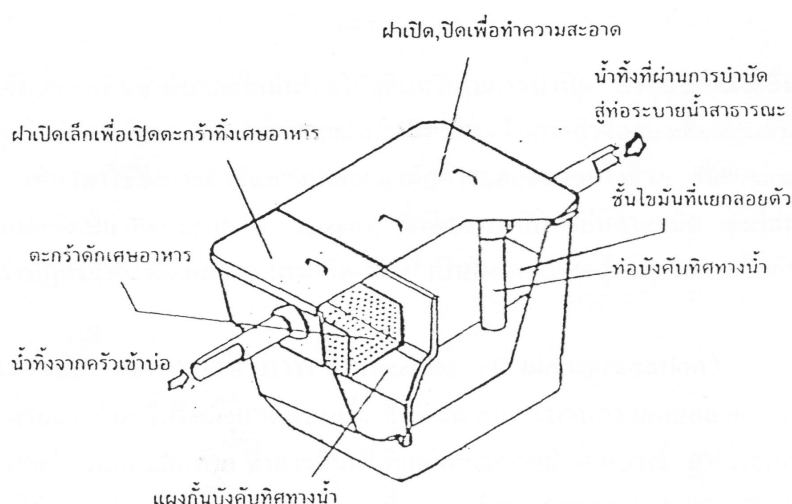
2.3.1.2 กระบวนการทางเคมี (Chemical unit process) ใช้ในการกำจัดมลสารประกอบต่างๆ ซึ่งส่วนมากเป็นสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ การทำให้เป็นกลาง การทำให้เกิดตะกอน การเพิ่มและลดออกซิเจน การดูดซับและการช่วยให้ตกตะกอน

2.3.1.3 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (Biological unit process) ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ซึ่งมีทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน

2.3.2 การบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมัน

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันนั้นส่วนใหญ่มักจะใช้ทั้งกระบวนการทางกายภาพ และกระบวนการทางชีวภาพ ดังนี้

2.3.2.1 การบำบัดคุณภาพปฐมภูมิ (primary Treatment) เป็นวิธีการแยกเอาของแข็งแขวนลอยออกไปจากส่วนที่เป็นน้ำในน้ำโสโครก ทั้งนี้ไม่รวมถึงการแยกพวกที่เป็นคอลลอยด์หรือที่ละลายอยู่ในน้ำโสโครกนั้น ถ้าไม่มีการแยกไขมันที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ โดยเฉพาะในถังย่อยตะกอน หรือการกำจัดน้ำเสียโดยใช้หลุมซึม ไขมันจะไปอุดตันช่องว่างในดินทำให้น้ำซึมผ่านได้ยาก การนำไขมันออกจากน้ำโดยใช้ถังดักไขมัน (Grease Trap) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตัวอย่างของถังดักไขมันสำเร็จรูป

ที่มา: สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม (2544)

2.3.2.2 การบำบัดคุณภาพน้ำขั้นทุติยภูมิ (Secondary treatment) เป็นการบำบัดทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ผ่านการบำบัดขั้นปฐมภูมิแล้ว โดยวิธีการบำบัดขั้นทุติยภูมินั้นประกอบด้วย การทำลายสารอินทรีย์ การทำให้ตกตะกอน แยกตะกอนที่เกิดขึ้นแล้วมาเชื้อโรค ซึ่งการกำจัดไขมันโดยใช้จุลินทรีย์ในการบำบัด ปัจจุบันได้รับความความสนใจมาก เนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำ และประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียค่อนข้างสูงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีที่นำมาใช้ซึ่งการกำจัดของเสียจะอาศัยการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์จะสร้างเอนไซม์ไลเปสที่สามารถเร่งการย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์เป็นโมโนกลีเซอรอลและกรดไขมัน

3. การผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง

กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็งในประเทศไทยนั้นมีจำนวนมาก ซึ่งประกอบด้วย การแปรรูปสัตว์ทะเลแช่เยือกแข็ง เช่น การแช่แข็ง กุ้ง ปลา หมึก เป็นต้น ซึ่งการผลิตสุริมก็เป็นกลุ่มอุตสาหกรรมแช่แข็งในรูปของเนื้อปลาแช่แข็งและเนื้อปลาสดโดยใช้วัตถุดิบปลาจากทะเลที่มีเนื้อขาวและราคาไม่แพง อาทิ ปลาทูลายแดง ปลาทูลายดำ ปลาจวด ปลาดาวหวาน ปลาไส้กรอก หรือปลาเหียน ปลาข้างเหลือง เป็นต้นโดยผ่านกระบวนการดังนี้ (สถาบันอาหาร, 2548)

1. นำวัตถุดิบล้างทำความสะอาด และขอดเกล็ดด้วยเครื่องขอดเกล็ด
2. ปลาที่ผ่านการขอดเกล็ดจะเข้าสู่ขั้นตอนการตัดหัว ควักไส้ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้แรงงานคนถือเป็นจุดที่ใช้แรงงานมากที่สุดในกระบวนการผลิต
3. จากนั้นนำไปล้างทำความสะอาด ก่อนเข้าเครื่อง Deboner ซึ่งเป็นเครื่องแยกเนื้อและก้าง หลักการทำงานของเครื่อง คือ ปลาที่ผ่านเข้ามายังเครื่องจะถูกบีบอัดผ่านรูบนผิวหน้าของลูกกลิ้งทรงกระบอกทำให้เนื้อปลาผ่านรูของลูกกลิ้งออกมาส่วนสิ่งที่ไม่ต้องการ เช่น หน้าง และก้าง จะค้างอยู่บนผิวหน้าของลูกกลิ้ง หลังจากผ่านขั้นตอนนี้แล้วอาจยังมีสิ่งปนเปื้อน เช่น ก้อนเลือด เศษก้างปลาขนาดเล็กติดอยู่แต่ยอมรับได้เนื่องจากสามารถแยกออกจากเนื้อปลาได้ในขั้นตอนถัดไป
4. เมื่อได้เนื้อปลาที่ผ่านกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออกแล้วก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการล้างเนื้อปลาซึ่งถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญกับคุณภาพของสุริม เนื่องจากการล้างน้ำจะเป็นการกำจัดเอาไขมัน

ใน เนื้อปลา รวมถึงกลิ่นคาวออก ในการล้างจะใช้เครื่อง Rotary Screen ลักษณะของเครื่องจะเป็น ถังที่ติดตั้งชุดกวน น้ำที่ใช้ในการล้างจะเป็นน้ำเย็น อุณหภูมิประมาณ 10°C และจะล้างทั้งหมด 3 ครั้ง

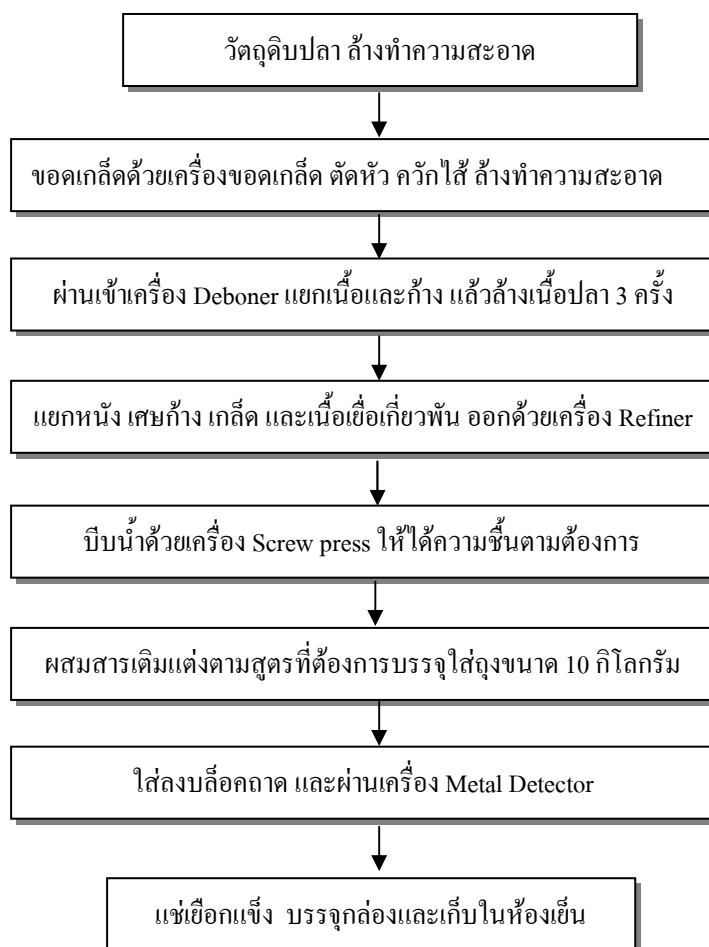
5. เมื่อล้างเนื้อปลาจนขาวสะอาดแล้วก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการทำเนื้อปลาให้บริสุทธิ์โดย แยก เศษก้าง เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เกล็ด หนัง และส่วนอื่นๆที่ไม่ต้องการออกโดยใช้เครื่อง Refiner ซึ่งมี ลักษณะของตะแกรงทรงกระบอกแนวนอน เมื่อทำการปั่น เนื้อปลาจะถูกดันผ่านตะแกรงออกไป ด้านนอกส่วนที่เป็นก้าง หนัง และส่วนอื่นๆจะติดอยู่ที่แกนกลางและถูกดันออกที่ตอนท้ายของ เครื่อง

6. หลังจากนั้นนำเนื้อปลามาแยกน้ำบางส่วนออกเพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 80-84% โดยเครื่อง Screw Press

7. เมื่อได้เนื้อปลาสดที่มีความชื้นตามต้องการก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการเติมสารเติมแต่งเพื่อ ป้องกันการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนซึ่งสารที่ใส่โดยทั่วไปได้แก่ น้ำตาล ซอร์บิทอลและ สารประกอบ ฟอสเฟต แล้วจึงนำไปบรรจุใส่ถุงขนาด 10 กิโลกรัม และอัดลงบล็อกลาดเพื่อเข้าสู่ ขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง

8. การแช่เยือกแข็งมีการใช้เทคโนโลยี 2 แบบคือ Air Blast และ Contact Plate Freezer สำหรับ Air Blast จะเป็นการนำเนื้อสุริมิที่บรรจุและอัดในถุงพลาสติกวางบนถาด และนำเข้าห้อง เย็นที่มีการปล่อยอากาศเย็นอุณหภูมิ -40°C โดยมีการเพิ่มอัตราเร็วในการหมุนเวียนอากาศเพื่อให้ ผลิตภัณฑ์เย็นเร็วขึ้น ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมงครึ่ง ส่วนการแช่แข็งแบบ Contact Plate Freezer ผลิตภัณฑ์จะถูกบรรจุเหมือนการแช่แข็งแบบ Air Blast แต่การแช่แข็งแบบ Contact Plate Freezer จะเป็นการใช้แผ่นโลหะที่มีความเย็นสูงสัมผัสกับผลิตภัณฑ์ โดยจะมีการใช้สารให้ความเย็น เช่น แอมโมเนีย ฟรีออน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์เย็นเร็วขึ้น

9. นำเนื้อปลาสดที่ออกจากเครื่องแช่แข็งผ่านเข้าเครื่องตรวจจับโลหะ (Metal Detector) แล้วบรรจุใส่กล่องกระดาษลูกฟูก นำไปเก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18°C เพื่อรอจำหน่าย



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการผลิตซูริมีอาหารทะเลแช่แข็ง

ที่มา: สถาบันอาหาร (2548)

4. การสกัดไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันที่บริสุทธิ์ไม่มีในธรรมชาติเพราะต้องสกัดแยกออกจากวัตถุดิบที่มีปริมาณไขมันหรือน้ำมันสูง ๆ เช่น เมล็ดถั่วต่าง ๆ เมล็ดพืชบางชนิด เนื้อเยื่อไขมันสัตว์ต่างๆ วิธีการสกัดแยกไขมันและน้ำมันออกจากวัตถุดิบจะมีวิธีเฉพาะสำหรับวัตถุดิบแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะ และสมบัติของวัตถุดิบนั้นๆ โดยแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้ (เนื้อทอง, 2549)

4.1 การใช้ความร้อน เรียกว่า การเจียวหรือการเรนเดอร์ริง (Redering)

การใช้ในการแยกไขมันและน้ำมันจากสัตว์ได้แก่ น้ำมันหมูและไขวัว ใช้ในการผลิตไขมันจากปลาและสัตว์น้ำ ในอุตสาหกรรมอาจทำได้ 2 วิธี คือ แบบแห้ง (Dry rendering) และแบบเปียก (Wet rendering)

4.1.1 แบบแห้ง (Dry rendering) เป็นวิธีการแยกสกัดแบบไม่ต่อเนื่อง (batch sale) ที่ให้ความร้อนในหม้อเปิดที่ 115 องศาเซลเซียส เป็นวิธีที่ยังคงใช้กันอยู่ แต่ถ้าเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จะใช้หม้อนิ่งความดัน (autoclave) ที่มีอุปกรณ์ในการกวนภายใต้ระบบสุญญากาศที่ 115 องศาเซลเซียส จะได้น้ำมันที่แยกออกจากกากโดยการกรองหรือใช้เครื่องเหวี่ยงแยก

4.1.2 แบบเปียก (Wet rendering) เป็นวิธีการแยกสกัดทั้งไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่อง ในระบบที่ไม่ต่อเนื่องกรณีของไขมันหมูจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าคือ 95 องศาเซลเซียส และเติมน้ำ 10-20% วิธีนี้นิยมใช้กับไขวัวและแกะโดยให้ความร้อนประมาณ 50 องศาเซลเซียส สำหรับอุตสาหกรรมใหญ่ขึ้นจะใช้หม้อนิ่งหรือที่เรียกว่า digester ให้ความร้อนโดยการพ่นด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ไขมันที่ได้จากวิธีนี้จะมีสีอ่อนและกลิ่นไม่แรงไม่จำเป็นต้องฟอกสี วิธีนี้ใช้ผลิตไขมันจากสัตว์ทะเลด้วย ในการสกัดไขมันจากสัตว์โรงงานที่ทันสมัยนั้นจะใช้ระบบต่อเนื่อง สามารถผลิตไขมันที่มีกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 0.5 % โดยให้ความร้อนแก่วัตถุดิบก่อนจนถึง 60 องศาเซลเซียส แล้วป้อนเข้าสู่หม้อต้มไอน้ำที่ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นปั๊มไปแยกน้ำมันและกากออกด้วยเครื่องเหวี่ยงแยก (decanting centrifuge)

4.2 การบีบหรือใช้แรงอัด (Mechanical expression)

ใช้เครื่องบีบด้วยแรงอัดสูง นิยมใช้กับวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำมันมาก เช่น มะกอก ถั่วลิสง และเนื้อมะพร้าวแห้ง เครื่องมือที่ใช้มี 2 ชนิดคือเครื่องบีบไฮดรอลิก (Hydraulic Press) ซึ่งปัจจุบันมีใช้น้อยและแบบสกรู (screw press or expeller) แบบไฮดรอลิกนั้นเมื่อบีบน้ำมันหมดแล้วจะเอากากออกทุกครั้งไปส่วนแบบสกรูจะทำการป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องบีบติดต่อกันตลอดเวลาโดยไม่ต้องเสียเวลาหยุดเครื่องอาจใช้วิธีบีบเพื่อแยกน้ำมันออกเพียงบางส่วน (pre-pressing) ให้เหลือน้ำมัน 10-20% ในกาก แล้วใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายอีกต่อหนึ่งวิธีนี้สามารถบีบน้ำมันออกจนเหลือน้ำมันในกาก 3%

4.3 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction)

ตัวทำละลายที่ใช้ต้องมีสมบัติเป็นตัวทำละลายไขมันที่ดีและไม่เป็นพิษโรงงานทั่วไปใช้สารเฮกเซน (n-hexane) ที่มีช่วงของจุดเดือด 67-70 องศาเซลเซียส เป็นตัวทำละลาย แต่ในประเทศยุโรปนิยมใช้ไซโคลเฮกเซน (cyclohexane) ซึ่งมีจุดเดือด 72-80 องศาเซลเซียส เนื่องจากปัญหาเรื่องราคาและปริมาณตัวทำละลายที่นับวันจะขาดแคลน ผู้ผลิตจะต้องพิจารณาเรื่องทางเลือกแบบของโรงงานเพื่อให้มีการสูญเสียตัวทำละลายน้อยที่สุด เครื่องสกัดที่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องมี 2 แบบ คือ

4.3.1 Percolation extractor ตัวทำละลายหรือมิสเซลลา (miscella) ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีน้ำมันละลายอยู่จะถูกปั๊มไปพรมลงบนวัตถุดิบที่ผ่านตามสายพานที่มีลักษณะเป็นตะแกรง (perforated plate) ซึ่งจะผ่านลงไปยังที่รองรับแล้วถูกดูดกลับมาใหม่เพื่อใช้สกัดน้ำมันจากวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำมันสูง

4.3.2 Immersion extractor วัตถุดิบเคลื่อนที่ผ่านตัวทำละลายจำนวนมาก วัตถุดิบ (Flake) จะถูกป้อนเข้าทางตอนบนของเครื่องสกัดผ่านสวนทางกับตัวทำละลายที่ป้อนเข้าสู่เครื่องทางด้านล่าง จากกระบวนการสกัดจะได้มิสเซลลาส่งไปกลั่นแยกเอาตัวทำละลายออกจะได้ น้ำมันดิบ (crude oil) ตัวทำละลายที่กลั่นได้นำกลับมาใช้ในการสกัดได้อีก ส่วนกากนำไปอบไล่ตัวทำละลายเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ การอบกากด้วยความร้อนยังช่วยทำลายสารยับยั้งการเจริญและลดความชื้นให้เหลือ 10-12 %

5. ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล คือ เชื้อเพลิงเหลวชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ น้ำมันพืช หรือ สัตว์ที่ใช้แล้ว มาผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกับแอลกอฮอล์ (เมทิลแอลกอฮอล์ หรือ เอทิลแอลกอฮอล์) เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงโมเลกุลเล็กลงอยู่ในรูปของเอทิลเอสเทอร์ (ethyl esters) หรือ เมทิลเอสเทอร์ (methyl esters) ซึ่งจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล สามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลหรือเติมเป็นส่วนผสมในดีเซลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์แถมยังให้พลังงานได้เหมือนกับน้ำมันดีเซลปกติด้วย (มูทิตา และคณะ, 2545)

ซึ่งไบโอดีเซลที่ได้จากการเปลี่ยนรูปไขมันและน้ำมันพืชหรือสัตว์ด้วยกระบวนการทางเคมี ถือว่าเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือก (alternative fuel) ที่สามารถใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยมีข้อดี ดังนี้ (ปิยะ และ ประพศติ, 2538)

1. ไบโอดีเซลสามารถเผาไหม้ได้สะดวกกว่าน้ำมันดีเซลถึงร้อยละ 75 ทำให้ลดปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และเขม่าที่ออกจากท่อไอเสีย
2. ไบโอดีเซลไม่ปล่อยสารประกอบของกำมะถัน เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพราะไบโอดีเซลเป็นตัวหล่อลื่นที่ดีจึงไม่ต้องผสมกำมะถัน ขณะที่น้ำมันดีเซลจำเป็นต้องผสม กำมะถันเพื่อเป็นตัวหล่อลื่นในเชื้อเพลิง
3. ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่สกัดจากสิ่งมีชีวิต ไอเสียที่เกิดขึ้นจึงไม่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในชั้นบรรยากาศเหมือนการใช้น้ำมันดีเซล เป็นการลดปฏิกิริยาเรือนกระจกที่ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น และยังทำให้สารบางตัวของชั้นโอโซนในบรรยากาศลดลงเกือบครึ่งหนึ่งของการใช้น้ำมันดีเซล
4. ไบโอดีเซล เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถทำให้ลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์
5. กลิ่นไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลไม่น่ารังเกียจ และไม่ทำให้เกิดการระคายเคือง
6. ไบโอดีเซลสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลทุกชนิด ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้เท่าๆ กับการใช้ดีเซลปกติ

ข้อจำกัดในการใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

1. การใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ไบโอดีเซลมีค่าความร้อนประมาณร้อยละ 79-84 ของน้ำมันดีเซล ซึ่งมีความร้อน 46800 กิโลจูลต่อกิโลกรัม
2. ต้องพิจารณาถึงเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันดีเซลผสมกับไบโอดีเซล ต้องไม่สูงกว่า 25 กรัม/ลูกบาศก์เมตร ในขณะที่น้ำมันดีเซลไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
3. การใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลจำเป็นต้องมีการดัดแปลงส่วนประกอบของเครื่องยนต์ที่เป็นยาง ซึ่งอาจถูกทำลายโดยไบโอดีเซลได้ ทำให้ใช้งานได้เฉพาะไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนผสมไม่มากนัก

5.1 คุณสมบัติของไบโอดีเซล

คุณสมบัติของไบโอดีเซลเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) มีโครงสร้าง C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมัน ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10-30 ตัว ทำให้มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกรดไขมันนั้น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวแตกต่างกัน น้ำมันจากพืชหรือสัตว์ที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูง จะมีค่าไอโอดีนต่ำ และเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลงหรือ มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ค่าไอโอดีนจะสูงขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3 (กองบรรณาธิการ, 2544) โดยทั่วไปจะทำการตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานดังนี้ (ประเสริฐ และคณะ, 2540; กัญจน, 2544; สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2550)

1. ความหนืด (Viscosity) หมายถึง ความหนืดเชิงจลศาสตร์ของน้ำมันดีเซล มีผลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดออกมาจากหัวฉีด ถ้าน้ำมันมีความหนืดเชิงจลศาสตร์สูง จะทำให้การฉีดเป็นฝอยไม่ดี ละอองน้ำมันมีขนาดใหญ่ ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ แต่หากน้ำมันมีความหนืดต่ำเกินไป จะทำให้น้ำมันที่พ่นออกมาเป็นฝอยละเอียดมาก แต่ไม่พุ่งไปไกลเท่าที่ควรทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เช่นกันเนื่องจากน้ำมันรวมตัวกับอากาศได้ไม่ดี ประสิทธิภาพด้านกำลังของเครื่องยนต์ก็จะลดลง

2. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) หมายถึง ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงต่อน้ำ โดยได้จากอัตราส่วนมวลต่อปริมาตรของเชื้อเพลิงต่อมวลของปริมาตรน้ำ ซึ่งค่านี้ จะขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำและเชื้อเพลิง ค่าความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซลควรมีค่าใกล้เคียงกันกับมาตรฐานของน้ำมันดีเซล เพื่อให้เกิดการผสมเข้ากันได้เป็นอย่างดีซึ่งหากค่าความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันมากกว่า 2 ชนิดที่ผสมกัน จะทำให้เกิดการนอนกันหรือผสมกันไม่ได้ ทำให้คุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันที่ผสมผิดเพี้ยน และไม่มีคุณภาพ

3. จุดวาบไฟ (Flash point) หมายถึง อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ไอของสารติดไฟและลุกไหม้เมื่อมีเปลวไฟอยู่เหนือผิวหน้าของสาร ถ้าเอาเปลวไฟออกสารจะไม่ลุกไหม้อีกต่อไปซึ่งจะมีความสำคัญในด้านการป้องกันอันตรายจากอัคคีภัยในการเก็บรักษาแต่ไม่มีผลต่อสมบัติการเผาไหม้และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ โดยปกติแล้วอุณหภูมิจุดวาบไฟของไบโอดีเซลจะมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่อย่างไรก็ตามไบโอดีเซลอาจมีจุดวาบไฟที่ต่ำกว่าปกติได้หากในผลิตภัณฑ์มี

ปริมาณแอลกอฮอล์จากกระบวนการผลิตหลงเหลือหรือเจือปนอยู่ซึ่งควรต้องกำจัดออกเพื่อให้มีจุดวาบไฟสูง ปลอดภัยในการขนส่งเชื้อเพลิง

4. จุดขุ่นมัวหรือจุดหมอก (Cloud point) หมายถึง อุณหภูมิที่เริ่มปรากฏให้เห็นกลุ่มหมอกจากการตกผลึกของแว็กซ์ (Wax) ในน้ำมันเชื้อเพลิงโดยการทำให้อุณหภูมิเย็นลงภายใต้การควบคุมอุณหภูมิ หากน้ำมันมีจุดขุ่นมัวหรือจุดหมอกสูงเกินไปจะทำให้เกิดการตกผลึกได้ง่ายมีแว็กซ์ก่อตัวอยู่ตามจุดต่างๆของท่อทำให้การฉีดพ่นน้ำมันให้เป็นฝอยได้ยากในห้องเครื่องยนต์ และเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จนกระทั่งก่อให้เกิดควันที่ท่อไอเสียได้

5. จุดไหลเท (Pour point) หมายถึง อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเป็นของเหลวพอที่จะไหลเมื่อได้รับความเย็นในเครื่องมือการหาจุดไหลเท ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงความสามารถในการไหลของน้ำมันภายในท่อน้ำมันของรถยนต์ได้ที่อุณหภูมิต่ำๆ น้ำมันเชื้อเพลิงไม่ควรมีจุดไหลเทสูงเนื่องจากในสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมในประเทศเขตนาวจะให้น้ำมันหนืดจนไม่สามารถไหลผ่านท่อต่างๆได้จนส่งผลให้เครื่องยนต์สตาร์ทไม่ติด อย่างไรก็ตามจุดไหลเทของไบโอดีเซลขึ้นกับความอึดตัวของน้ำมันโดยที่น้ำมันที่มีความอึดตัวสูง จะมีจุดไหลเทสูงเช่นกัน

6. ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and sediment) หมายถึง ปริมาณน้ำและอนุภาคของตะกอนหรือของแข็งในเกณฑ์ที่ต่ำที่สุดที่สามารถยอมรับได้ซึ่งโดยปกติตาม มาตรฐานสากลของไบโอดีเซลจะมีค่าเท่ากับน้ำมันดีเซล ซึ่งหากในน้ำมันมีปริมาณน้ำและตะกอนเจือปนอยู่สูงเกินไปอาจทำให้เกิดการสึกกร่อนของอุปกรณ์ต่างๆ ในเครื่องยนต์ทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์สั้นลง

7. ค่าซีเทน (Cetane number) ค่าซีเทนเป็นค่าดัชนีที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติในการจุดติดไฟ (Ignition quality) ของน้ำมันโดยที่น้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูงจะมีระยะเวลาในการจุดติดไฟสั้น ซึ่งจะช่วยให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่ายแม้ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้เครื่องยนต์ร้อนได้เร็วขึ้นโดยไม่เกิดการสะดุด ไม่เกิดควันขาว คราบยางเหนียว (Varnish) และคราบเขม่าในเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตามน้ำมันที่มีค่าซีเทนสูงเกินไปอาจทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จนกระทั่งทำให้เกิดควันที่ท่อไอเสียได้

8. กากคาร์บอน (Carbon Residue) คือ ปริมาณของสารที่เหลือตกค้างอยู่หลังจาก น้ำมันดีเซลได้ระเหยออกไปหมดแล้วที่อุณหภูมิสูงๆ ถ้าน้ำมันมีค่าของกากคาร์บอนสูงเกินไปก็จะเป็นไปได้ที่จะเกิดคราบเขม่าสะสมในห้องเผาไหม้ได้มาก และไอเสียมีควันดำมากด้วย

9. ปริมาณกำมะถัน (Sulfur) กำมะถันในน้ำมันดีเซลเมื่อเผาไหม้กับอากาศ จะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำหรือความชื้นกลายเป็นกรดกำมะถัน กัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ ทำให้เครื่องยนต์สึกหรอเร็วกว่าปกติ การสึกหรอนี้จะไม่มีมากถ้าเครื่องยนต์ทำงานเต็มกำลังความเร็วคงที่ และอุณหภูมิการทำงาน of เครื่องยนต์สูงๆ เช่น เครื่องยนต์เรือเดินทะเลหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโรงงาน เครื่องยนต์ประเภทนี้สามารถใช้ น้ำมันดีเซลที่มีกำมะถันสูงๆ ได้

10. การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip corrosion) แสดงการกัดกร่อนของน้ำมันต่อโลหะที่ใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ดีเซลเนื่องจากปริมาณกรด เช่น กรดไขมันอิสระ และสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำมัน ซึ่งค่าการกัดกร่อนนี้มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์

11. ค่าไอโอดีน (Iodine value) ค่าไอโอดีนแสดงพันธะคู่ในน้ำมัน ซึ่งเป็นลักษณะสมบัติเฉพาะของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลค่าไอโอดีนต่ำแสดงถึงการมีสัดส่วนกรดไขมันอิ่มตัวในโครงสร้างไบโอดีเซลสูงทำให้ไม่มีแนวโน้มในการเกิดออกซิเดชัน นอกจากนี้ค่าไอโอดีนยังมีความสัมพันธ์กับจุดหมอกควันซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มเกิดไขหรือจับตัวเป็นก้อนแข็งไบโอดีเซลที่มีค่าไอโอดีนต่ำจะมีจุดหมอกควันสูงซึ่งมีผลต่อการใช้งานสภาพอากาศเย็น

12. ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ แสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีดกระบอกสูบ และวาล์วภายในเครื่องยนต์

13. กลีเซอรินอิสระ (Free glycerin) ปริมาณกลีเซอรินที่ยังเหลืออยู่ในไบโอดีเซลเนื่องมาจากการแยกกลีเซอรินไม่สมบูรณ์ ทำให้มีปัญหาการแยกชั้นของกลีเซอรินในการจัดเก็บไบโอดีเซล รวมถึงการสะสมที่บริเวณด้านล่างของถังน้ำมัน มีผลต่อการอุดตันที่หัวฉีด

14. กลีเซอรินทั้งหมด คือ ปริมาณของกลีเซอรินอิสระ และปริมาณกลีเซอรินในโมเลกุลโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ที่เจือปนอยู่ในองค์ประกอบของไบโอดีเซล ซึ่งเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันไม่สมบูรณ์ มีผลก่อให้เกิดการอุดตันที่บริเวณหัวฉีดและไส้กรอง และปัญหาการใช้งานในสภาพอากาศเย็น

15. สารเติมแต่ง (Additive) สารเติมแต่งนั้นมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน การที่จะใช้สารเติมแต่งชนิดใดบ้างผสมในไบโอดีเซลขึ้นกับคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ และลักษณะสมบัติที่ต้องการเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน

16. การกลั่น(Distillation) หมายถึงค่าการระเหยเป็นไอน้ำของเชื้อเพลิง ปกติ ก่อนที่เชื้อเพลิงจะสันดาปได้ต้องมีการระเหยเป็นไอน้ำก่อน แต่ถ้าน้ำมันนั้นต้องใช้อุณหภูมิสูงจึงจะระเหยได้จะยากกว่าการสันดาป น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดใดมีค่าการระเหยเป็นไอน้ำจะก่อให้เกิดความล่าช้าในการเผาไหม้ สามารถวัดโดยการกลั่นวิธี ASTM D86 ซึ่งวิธีทดสอบคือการทำให้เชื้อเพลิงกลายเป็นไอ และจุดอุณหภูมิของไอเชื้อเพลิงสำหรับแต่ละเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันที่กลายเป็นไอน้ำไปตลอดช่วงการกลั่น ถ้าหากอุณหภูมิที่น้ำมันกลั่นออกมา 10 % สูงไปจะทำให้เครื่องยนต์ติดยาก ถ้าหากอุณหภูมิที่น้ำมันกลั่นออกมา 10% และ 80% ห่างกันเกินไปจะทำให้ช่วงเวลาการอุ่นเครื่องยนต์นานขึ้น ส่วนอุณหภูมิที่น้ำมันกลั่น 90% และจุดสุดท้ายของการกลั่นที่ค่าจะช่วยลดการเกิดเขม่าคาร์บอนและความสกปรกของน้ำมันเครื่องยนต์

17. ค่าความร้อน (Heating value) เป็นการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับออกซิเจนจะทำให้ได้พลังงานความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาเมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ มีหน่วยเป็นจูลต่อกิโลกรัมของเชื้อเพลิง ซึ่งค่าความร้อนมีผลโดยตรงกำลังที่ออกมาจากเครื่องยนต์

18. ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) แสดงถึงความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล และการเกิดปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลที่สมบูรณ์ มาตรฐานกำหนดให้มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก เมื่อปริมาณเอสเทอร์น้อยกว่าที่กำหนด ชีบออกถึงยังมีโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ หรือไตรกลีเซอไรด์อยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณสูงกว่าที่กำหนด ส่งผลให้ความหนืดของไบโอดีเซลมีค่าสูง และเกี่ยวเนื่องกับการอุดตันในหัวฉีด หรือกระบอกสูบของเครื่องยนต์

19. ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density)เป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบหัวฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ค่าความหนาแน่นเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของพลังงานเชื้อเพลิง เมื่อค่าความหนาแน่นมีค่ามากก็จะให้พลังงานความร้อนมากขึ้นตามไปด้วยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณเดียวกัน ความหนาแน่นของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณเมทานอลที่ตกค้างในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้ความหนาแน่นมีค่าต่ำอีกด้วย

20. ค่าของกรด (Acid value) แสดงความเป็นกรดในน้ำมันไบโอดีเซล เป็นผลมาจากปริมาณกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมันพืชและปริมาณกรดที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลซึ่งมีผลต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ ทำให้อายุการใช้งานของปั๊ม และไส้กรองน้ำมันลดลง นอกจากนี้ยังแสดงถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมัน เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกจากปริมาณน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันและผลของสภาวะในการจัดเก็บ

ตารางที่ 3 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ

น้ำมัน	ค่าไอโอดีน (g Iodine/100 g)	ค่าความหนาแน่น ที่ 21°C (กรัม/มล.)	ความหนืดที่ 21°C (เซนติพอยส์)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กิโลกรัม)
ถั่วเหลือง	124-136	0.918	57.2	39350
มะพร้าว	6-11	0.915	51.9	37540
ถั่วลิสง	86-10	0.914	67.1	39470
ปาล์ม	14-21	0.898	88.6	39550
เมล็ดปาล์ม	50-55	0.904	66.3	39720
เมล็ดสบู่ดำ	101	0.915	36.9 ที่ 38°C	39000
น้ำมันดีเซล	ND	0.845	3.8	46800

ที่มา: กองบรรณาธิการ (2544)

ปัจจุบันน้ำมันไบโอดีเซลมีการผลิตจำหน่ายเป็นการค้า ซึ่งต้องมีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด เช่น มาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ASTM D6751 และมาตรฐานยุโรป EN14214 สำหรับประเทศไทยได้มีประกาศ ของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2550 เรื่อง “กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล ประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน” โดยได้อ้างอิงจากมาตรฐานคุณสมบัติไบโอดีเซลของประเทศสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรป ดังตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลของประเทศสหรัฐอเมริกา

คุณสมบัติ	มาตรฐานทดสอบ	อัตราสูงต่ำ	หน่วย
จุดวาบไฟ	ASTM D 93	ไม่ต่ำกว่า 100	องศาเซลเซียส
น้ำ	ASTM D 1796	ไม่สูงกว่า 0.05	ร้อยละ โดยปริมาตร
กากคาร์บอน	ASTM D 4530	ไม่สูงกว่า 0.05	ร้อยละ โดยน้ำหนัก
ปริมาณเถ้า	ASTM D 874	ไม่สูงกว่า 0.02	ร้อยละ โดยน้ำหนัก
ความหนืด ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	ASTM D 445	1.9-6.0	เซนติสโตก
ปริมาณกำมะถัน	ASTM D 2622	ไม่สูงกว่า 0.05	ร้อยละ โดยน้ำหนัก
ค่าซีเทน	ASTM D 613	ไม่ต่ำกว่า 40	-
จุดไหลเท	ASTM D 2500	-	องศาเซลเซียส
ค่าความเป็นกรด	ASTM D 644	ไม่สูงกว่า 0.8	mgKOH/g

ที่มา: ธนาพงษ์ และคณะ (2546)

ตารางที่ 5 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันของประเทศไทย

คุณสมบัติ	มาตรฐานทดสอบ	อัตราสูง-ต่ำ	หน่วย
จุดวาบไฟ	ASTM D 93	ไม่ต่ำกว่า 120	องศาเซลเซียส
น้ำ	EN ISO 12937	ไม่สูงกว่า 0.05	ร้อยละโดยน้ำปริมาตร
กากคาร์บอน	ASTM D 4530	ไม่สูงกว่า 0.03	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ปริมาณกรดไขมันอิสระ	ASTM D 874	ไม่สูงกว่า 0.02	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C	ASTM D 445	3.5-5.0	เซนติสโตกส์
ปริมาณกำมะถัน	ASTM D 2622	ไม่สูงกว่า 0.001	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ค่าซีเทน	ASTM D 613	ไม่ต่ำกว่า 51	-
ความหนาแน่น ที่อุณหภูมิ 15 °C	ASTM D 1298	860-900	กิโลกรัม / ลูกบาศก์เมตร
เมทิลเอสเทอร์	EN 14103	ไม่ต่ำกว่า 96.5	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ค่าความเป็นกรด	ASTM D 664	ไม่สูงกว่า 0.5	mgKOH/g
ค่าไอโอดีน	EN 14111	ไม่สูงกว่า 120	g Iodine/100 g

ที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน (2550)

5.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

การนำน้ำมันพืชหรือไขมัน จากสัตว์มาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงมีอยู่ด้วยกัน 4 วิธีดังนี้

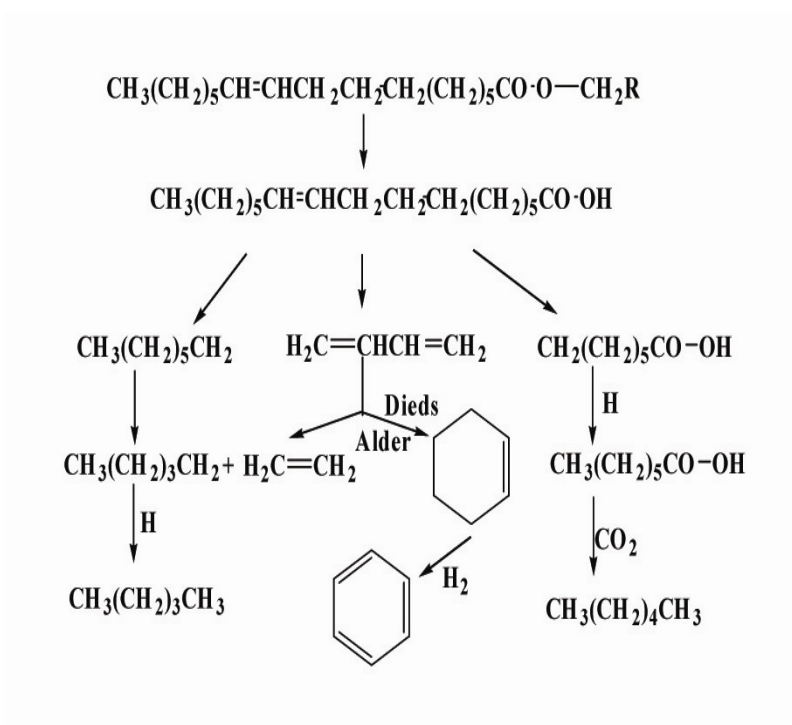
(Ma and Hanna, 1999)

1. การใช้โดยตรงและการผสม (Direct use and blending) เป็นการใช้น้ำมันพืชโดยตรงหรือ ใช้น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซล พบว่าวิธีนี้ส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ดีเซลทั้งทางตรงและทางอ้อม กล่าวคือ น้ำมันที่ใช้มีค่าความหนืดสูง ซึ่งมีส่วนประกอบของกรดและกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) สูงจะเกิดยางเหนียวขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) เนื่องจากการเก็บและการเผาไหม้ มีการตกตะกอนของคาร์บอน และสุดท้ายมันจะทำให้ น้ำมันหล่อลื่นขึ้นเหนียวขึ้น จากขั้นตอนการเผาไหม้ ซึ่งลักษณะการเผาผลาญพลังงานระหว่างน้ำมันพืชบริสุทธิ์ และน้ำมันดีเซลพบว่าเป็นไปในแบบเดียวกัน และมีรายงานการทดลองว่าการผสมน้ำมันพืชลงในน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนของน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 1:10 ถึง 2:10 สามารถนำไปใช้งานได้

2. ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) คือ คอลลอยด์ที่อยู่ในสถานะสมดุลของระบบที่มีน้ำกับน้ำมัน มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 1-150 นาโนเมตร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นส่วนผสมของน้ำมันพืชกับตัวทำละลายแอลกอฮอล์ที่มีสายคาร์บอนสั้น เช่น เมทานอล เอทานอล จากการผสมของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันในสถานะปกติของเหลวไมโครอิมัลชันมีสมบัติเป็น isotropic โดยดัชนีหักเห ความหนาแน่น และการนำไฟฟ้า เหมือนกันทุกทิศทาง ในส่วนประกอบของสารอาจมีลักษณะขุ่นหรือใสซึ่งอาจจำเป็นต้องมีการเติมสารลดแรงตึงผิว (surfactant) เพื่อช่วยให้เกิดความคงตัว วิธีนี้ช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับความหนืด แต่มีข้อเสียตรงที่เกิดการตกตะกอนของคาร์บอนมาก น้ำมันหล่อลื่นขึ้นเหนียวขึ้น และยังทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

3. แตกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking or pyrolysis) เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารหนึ่งๆ ไปเป็นสารตัวอื่นโดยใช้ความร้อนอย่างเดียว หรือใช้ความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าช่วยซึ่งจะไปทำลายพันธะเคมีในไขมันทั้งนี้จะต้องจำกัดปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิตประมาณ 450 – 600 องศาเซลเซียส สารประกอบที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะถูกทำให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง ซึ่งกระบวนการนี้ยากที่จะกำหนดหรือควบคุมให้ได้ผลผลิตตามที่ต้องการเนื่องด้วยความหลากหลายทางปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ วัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้

ในกระบวนการไพโรไลซิสได้แก่น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ(Natural Fatty Acid) และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Ma and Hanna, 1999) ซึ่งกลไกของกระบวนการแตกสลายทางความร้อนแสดงในภาพที่ 7 วิธีนี้มีข้อเสียคือ มีกลไกของปฏิกิริยาที่หลากหลายซึ่งจะยุ่งยากในการทำงาน เครื่องมือมีความทันสมัยและทนทานราคาแพง จะต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับการบำรุงซ่อมแซมเชิงป้องกันสูงมากอีกด้วย ทำให้ค่าใช้จ่ายการผลิตต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์สูงและเมื่อผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะทำให้ออกซิเจนถูกกำจัดออกไป ทำให้ส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณค่าต่ำคือ มักจะใช้ในการผลิตก๊าซโซลีนมากกว่าน้ำมันดีเซล

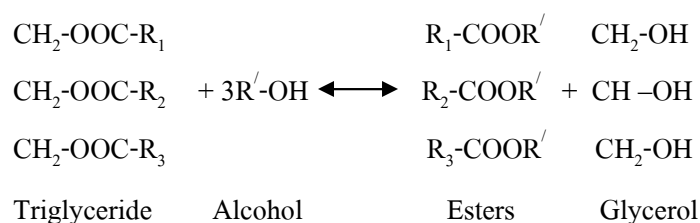


ภาพที่ 7 กระบวนการแตกสลายทางความร้อน

ที่มา: Srivasyava and Prasad (1999)

4. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) เป็นปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ของไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือ เอทานอล เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ประกอบเอสเทอร์ (เมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์) โดยมีผลพลอยได้ คือ กลีเซอรอล โดยจำเป็นต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลผลิตไบโอดีเซล เนื่องจาก

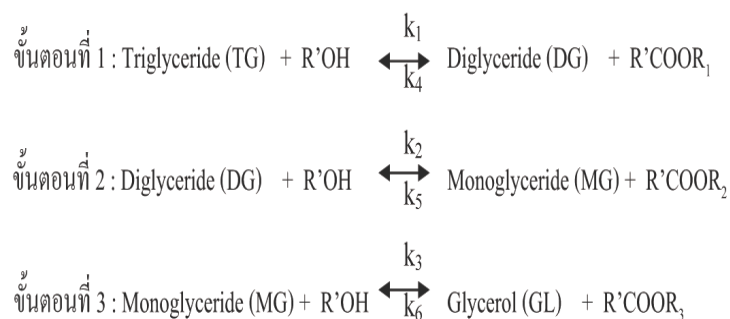
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ และการเติมแอลกอฮอล์มากเกินไปมักจะใช้เพื่อบังคับให้ปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

ที่มา: Meher *et al.* (2006)

โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมีกลไกการเกิดด้วยกัน 3 ขั้นตอน ซึ่งเกิดขึ้นต่อเนื่องแสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

ที่มา: Freedman *et al.* (1986)

สำหรับการทำทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ซึ่งมีอยู่ 3 ประเภท คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส, กรด และ เอนไซม์ แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ 2 ชนิดแรก คือ เบสและกรดมากกว่าเร่งด้วยเอนไซม์ เนื่องจากเอนไซม์ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา (Nelson *et al.*, 1996; Watanabe *et al.*, 2001) ซึ่งน้ำมันและแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องปราศจากน้ำอย่างแท้จริง เนื่องจากน้ำจะช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสบู่ขึ้นบางส่วน (Saponification) ซึ่งจะทำให้เอสเทอร์เกิดได้ลดลง

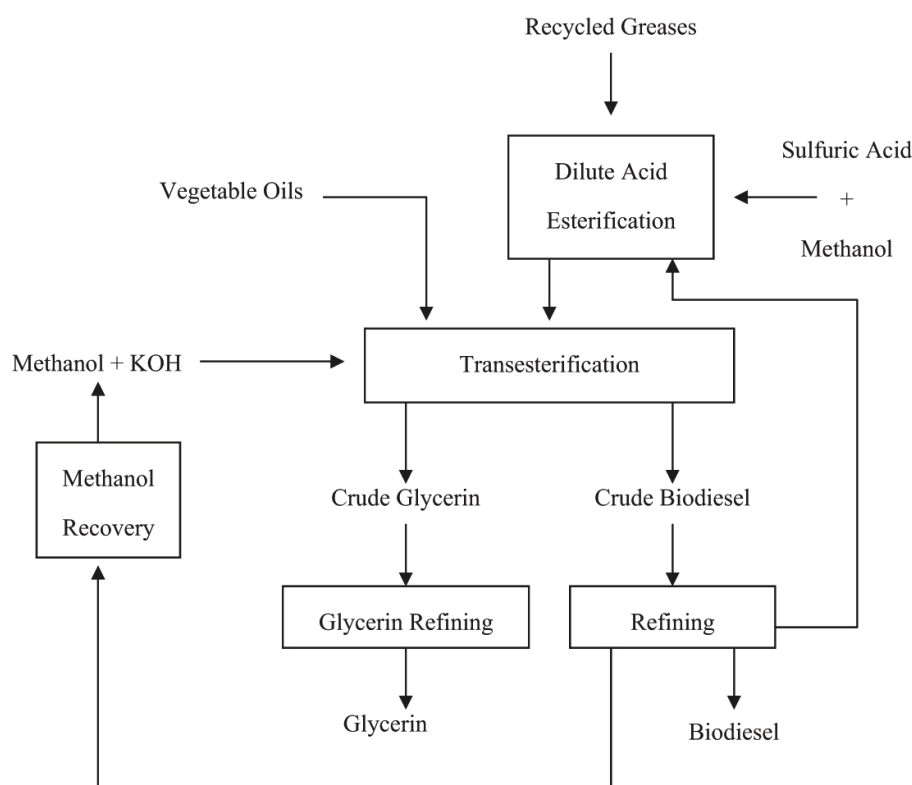
นอกจากนี้ยังทำให้เอสเทอร์กับกลีเซอรอลแยกกันได้ง่าย และปัจจุบันยังมีวิธีการผลิตแบบไม่ใช้ตัวเร่งโดยใช้ของไหลที่สถานะเหนือจุดวิกฤต มาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลเช่นกัน โดยมีรายละเอียดในแต่ละระบบดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบการผลิตไบโอดีเซลด้วยวิธีต่างๆ

รายละเอียด	กระบวนการที่ใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยา แบบเบส	กระบวนการที่ใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยา แบบกรด	กระบวนการใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยา ไลเปส	กระบวนการของ ไหลที่สถานะเหนือ จุดวิกฤต
อุณหภูมิที่ใช้ ในการเกิดปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)	60 ถึง 70	60 ถึง 90	30 ถึง 40	ขึ้นอยู่กับชนิดของ แอลกอฮอล์ที่ใช้ สำหรับเมทานอล คือ 350 องศาเซลเซียส
กรดไขมันอิสระใน วัตถุดิบ น้ำในวัตถุดิบ	ทำให้เกิดสบู่และ ผลผลิตลดลง รบกวนการ เกิดปฏิกิริยา	สามารถเปลี่ยน เป็นไบโอดีเซล รบกวนการ เกิดปฏิกิริยา	สามารถเปลี่ยน เป็นไบโอดีเซล ไม่มีผลต่อการ ผลิตไบโอดีเซล	สามารถเปลี่ยนเป็น ไบโอดีเซลได้ ไม่มีผลต่อการ ผลิตไบโอดีเซล
ปริมาณไบโอดีเซล การแยกกลีเซอรอล	ปานกลาง ยาก	ปานกลาง ยาก	สูง ง่าย	สูง ง่าย
การเพิ่มความ บริสุทธิ์ให้กับ ไบโอดีเซล	ใช้กระบวนการชะ ล้างด้วยน้ำร้อนหรือ กระบวนการล้างด้วย น้ำรีเวิร์สออสโมซิส (น้ำ RO) ซ้ำๆ	ใช้กระบวนการชะ ล้างด้วยน้ำร้อนหรือ กระบวนการล้างด้วย น้ำรีเวิร์สออสโมซิส (น้ำ RO) ซ้ำๆ	ไม่ต้องมี	ไม่จำเป็น แต่อาจต้อง กลั่นเอามาเมทานอลที่ หลงเหลือออก
ต้นทุนในการผลิต	ถูก	ถูก	แพงเนื่องจาก ไลเปสมีราคาสูง	แพงเนื่องจากต้อง ควบคุมกระบวนการ ที่ใช้ความดัน และอุณหภูมิที่สูง

ที่มา: Fukuda *et al.* (2001)

เมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) เป็นเอสเทอร์ที่นิยมสังเคราะห์กันมากที่สุดเนื่องจากเมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่มีราคาถูก หาง่าย เป็นแอลกอฮอล์ที่มีโซ่สั้นที่สุดมีชั้น ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ NaOH และ KOH (นิยมใช้เป็นเร่งปฏิกิริยา) ยังสามารถละลายได้ง่ายในเมทานอลด้วย โดยมีขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไป แสดงดังภาพที่ 10

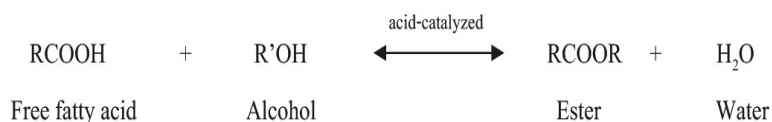


ภาพที่ 10 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไป

ที่มา: Federal Agencies (2005)

แต่อย่างไรก็ตามถ้าใช้น้ำมันพืชหรือสัตว์มีปริมาณของกรดสูง การเข้าสู่กระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยด่างเป็นไปได้ยาก ดังนั้นก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตดังกล่าวควรกำจัดกรดไขมันอิสระก่อนเพื่อป้องกันการเกิดสบู่โดยเข้าสู่กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน ดังภาพที่ 11

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) เป็นปฏิกิริยาของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดให้กลายเป็นเอสเทอร์ ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ

ที่มา: Kusdiana and Saka (2004)

4.1 ปัจจัยที่ผลต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะส่งผลทำให้ได้ผลผลิตของเอสเทอร์ในปริมาณที่สูงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตแต่อย่างไรก็ตามปัจจัยดังต่อไปนี้ก็มีผลต่อการทำปฏิกิริยา

4.1.1 น้ำหรือความชื้น

การที่มีความชื้นในไขมันจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันและน้ำมันน้ำจะทำให้เกิดสบู่ และสบู่ที่เกิดขึ้นจะปนกับเอสเทอร์และกลีเซอรินที่ได้ทำให้สารละลายผสมทั้ง 2 มีความหนืดสูงซึ่งส่งผลทำให้การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ทำได้ยาก ซึ่งสามารถป้องกันได้คือ แอลกอฮอล์ ไขมัน หรือน้ำมันควรมีน้ำน้อย หรือความชื้นปนเปื้อนน้อยที่สุดเพื่อให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดสมบูรณ์

4.1.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบ่งเป็น กรด ต่าง และเอนไซม์ การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเร็วกว่าเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงและให้ผลดีที่อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามถ้ากลีเซอไรด์มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิสระและน้ำอยู่มากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดจะ

ดีกว่า ซึ่งกรดที่ใช้ควรเป็นกรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก กรดไฮโดรคลอริก หรือกรดซัลโฟนิก ของสารอินทรีย์ ส่วนต่างประกอบด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ โซเดียมเอไมด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียมเมทอกไซด์ โพแทสเซียมเอไมด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์มีประสิทธิภาพมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Freedmen *et al.*, 1984) ส่วนตัวเร่งเอนไซม์ นิยมใช้ เอนไซม์ไลเปส

4.1.3 เวลาที่ใช้การทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าสูงในระยะแรกของปฏิกิริยาและจะลดลงเมื่อเวลามากขึ้น ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมจึงจำเป็นในการผลิตไบโอดีเซล

4.1.4 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการเมทาโนไลซิส เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเริ่มเพิ่มขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิที่ใช้เกิดจุดเดือดของแอลกอฮอล์จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง เนื่องจากมีการสูญเสียแอลกอฮอล์ ในระหว่างการทำปฏิกิริยา ถ้าอุณหภูมิต่ำลงจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง

4.1.5 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำและสูงเกินไปจะทำให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ต่ำ ดังนั้นปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะมีค่าคงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น และนอกจากนี้ถ้าปริมาณตัวเร่งที่มีค่าสูงเกินไปจะทำให้ตัวเร่ง excess มาทำปฏิกิริยากับน้ำมันทำให้เกิดปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชันหรือการเกิดสบู่

4.1.6 อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อไตรกลีเซอไรด์

อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์กับไตรกลีเซอไรด์เป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดตัวหนึ่งต่อปริมาณการเกิดผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ อัตราส่วนมวลสารสัมพันธ์สำหรับการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันต้องการแอลกอฮอล์ 3 โมล และไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล เพื่อให้ได้

เอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมล กับกลีเซอรอล 1 โมล อัตราส่วนโดยโมลนี้มีความสัมพันธ์กับ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากันเพื่อให้ได้เอสเทอร์ในปริมาณที่ เท่ากันปฏิกิริยาที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งจะใช้อัตราส่วนของบิวทานอลกับน้ำมันถั่วเหลืองเท่ากับ 30:1 ในขณะที่ปฏิกิริยาที่ใช้ด่างเป็นตัวเร่งจะใช้อัตราส่วนเพียง 6:1 (Freedman *et al.*, 1986)

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธราพงษ์ และคณะ (2546) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาน้ำมันพืชที่ประกอบ อาหารมาใช้ประโยชน์ทดแทนในด้านพลังงาน พบว่า น้ำมันหลังการประกอบอาหารองค์ประกอบ ของกรดไขมันอิ่มตัวจะเพิ่มมากขึ้น โมเลกุลของกรดไขมันเล็กลง เนื่องจากการแตกตัวด้วยความ ร้อนจากการประกอบอาหาร และอิทธิพลที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันประกอบด้วย ความชื้นและปริมาณกรดไขมัน อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์กับไตรกรีเซอไรด์ ชนิดของ ตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา และ อุณหภูมิ และเมื่อนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาทำปฏิกิริยา กับเมทานอลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า สภาพที่เหมาะสมในการผลิต ใช้อัตราส่วนโดยมวลเมทานอลต่อน้ำมันพืชที่ 1: 4.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 % ที่อุณหภูมิ 30 องศา เซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที ให้ผลผลิตของเมทิลเอสเตอร์ 92.3 % และคุณสมบัติที่ ได้อยู่ในช่วงของมาตรฐานไบโอดีเซล

ประกาศิต (2550) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากถั่วเหลืองโดยใช้ปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันของถั่วเหลืองสายพันธุ์ทั่วไปและ สายพันธุ์พื้นเมือง อำเภอมะสอ จังหวัดตาก พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดถั่วเหลืองโดยใช้ เฮกเซนที่อัตราส่วนเหมาะสม 1.0:2.5 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และสามารถสกัดถั่ว สายพันธุ์ สุโขทัย 3, เชียงใหม่ 60 และเชียงใหม่ 2 ได้มากที่สุดจาก 15 สายพันธุ์ และได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ในการผลิตไบโอดีเซลจากถั่วเหลือง 4 สายพันธุ์จากการสกัดได้ พบว่าที่อัตราส่วนโดยมวลเมทา นอลต่อน้ำมันที่เหมาะสม 1.0:5.0 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยา 0.25 กรัม อุณหภูมิทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม 60 องศาเซลเซียส และระยะเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม 30 นาที ซึ่งสามารถให้ผลผลิตไบโอดีเซลของสายพันธุ์ สุโขทัย 3, เชียงใหม่ 60, เชียงใหม่ 2 และสาย พันธุ์พื้นบ้าน ได้ 95.89, 95.57, 95.54 และ 94.58 ตามลำดับ

พนิดา และคณะ (2548) ได้ศึกษาการผลิตพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลจากของเหลือทิ้งใน อุตสาหกรรมไก่แช่แข็งโดยนำไขมันไก่ที่เป็นของเหลือจำนวนมากมาผลิตการทำไบโอดีเซล ด้วยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างน้ำมันไก่จากไตรกลีเซอไรด์เป็น เมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล ที่มีความหนืด ความตึงผิว และน้ำหนักโมเลกุลลดลงตลอดจนนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อศึกษาสมรรถนะของไบโอดีเซลจากไขมันไก่ พบว่าสามารถผลิตไบโอดีเซล 200 ลิตรต่อวัน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันไก่ต่อเมทานอลต่อกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมที่สุดคือ 5:1:0.05 โดยปริมาตร และสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลได้ และเป็นการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมให้มากขึ้น ตลอดจนเป็นแนวทางเลือกอีกทางหนึ่งในการผลิตพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติได้ต่อไปในอนาคต

Armenta *et al.* (2007) ได้ศึกษาการผลิตเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันจากน้ำมันปลา โดยใช้พลังงานอัลตราโซนิก ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และใช้ค้างละลายในเอทานอลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พร้อมทั้งได้ศึกษาสภาวะและปัจจัยที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา เช่น อุณหภูมิของอัลตราโซนิก (อ่าง และ probe), ตัวเร่งปฏิกิริยา (KOH), อุณหภูมิ (20 ถึง 60 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 10 ถึง 90 นาที พบว่าตัวเร่ง Sodium ethoxide (C_2H_5ONa) ให้ประสิทธิภาพมากกว่าการเร่งปฏิกิริยาด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และเมื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันน้ำมันปลาด้วยพลังงานอัลตราโซนิกจะต้องใช้ตัวเร่งเบส C_2H_5ONa 0.8 % ระยะเวลาที่ทำปฏิกิริยานานมากกว่า 30 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตไบโอดีเซลมากกว่า 98 % ซึ่งเป็นเหตุผลที่ประยุกต์นำพลังงานอัลตราโซนิกมาเพิ่มผลผลิตเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับเวลาในการให้พลังงาน เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างตัวทำปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งพลังงานอัลตราโซนิกจะลดระยะเวลาในการเกิดผลผลิตซึ่งเหมาะกับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และใช้มอเตอร์ในการควบคุมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

Canakci and Gerpen (1999) ได้ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้แล้ว ซึ่งมีปริมาณไขมันอิสระสูงมาก ซึ่งเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่างจะทำให้เกิดสบู่ขึ้นโดยสบู่จะเป็นตัวขัดขวางการแยกกลีเซอรอลและน้ำมัน ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวเร่งที่เป็นกรดซึ่งในการทดลองนี้ จะหาปัจจัยที่เหมาะสม ได้แก่ อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ปริมาณน้ำที่มีในน้ำมันจะปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันว่าอัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันมากขึ้น ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้น อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของเอสเทอร์มากขึ้นด้วย อุณหภูมิต้องไม่เกินจุดเดือดของเมทานอล จากการทดลองพบว่า เวลามากขึ้นทำให้ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้น ส่วนผล

ของชนิดแอลกอฮอล์ พบว่าเอทานอลจะให้ปริมาณของเอสเทอร์มากกว่าการใช้เอทานอล นอกจากนี้พบว่าการใช้กรดไขมันอิสระและน้ำมันจะทำให้ปริมาณเอสเทอร์ที่ผลิตได้มีปริมาณลดลง โดยจะเกิดเอสเทอร์น้อยกว่า 90 %

Canakci and Gerpen (2001) ได้พัฒนาวิธีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจนปริมาณของกรดไขมันอิสระน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 1 ต่อมาจึงใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยทำการศึกษาปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยากรดเท่ากับร้อยละ 0, 5, 15 และ 25 โดยน้ำหนักน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยา 1, 15, 30 และ 60 นาที สำหรับวัตถุดิบ 4 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลือง ผสมกับน้ำมันปาล์มมิดิก (Palmitic) ร้อยละ 20 น้ำมันถั่วเหลืองผสมกับกรดปาล์มมิดิก ร้อยละ 40 เฮลโลกรีสที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 12 และบรอน์กรีสที่มีกรดไขมันอิสระร้อยละ 33 เพื่อใช้แทนน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วทำปฏิกิริยากับเมทานอลและเอทานอล ผลการศึกษา พบว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนจะช่วยเพิ่มปริมาณเอสเทอร์โดยความเร็วของปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนจะช่วยเพิ่มปริมาณเอสเทอร์ โดยความเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อใช้เอทานอลเป็นสารตั้งต้นจะสามารถลดปริมาณของกรดไขมันอิสระได้เร็วกว่าการใช้เมทานอลซึ่งสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระในเฮลโลกรีส และบรอน์กรีสได้จนเหลือน้อยกว่า 2 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม (mg KOH/g) โดยต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันหรือไขมันมากกว่า 40:1 และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากกว่า 1 ชั่วโมง

Danoko and Cheryan (2000) ได้ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอลใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการทดลองแบบ Batch ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 50, 55, 60 และ 60 องศาเซลเซียส สัดส่วนโดยมวลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 วิเคราะห์ส่วนประกอบของเมทิลเอสเทอร์โดยใช้ Gas Chromatography และวิเคราะห์ ไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์, โมโนกลีเซอไรด์, เมทิลเอสเทอร์ทั้งหมดและกลีเซอรอล โดยใช้ Gel Permeation Chromatography ผลการทดลองพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 60 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์เป็นโมโนกลีเซอไรด์ซึ่งเป็น second order ใช้ระยะเวลา 30 นาที อัตราการเกิดปฏิกิริยาของ ไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์, โมโนกลีเซอไรด์ คือ 0.018-0.191 (wt%.min⁻¹) พบว่าที่อุณหภูมิสูง ๆ จะเกิดปฏิกิริยาโมโนกลีเซอไรด์สูงกว่าไตรกลีเซอไรด์ และมีค่าพลังงานกระตุ้น (Activation Energy) ของไตรกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์, โมโนกลีเซอไรด์คือ 14.7, 14.2 และ 6.1 kcal/mol ตามลำดับปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 1%KOH

Freedman *et al.* (1984) ได้ทำวิจัยเพื่อสังเกตผลกระทบต่อผลได้ของผลิตภัณฑ์เมธิลเอสเทอร์ของกรดไขมันโดยตรงจากอัตราส่วนโมล ตั้งแต่ 1:1 – 6:1 ระหว่างสารตั้งต้นเมทานอลต่อไตรกลีเซอไรด์จากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน น้ำมันถั่วลิสง และน้ำมันจากเมล็ดฝ้าย เป็นต้น พบว่าพฤติกรรมของผลได้ของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนโมลของสารตั้งต้นในทำนองเดียวกันทั้งหมด โดยผลผลิตได้สูงสุดจะเกิดขึ้นที่อัตราส่วนโมลของสารตั้งต้นมีค่าเท่ากับ 6:1

Ghadge and Raheman (2005) ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน Mahua (*Madhuca Indica*) ซึ่งน้ำมันชนิดนี้มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงถึง 19 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้วิธีการผลิตแบบสองขั้นตอน เพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน Mahua ให้เหลือน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ โดยขั้นตอนที่ 1 เป็นการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันกับเมทานอลเพื่อลดกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันให้มีปริมาณลดลง โดยใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, และ 0.40 และใช้กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส จากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน Mahua คือ ใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 0.35 ส่วนในขั้นตอนที่ 2 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เมทานอลในอัตราส่วนโดยปริมาตร 0.25 และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส จากการทดลองในขั้นตอนที่ 2 ได้ร้อยละของผลผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลถึง 98 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมัน Mahua มีคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงอยู่ในมาตรฐาน ASTM 6751-02 และ DIN EN 14214

Kaieda *et al.* (2001) ได้ศึกษาผลของเมทานอลและน้ำที่มีอยู่ในไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชโดยใช้ตัวเร่งไลเปสต่างๆในระบบปราศจากตัวทำละลาย ซึ่งเมทิลเอสเทอร์ที่ถูกสังเคราะห์จากน้ำมันพืช และเมทานอลโดยปฏิกิริยา methanolysis ได้เป็นไบโอดีเซล methanolysis ของน้ำมันถั่วเหลืองโดยไลเปสจากเชื้อจุลินทรีย์ที่หลากหลาย ไลเปสที่ถูกพบจะเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยา methanolysis ในระบบ water-containing ปราศจากตัวทำละลาย เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยไลเปสจาก *Candida rugosa*, *Pseudomonas cepacia* และ *Pseudomonas fluorescen* มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาอย่างสูง โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาของ methanolysis ที่ถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยไลเปส *C.rugosa* และ *Pseudomonas fluorescen* ปฏิกิริยาจะลดน้อยลงเมื่อน้ำมันน้อย โดยน้ำจะยับยั้งการทำลาย หรือ

หุคยังปฏิกิริยาของไลเปส ส่วนอัตราปฏิกิริยา methanolysis ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยไลเปส *Pseudomonas cepacia* ปฏิกิริยาจะสูงขึ้นเมื่อน้ำมันน้อยก็ตาม ไลเปส *Pseudomonas cepacia* จะให้เมทิลเอสเทอร์สูงในปฏิกิริยาโดยใช้ 2 หรือ 3 โมลาร์ของเมทานอลต่อน้ำมัน ซึ่งไลเปส *Pseudomonas cepacia* จะมีการต่อต้านเมทานอลอย่างแรงสำหรับในระบบ methanol content อัตราการเกิดปฏิกิริยาของ Methanolysis ซึ่งถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยไลเปส *Pseudomonas cepacia* ปฏิกิริยาจะสูงขึ้นเมื่อน้ำมันน้อยก็ตาม และไลเปสที่เหมาะสมในปฏิกิริยา methanolysis คือ ไลเปส *Pseudomonas cepacia*

Ma et al. (1998) ได้ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากไขมันวัวโดยใช้ เมทานอลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาคือตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณกรดไขมันอิสระ น้ำและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่า การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพมากกว่าโซเดียมเมธิลไฮดรอกไซด์ เนื่องจากโซเดียมเมธิลไฮดรอกไซด์จะให้ผลผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดที่ความเข้มข้น 0.5% ในขณะที่โซเดียมไฮดรอกไซด์เพียง 0.3 % นอกจากนี้ยังพบว่าไขมันหรือน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ต้องมากด้วย และเกิดเอสเทอร์น้อยกว่า 5 % และทำให้เกิดผลิตภัณฑ์กลายเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง และพบว่าถ้าไขมันหรือน้ำมันมีน้ำทำให้เกิดเอสเทอร์เกิดน้อยเช่นกัน ดังนั้นก่อนที่จะนำไขมันหรือน้ำมันมาใช้ควรกำจัดกรดไขมันอิสระก่อน หรืออาจจะใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทน โซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาพบว่าที่เวลามากขึ้นเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจะมากขึ้น โดยในช่วง 5 นาทีแรกปฏิกิริยาจะดำเนินไปอย่างช้าๆ แต่จะเกิดสมบูรณ์ที่เวลา 15 นาที

Preveen et al. (1996) ได้ศึกษาการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากไขมันวัวและน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้เมทานอลมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 0.1-1.0 โดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 68-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าผลของผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ เมทิลเอสเทอร์ของไขมันวัวและเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลืองสูงถึงร้อยละ 95 และร้อยละ 98 ตามลำดับ การวัดคุณสมบัติทางกายภาพของเมทิลเอสเทอร์ของไขมันสัตว์และน้ำมันถั่วเหลือง กับน้ำมันดีเซลคือ ความหนาแน่น ความหนืด และจุดขุ่นตัว พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากไขมันสัตว์มีค่าความหนาแน่น, ความหนืด และจุดขุ่นตัว เท่ากับ 0.856-0.859 กรัมต่อมิลลิลิตร, 3.75-3.99 เซนติสโตร์ก, 10-12 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 0.866 – 0.869 กรัมต่อมิลลิลิตร, 3.70-3.90 เซนติสโตร์ก, 1-2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และน้ำมันดีเซลมีค่าเท่ากับ 0.835 กรัมต่อมิลลิลิตร, 2.63 เซนติสโตร์ก, 19-15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

Ramadhah *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน Rubber Seed ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงถึง 17 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหมาะกับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบสองขั้นตอน โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และกำหนดเวลาในการทำปฏิกิริยาในแต่ละขั้นตอนเท่ากับ 30 นาที เริ่มต้นในขั้นตอนที่ 1 เติมตัวเร่งปฏิกิริยากรดซัลฟูริกในน้ำมันเพื่อทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันลดลงน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์การผันแปรเป็นเอสเทอร์สูงสุดและสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันให้น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ คือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ปริมาณกรดซัลฟูริก 0.5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 70 องศาเซลเซียส เทอร์ริฟิเคชันโดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปในการผลิตที่ได้อาจขั้นตอนที่ 1 จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ได้เปอร์เซ็นต์การแปลงผันเป็นเอสเทอร์สูงสุด สำหรับขั้นตอนที่ 2 คือต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 เท่ากับ 9:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักน้ำมันอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 40-50 องศาเซลเซียส และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที พบว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับมาตรฐาน ASTM 6751-02

Tashtoush *et al.* (2004) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากของเสียไขมันสัตว์ (waste animal fat) และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมี ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงดีเซลของน้ำมัน โดยทำการทดลองเบื้องต้น หาสภาวะที่เหมาะสมของ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา, อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน, ชนิดของแอลกอฮอล์และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า เมื่อใช้สารทำปฏิกิริยาส่วนเกิน 100 % เอทานอลให้ผลผลิตของไบโอดีเซลดีกว่าเมทานอล และ มีความหนืดน้อย ส่วนอุณหภูมิไม่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปและความหนืดของผลผลิตเอสเทอร์ทั้ง 2 (เอทิลเอสเทอร์และเมทิลเอสเทอร์) แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะลดเวลาในการทำปฏิกิริยา และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาคือ 50 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือ 2 ชั่วโมงในการผลิตไบโอดีเซลจากของเสียไขมันสัตว์

Tanaka *et al.* (1981) นำเสนอการทดลองปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ด้วยตัวเร่งเบสแบบใหม่ในลักษณะชุดถึงปฏิกิริยาเคมีแบบสองถึงต่อเนื่อง โดยใช้ไตรกลีเซอไรด์จากแหล่งที่แตกต่างกันเป็นสารตั้งต้น เช่น ไขมันวัว น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม เป็นต้น และอัตราส่วนโมลที่ให้อยู่ระหว่าง 6:1 – 30:1 มีรายงานว่าผลได้ของผลิตภัณฑ์จะสามารถเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ไปจนถึง 99.5% โดยน้ำหนัก ได้มีรายงานสรุปการวิจัยจากห้องทดลองอ้างอิงถึง อัตราส่วนโมลที่ 6:1

ระหว่างสารตั้งต้นเมทานอลต่อไขมันวัวถูกนำมาใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันด้วยตัวเร่งเบสโดยให้ผลได้ของผลิตภัณฑ์เมธิลเอสเทอร์กลับคืน 80% โดยน้ำหนักของไขมันวัว

Wang *et al* (2007) ได้ทำการศึกษาผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วซึ่งมีค่าความเป็นกรดเท่ากับ 75.92 ± 0.036 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน โดยขั้นตอนแรกนำน้ำมันดังกล่าว มาทำปฏิกิริยากับเฟอริกซัลเฟตร้อยละ 2 โดยน้ำหนักน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:10 ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 95 องศาเซลเซียส ทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง จากนั้นในขั้นตอนที่สอง จะนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนแรกไปทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมล ระหว่างไตรกลีเซอไรด์ต่อเมทานอลเป็น 1:6 ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 65 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานาน 1 ชั่วโมง ได้ปริมาณเอสเทอร์ร้อยละ 97.02 ซึ่งวิธีนี้พบว่าการใช้เฟอริกซัลเฟตแทนกรดซัลฟูริกเป็นสิ่งที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากเฟอริกซัลเฟตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายน้ำ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ในการทดลอง

- 1.1 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดถึงตำแหน่งที่ 4 (ยี่ห้อ Sartorius)
- 1.2 เครื่องให้ความร้อนไฟฟ้า (Hot-plate magnetic stirrer)
- 1.3 เตาอบลมร้อน (Hot air oven)
- 1.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermometer)
- 1.5 นาฬิกาจับเวลา (Stop watch)
- 1.6 แท่งกวนแม่เหล็ก (Magnetic bar)
- 1.7 เครื่องแก้วและชุดอุปกรณ์แบบกะ (Batch reactor)
- 1.8 กรวยแยก (Separation funnel)
- 1.9 หม้ออะลูมิเนียม
- 1.10 กระดาษกรองเบอร์ 1 บริษัท Whatman

2. เครื่องมือในการวิเคราะห์

- 2.1 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซโครมาโตกราฟี: SHIMADZU, Japan รุ่น GC 2010 คอลัมน์: DB-Wax (30 เมตร x 0.32 มิลลิเมตร), อินเจกเตอร์: 260 องศาเซลเซียส, ดีเทกเตอร์: FID, 380 องศาเซลเซียส, split ratio 25:1 และ แก๊สตัวนำ: He
- 2.2 เครื่องมือทดสอบจุดวาบไฟ (Pensky-Martens closed flash tester)
- 2.3 เครื่องควบคุมอุณหภูมิและหลอดวัดความหนืด ยี่ห้อ Cannon-Fenske
- 2.4 เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน : AC-350 Automatic Calorimeter
- 2.5 เครื่องมือวิเคราะห์จุดหมอกควันและจุดไหลเท
- 2.6 เครื่องกลั่น (Distillation)
- 2.7 ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)

3. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1 สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ชนิดของแข็ง เกรด Analytical grade

3.2 สารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ชนิดของแข็ง เกรด Analytical

3.3 สารเมทานอล (Methanol, CH₃OH) ความบริสุทธิ์ 99 % บริษัท Ajax

Finechem

3.4 กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid, H₂SO₄) ความบริสุทธิ์ 95-97% เกรด Analytical, J.B.

Baker, U.S.A.

3.5 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) ความบริสุทธิ์ 36-38% เกรด

Analytical บริษัท Merck

3.6 สารฟีนอล์ฟทาเลอิน (Phenolphalein, C₂₀H₁₄O₄)

3.7 สาร 2 – โพรพานอล ความบริสุทธิ์ 99.99% เกรด Analytical J.B. Baker, U.S.A.

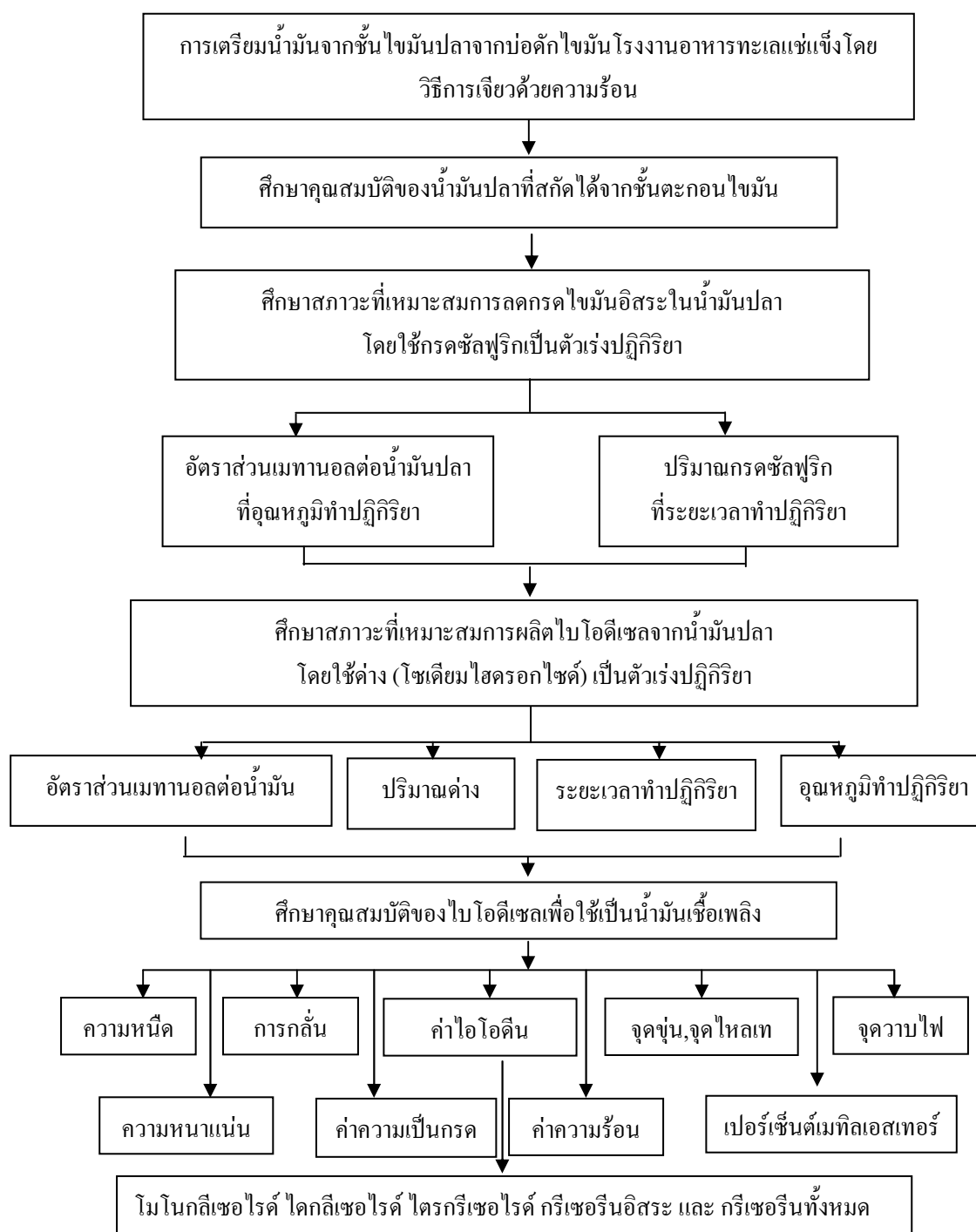
3.8 สารเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol, C₂H₅OH) ความบริสุทธิ์ 95 % เกรด

Analytical บริษัท Merck

3.9 น้ำกลั่น

วิธีการทดลอง

วิธีการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แผนผังการทดลอง

1. การเตรียมน้ำมันปลาจากชั้นตะกอนไขมันของบ่อดักไขมันและการวิเคราะห์คุณสมบัติ และองค์ประกอบของกรดไขมันน้ำมันปลา

1.1 ศึกษาปริมาณน้ำมันปลาที่แยกสกัดด้วยวิธีการเจียว

เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการล้างในกระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง (การผลิตซูริมิ) นั้นส่วนใหญ่จะมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ และจะเกิดรวมตัวเป็นชั้นตะกอนลอยอยู่บนผิวหน้าน้ำในรางระบายน้ำเสียก่อนที่จะส่งไปยังบ่อดักไขมัน เพื่อแยกชั้นไขมันก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ ดังนั้นจึงต้องมีศึกษาปริมาณน้ำมันที่สามารถแยกออกจากชั้นตะกอนดังกล่าว เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคต โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ทำเก็บรวบรวมตัวอย่างของเสียชั้นตะกอนไขมันปลาทะเลจากบ่อดักไขมันก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง และทำการเก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
2. ชั่งตัวอย่างของชั้นตะกอนไขมันปลาหนัก 250 กรัมใส่ลงบีกเกอร์ และให้ความร้อนในการเจียวที่อุณหภูมิ 80–120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในชั้นตะกอน) และตั้งทิ้งไว้ เพื่อให้ชั้นของน้ำมันแยกตัวออก
3. แยกน้ำมันออกจากตะกอนไขมันแล้วนำน้ำมันเข้าเครื่องเซนติฟิวส์ ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที เพื่อแยกสิ่งเจือปนและนำออกจากน้ำมันและบันทึกปริมาณน้ำมันที่แยกสกัดได้ (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)
4. นำน้ำมันที่ได้จากการแยกตะกอนออกเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของน้ำมันและถ้าปริมาณความชื้นในน้ำมันมีค่ามากกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ทำการอบซ้ำอีกครั้ง
5. เติรียน้ำมันจากการแยกสกัดโดยนำชั้นตะกอนไขมันโดยใช้หม้ออะลูมิเนียม และทำการเจียวที่อุณหภูมิ 80–120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมงและแยกสกัดน้ำมันตามข้อ 3 และ 4 เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการทดลองขั้นตอนต่อไป

1.2 วิเคราะห์คุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำมันปลา

เนื่องน้ำมันปลาที่ได้จากการแยกสกัดโดยการให้ความร้อนนั้นคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีจะเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงต้องศึกษาคุณสมบัติดังกล่าวก่อนที่จะนำวัตถุดิบนี้มาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล โดยวิเคราะห์คุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ(%Free Fatty Acid) ตามมาตรฐานวิเคราะห์ AOCS Ca 5a-40
2. ชนิดและปริมาณของกรดไขมัน (Fatty acid composition)
3. ค่าสaponification (Saponification value) ตามมาตรฐานวิเคราะห์ AOAC 920.160
4. ค่าไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine number) ตามมาตรฐานวิเคราะห์ AOAC 993.20
5. จุดวาบไฟ (Flash point) ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D 93
6. ค่าความหนืด (Viscosity) ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D 445
7. ค่าความร้อน (Heating value) ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D 240
9. ค่าความหนาแน่น (Density)
10. เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%Moisture)

วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากภาคผนวก ก ส่วนการวิเคราะห์ ชนิดและองค์ประกอบของกรดไขมันส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ศูนย์วิทยาศาสตร์ฮาลาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) และค่าไอโอดีน ส่งวิเคราะห์ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

2. การศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปลาทะเลแบบสองขั้นตอน

2.1 การลดกรดไขมันอิสระด้วยกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน

น้ำมันปลาที่ได้จากการสกัดด้วยความร้อนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสส่งผลทำให้น้ำมันมีค่าความเป็นกรดสูงเมื่อทำปฏิกิริยากับด่างจะเกิดสบู่ ดังนั้นจึงต้องทำการลดกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันก่อนการผลิตไบโอดีเซล โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ เพื่อหาความเหมาะสมดังนี้

2.1.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปริมาณกรดซัลฟูริก ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

1. ชั่งน้ำมันปลา 30 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่นำไปให้ความร้อนจนกระทั่งน้ำมันมีอุณหภูมิเกินที่กำหนดไว้เล็กน้อย
2. เติมเมทานอลที่ผสมกรดซัลฟูริกที่ 3 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักน้ำมันใส่ลงไป ทำปฏิกิริยา (อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาเทียบโดยโมลของกรดไขมันอิสระที่ 20:1 วิธีการคำนวณอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันคูดได้จากภาคผนวก ข) แล้วต่อเข้ากับอุปกรณ์ชุดรีฟลักซ์ในอ่างน้ำร้อน ดังภาพที่ 13
3. ทำปฏิกิริยาในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 ± 2 องศาเซลเซียส กวนด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในขณะที่ทำปฏิกิริยาต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่อุณหภูมิที่กำหนดไว้
4. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 3 ไปแยกโดยใช้กรวยแยกตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ซึ่งจะแยกเป็น 2 ชั้น แยกเมทานอลที่ผสมกับกรดซัลฟูริกที่ซึ่งอยู่ชั้นล่างออก และรวบรวมชั้นบนซึ่งเป็นส่วนของน้ำมันปลา
5. ชั่งน้ำหนักของน้ำมันปลาที่ได้ นำมาคำนวณหาร้อยละผลผลิตที่ได้เทียบกับน้ำมันปลาที่ได้ แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนระยะเวลาทำปฏิกิริยา เป็น 2, 3 และ 4 ชั่วโมง และเปลี่ยนปริมาณของกรดซัลฟูริกเป็น 5, 7 และ 9 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของน้ำมันปลา ทำปฏิกิริยาที่ระยะเวลาต่าง ๆ คือ 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ (ทำการทดลอง 2 ซ้ำ)



ภาพที่ 13 อุปกรณ์สำหรับการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

2.1.2 ศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลา (เทียบโมลกรดไขมันอิสระ) ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.1.1 โดยใช้ปริมาณของกรดซัลฟูริกและระยะเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2.1.1 โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลา (เทียบโดยโมลของกรดไขมันอิสระ) เป็น 10:1, 15:1 และ 20:1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 (± 2) องศาเซลเซียส ตามลำดับ

2.2. การผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นขั้นตอนการเปลี่ยนน้ำมัน(ไตรกลีเซอไรด์)ให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) และกลีเซอรอล โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยาและด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตดังนี้

2.2.1 ศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่เหมาะสม

1. ชั่งน้ำมันปลาที่ได้จากการแยกชั้นในขั้นตอนเอสเทอริฟิเคชัน 30 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่นำไปให้ความร้อนจนกระทั่งน้ำมันมีอุณหภูมิ ตามที่กำหนดไว้เล็กน้อย
2. เติมเมทานอลที่อัตราส่วนโดยโมลต่อน้ำมันที่ 3:1 ผสมกับสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมันปลาใส่ลงไปน้ำมัน (วิธีการคำนวณอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันดูได้จากภาคผนวก ข) แล้วต่อเข้ากับอุปกรณ์ชุดรีฟลักซ์ในอ่างน้ำร้อน ดังภาพที่ 13
3. ทำปฏิกิริยาในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส กวนด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) เป็นเวลา 30 นาที ในขณะที่ทำปฏิกิริยาต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่อุณหภูมิที่กำหนดไว้
4. นำสารละลายที่ได้จากข้อ 3 ไปแยกโดยใช้กรวยแยกตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ซึ่งจะแยกเป็น 2 ชั้น แยกชั้นกลีเซอรอลที่อยู่ด้านล่างออก และรวบรวมชั้นบนซึ่งเป็นส่วนของเมทิลเอสเทอร์(ไบโอดีเซล)
5. ทำการล้างชั้นของเมทิลเอสเทอร์ ด้วยน้ำอุ่น 60-80 องศาเซลเซียส ปริมาณ 15-20 มิลลิลิตร จำนวน 3-5 ครั้ง จนกระทั่งน้ำล้างใส
6. นำน้ำมันที่ได้ไปไล่ความชื้นที่ อุณหภูมิ 80-120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก และบันทึกปริมาณไบโอดีเซลที่ได้เพื่อคำนวณผลผลิต (ดูรายการคำนวณที่ภาคผนวก ข) และนำน้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความหนืดและค่าความร้อน
7. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-6 โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาเป็น 6:1, 9:1, 12:1 และ 15:1 ตามลำดับ (การทดลอง 2 ซ้ำ)

2.2.2 ศึกษาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.2.1 ใช้อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2.2.1 กำหนดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 60 ± 2 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยานาน 30 นาที โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองเป็น 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, และ 1.50 ตามลำดับ

2.2.3 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.2.1 ใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2.2.1 และใช้ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมจากข้อ 2.2.2 กำหนดเวลาในการทำปฏิกิริยานาน 30 นาที โดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาดังแต่ 50, 55, 60, 65, 70, และ 75 (± 2) องศาเซลเซียส ตามลำดับ

2.2.4 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 ใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2.2.1 และใช้ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมจากข้อ 2.2.2 และทำการทดลองที่อุณหภูมิเหมาะสมที่ได้จากข้อ 2.2.3 โดยเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาดังแต่ 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ

เมื่อทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันได้แล้ว นำน้ำมันปลาที่ได้จากการสกัดมาทำการลดค่ากรดไขมันอิสระด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน ตามสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2.1.1 และ 2.1.2 และทำการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้อ 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 และ 2.2.4 โดยใช้ตัวอย่างน้ำมันปลา 600 กรัม (ทำการทดลอง 2 ซ้ำ) เพื่อนำไบโอดีเซลที่ผลิตได้ไปทำการทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลต่อไป

3. การวิเคราะห์หาคุณสมบัติของไบโอดีเซลน้ำมันปลา

3.1 การวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด (Acid value)

1. ชั่งน้ำหนักน้ำมันไบโอดีเซลน้ำมันปลา 5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่
2. เติมด้วยสาร 2-โพรพานอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
3. หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาเลอิน 2-3 หยด
4. ทำการไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N
5. ไทเทรตจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูจางๆ คงที่ ประมาณ 30 วินาที ณ จุดนี้ถือเป็นจุดยุติ
6. บันทึกปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความเป็นกรด (Acid Value) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม

$$\text{ค่าความเป็นกรด} = \frac{\text{ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(มล.)} \times 56.1 \times 0.1 \text{ N}}{\text{น้ำหนักของน้ำมันไบโอดีเซล (กรัม)}}$$

3.2 การวิเคราะห์ความหนืดโดยใช้วิสโคมิเตอร์ (Viscometer)

1. เปิดเครื่อง Constant – Temperature Bath ทำการปรับอุณหภูมิเป็น 40 องศาเซลเซียส เทสารตัวอย่างประมาณ 20 มิลลิลิตร ลงในหลอดวัดความหนืด (Viscometer) ที่ทราบค่าคงที่ของหลอด (เลือกหลอดให้เหมาะสมกับค่าความหนืดของตัวอย่างน้ำมัน)
2. นำหลอดวัดความหนืด (Viscometer) ไปใส่ในเครื่อง Constant – Temperature Bath รอจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่เป็นเวลาประมาณ 30 นาที ใช้ลูกยางทำการดูดสารตัวอย่างจากหลอดวัดความหนืดให้ขึ้นมาอยู่เหนือขีดบนของหลอด
3. ทำการจับเวลาเมื่อสารตัวอย่างไหลลงมาจากขีดบนจนถึงขีดล่างของหลอดวัดความหนืดบันทึกเวลาที่ใช้ ทำการทดลองซ้ำอีก 1 ครั้ง นำเวลาที่ได้มาเฉลี่ยเพื่อหาค่าความหนืดจากสูตร

$$V = Ct$$

โดยที่ เมื่อ V คือ ความหนืด, (cSt)

C คือ ค่าคงที่ของวิสโคมิเตอร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

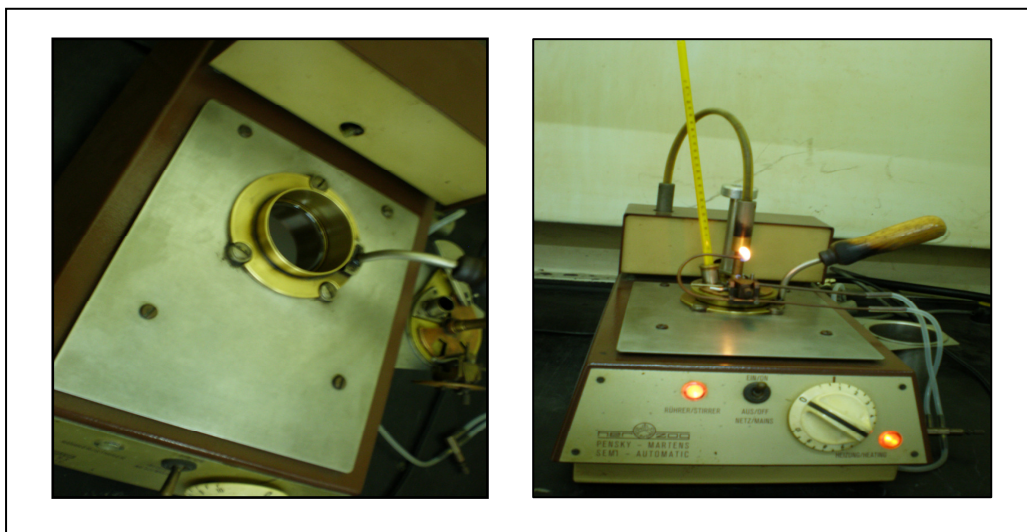
t คือ เวลา, (s)

3.3 วิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี รุ่น GC-2010 จากบริษัท Shimadzu

1. ปรับอัตราการไหลของก๊าซฮีเลียมซึ่งใช้เป็นก๊าซตัวพา (carrier gas) ด้วยอัตรา 35.2 มิลลิลิตรต่อนาที ให้มีความดันคงที่เท่ากับ 77.2 kPa
2. ปรับอุณหภูมิของเตาอบเป็น 210 องศาเซลเซียส จากนั้นตั้งค่าสภาวะในการวิเคราะห์ของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีดังนี้ ปรับอุณหภูมิของ detector (FID) เท่ากับ 260 องศาเซลเซียส ปรับอุณหภูมิของ injector เท่ากับ 220 องศาเซลเซียสและปรับ split ratio เท่ากับ 25:1
3. ทำการฉีดสารตัวอย่างในปริมาณ 1 ไมโครลิตร โดยผลโครมาโทแกรมที่ได้จะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ตามรายการคำนวณผนวก ข

3.4 การหาจุดวาบไฟ (Flash point) โดยใช้ Pensky-Martens closed flash tester

1. ล้างภาชนะถ้วยโลหะสำหรับใส่น้ำมันให้สะอาด ก่อนนำมาใส่น้ำมัน
2. บรรจุน้ำมันที่จะหาจุดวาบไฟ จนถึงขีดระดับแล้วปิดฝาด้วย ดังภาพที่ 14
3. วางถ้วยที่บรรจุน้ำมันลงบนตัวทำความร้อน จากนั้นค่อยๆทำการเพิ่มอุณหภูมิด้วย อัตราความเร็วคงที่อย่างช้า ๆ ประมาณ 5-6 องศาเซลเซียสต่อนาที พร้อมกับหมุนใบพัดเครื่องกวน
4. เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทุก 1 องศาเซลเซียส เปิดช่องที่ฝา แหย่เปลวไฟลงไปบนผิวน้ำมันประมาณ 1 วินาที สังเกตจุดวาบไฟ โดยมีเปลวไฟเกิดขึ้น และดับทันที บันทึกอุณหภูมินั้นเป็นจุดวาบไฟ (ทำการทดลอง 2 ครั้ง)

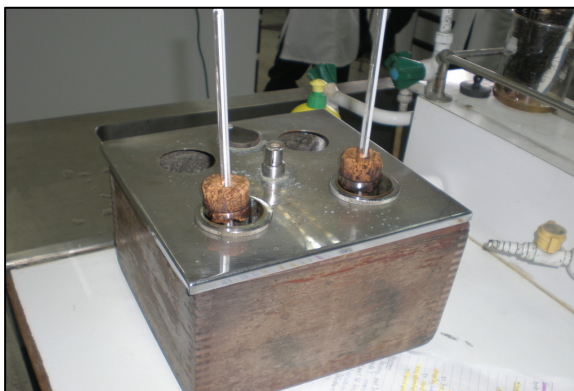


ภาพที่ 14 เครื่อง Pensky-Martens closed flash tester

3.5 การวิเคราะห์หาจุดขุ่น (Cloud point) และจุดไหลเท (Pour point)

1. หาจุดขุ่น (Cloud point) โดยเทสารตัวอย่างลงใน test jar ให้ได้ระดับที่ขีดไว้บน test jar ปิดด้วยจุกที่มีเทอร์โมมิเตอร์เสียบอยู่สูงกว่าก้น test jar ประมาณ 3-5 มิลลิเมตร สวม gasket รอบ test jar เพื่อป้องกันการกระแทก นำ test jar ไปวางลงใน jacket แล้วจึงนำไปไว้ในอ่างที่มีน้ำแข็งกับเกลือผสมอยู่ คอยสังเกตบริเวณก้น test jar เมื่อเกิดไขขึ้นที่ก้นของ test jar ให้อ่านอุณหภูมิขณะนั้น (ทำการทดลอง 2 ครั้ง)

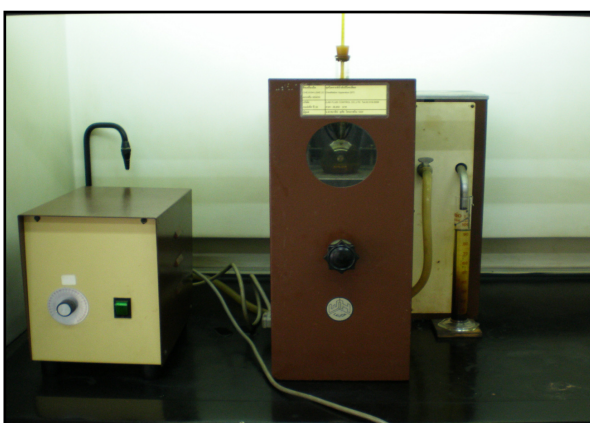
2. หาจุดไหลเท (Pour point) โดยเทสารตัวอย่างลงใน test jar ให้ได้ระดับที่ขีดไว้บน test jar ปิดด้วยจุกที่มีเทอร์โมมิเตอร์เสียบอยู่ต่ำกว่าระดับที่ขีดไว้บน test jar ประมาณ 3-5 มิลลิเมตร สวม gasket รอบ test jar เพื่อป้องกันการกระแทก นำ test jar ไปวางลงใน jacket แล้วจึงนำไปไว้ในอ่างที่มี น้ำแข็งกับเกลือผสมอยู่ และเมื่ออุณหภูมิลดลง จนสารตัวอย่างเริ่มแข็ง ค่อยๆเอียง test jar เป็นมุมประมาณ 45 องศา เป็นเวลา 3 วินาที อุณหภูมิแรกที่ทำให้สารตัวอย่างไม่มีการไหลตามแรงโน้มถ่วงของโลกคือจุดไหลเท บันทึกผล (ทำการทดลอง 2 ครั้ง)



ภาพที่ 15 เครื่องมือทดสอบหาจุดขุ่น (Cloud point) และจุดไหลเท (Pour point)

3.6 การวิเคราะห์ Distillation

1. เทตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลลงใน measuring flask ขนาด 100 มิลลิลิตร จนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. เทตัวอย่างจากข้อ 1 ลงใน distillation flask ระวังอย่าให้ตัวอย่างไหลออก
3. นำ flask ไปประกอบเข้ากับเทอร์โมมิเตอร์ ปิดจุกคอรั้งให้สนิทปรับเทอร์โมมิเตอร์
4. ต่อก้านของ distillation flask เข้ากับ condenser (รอบ condenser บรรจุน้ำแข็ง)
5. ปรับระดับ flask support ให้ได้ระดับพอดี
6. เริ่มทำการกลั่นให้ระดับความร้อนและ % ปริมาตรให้ได้ตรงตาม ASTM D 86



ภาพที่ 16 เครื่องกลั่น Distillation

3.7 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

ทำการวิเคราะห์ไบโอดีเซลน้ำมันปลา เช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำมันปลา(ตั้งต้น) เพียงแต่ควบคุมอุณหภูมิในอ่างน้ำเย็นให้ได้อุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส และอ่านค่าของ Hydrometer บันทึกผลเป็นค่าความหนาแน่น

3.8 การวิเคราะห์ ค่าไอโอดีน โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กรีเซอริน อิสระ และ กรีเซอรินทั้งหมด

ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

3.9 การวิเคราะห์ค่าความร้อน (Heating value)

ทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนไบโอดีเซลน้ำมันปลา เช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำมันปลา(ตั้งต้น) โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการทดลองดังภาคผนวก ก

ผลและวิจารณ์

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปลาที่สกัดได้จากชั้นตะกอนไขมันปลาทะเลของบ่อดักไขมันโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง โดยทำการทดลองตั้งแต่เตรียมน้ำมันปลาด้วยการสกัดชั้นตะกอนไขมันด้วยวิธีการเจียว และศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันปลาที่สกัดได้แล้วนำน้ำมันปลามาผลิตไบโอดีเซล ด้วยกระบวนการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อลดกรดไขมันอิสระโดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา และใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสม คือ ปริมาณของกรดซัลฟูริกที่ 3 ถึง 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1 ถึง 4 ชั่วโมง และอัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 10:1 ถึง 20:1 เทียบโดยโมลของกรดไขมันอิสระ ที่อุณหภูมิ 60 ± 2 ถึง 80 ± 2 องศาเซลเซียส ขั้นตอนที่สองเป็นกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อแปลงผลผลิตจากขั้นตอนแรกให้เป็นเมทิลเอสเตอร์(ไบโอดีเซล)และกลีเซอรอลโดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยาและโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 ถึง 15:1 ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.25 ถึง 1.50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิทำปฏิกิริยาที่ 50 ± 2 ถึง 75 ± 2 องศาเซลเซียส และระยะเวลาทำปฏิกิริยาที่ 15 ถึง 60 นาที นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ เช่น ความหนืด จุดไหลเท จุดวาบไฟ จุดขุ่น ค่าความเป็นกรด ความหนาแน่น ค่าความร้อน Distillation ค่าไอโอดีนัมเบอร์ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรินอิสระ กลีเซอรินทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานไบโอดีเซล ซึ่งมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. ผลการศึกษาการเตรียมน้ำมันปลาทะเลจากชั้นตะกอนไขมันของบ่อดักไขมันและศึกษาคุณสมบัติ และองค์ประกอบของกรดไขมันน้ำมันปลา

1.1 ผลการศึกษาปริมาณน้ำมันปลาจากการสกัดของเสียชั้นตะกอนไขมัน

จากการนำของเสียชั้นตะกอนไขมันปลาทะเลจากบ่อดักไขมันก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง มาสกัดน้ำมันด้วยวิธีการเจียวโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80-120 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2-3 ชั่วโมง เพื่อแยกน้ำมันออกจากชั้นตะกอนไขมัน แล้วนำน้ำมันเข้าเครื่องเซนติฟิวส์แยกน้ำมันออกจากสิ่งเจือปน และ นำน้ำมันเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้น พบว่าชั้นตะกอนไขมันปลาทะเลเมื่อผ่านการ

สกัดด้วยความร้อนสามารถให้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 27.37 ± 2.93 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังตารางผนวกที่ ค1 แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนที่เกิดขึ้นสามารถแยกสกัดน้ำมันด้วยวิธีการเจียวโดยให้ความร้อน ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในด้านสารเคมี และสามารถนำเอาน้ำมันที่ได้ไปใช้ประโยชน์ได้ในอนาคต

1.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลา

เมื่อนำน้ำมันปลาที่ได้จากแยกสกัดด้วยความร้อน และไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ไปทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพต่างๆ และองค์ประกอบของกรดไขมันด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) แสดงดังตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปลาทะเล

คุณสมบัติ	หน่วย	น้ำมันปลาทะเล	วิธีทดสอบ
ค่ากรดไขมันอิสระ (ในรูปปาล์มมิติก)	%FFA	22.41	AOCS Ca 5a-40
ค่าสaponification	mgKOH /g	192.97	AOAC 920.160
ค่าไอโอดีน (วีสต์) ^a	gIodine/100g	126.30	AOAC 993.20
ค่าความร้อน	MJ/Kg	38.69	ASTM D 240
ค่าความหนืด ที่อุณหภูมิ 40 °C	cSt	37.44	ASTM D 445
จุดวาบไฟ	°C	310	ASTM D 93
ค่าความหนาแน่น ที่อุณหภูมิ 40 °C	g/cm ³	0.905	-
ความชื้น	%wt	0.13	-

หมายเหตุ: ^a คือ วิเคราะห์โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

จากตารางที่ 7 พบว่า น้ำมันปลาที่สกัดได้จากชั้นตะกอนไขมันมีค่าสaponification และค่าไอโอดีนสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของน้ำมันมีน้ำหนักโมเลกุลของต่ำ หรือขนาดของโมเลกุลเล็ก และมีปริมาณของกรดไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะเกิดการเหม็นหืนได้ง่ายเมื่อสัมผัสอากาศเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ส่วนค่าความร้อนของน้ำมันปลามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 38.69 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าพลังงานความร้อนสูงสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้ แต่ก็ยังไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในเครื่องยนต์ได้โดยตรง เนื่องจากน้ำมันที่สกัดได้เป็นไขที่อุณหภูมิห้อง ประกอบกับมีค่าความหนืด และจุดวาบไฟสูงทำให้เกิดการระเหยต่ำ จุดระเบิดได้ยาก

สำหรับค่ากรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.41 เปอร์เซ็นต์ และความหนืดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.44 เซนติสโตกส์ ซึ่งมีค่าสูง เป็นผลเนื่องจากการใช้ความร้อนในการสกัด แยกน้ำมันออกจากชั้นตะกอนไขมันที่เกิดจากการรวมตัวกันของน้ำมันและไขมันจากขั้นตอนการล้างวัตถุดิบปลา กระบวนการผลิต และอื่นๆ ที่ปล่อยลงบ่อตกไขมันของโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง ซึ่งการให้ความร้อนนั้นทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้กรดไขมันอิสระขึ้น และจะทำให้ น้ำมันเป็นไขที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งค่าความหนืดของน้ำมันพืชหรือสัตว์เป็นอุปสรรคสำคัญในการนำน้ำมันมาใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยจะก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบหัวฉีดไม่สามารถฉีดพ่นได้ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และค่ากรดไขมันอิสระที่สูงเป็นปัญหาสำคัญในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่ง Ramadhas *et al.* (2005) ได้ระบุว่ากรดไขมันอิสระที่สูง เมื่อทำปฏิกิริยากับด่างจะเกิดสบู่ และขัดขวางต่อการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์และกลีเซอรอล จึงจำเป็นต้องลดกรดไขมันอิสระให้น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงใช้ค่ากรดไขมันอิสระคงเหลือให้มีค่าน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นค่าควบคุมในขั้นตอนการทดลองลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปลาด้วยกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน ก่อนที่จะนำน้ำมันปลามาผลิตไบโอดีเซล

ตารางที่ 8 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันปลา

กรดไขมัน (Fatty acid)		น้ำหนักโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	ส่วนประกอบ ของกรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
ชื่อ	จำนวน คาร์บอนอะตอม		
Lauric acid	C12:0	200.32	0.14
Myristic acid	C14:0	228.37	3.10
Palmitic acid	C16:0	256.42	24.22
Palmitoleic acid	C16:1	254.41	6.49
Heptadecanoic acid	C17:0	270.45	1.51
Stearic acid	C18:0	284.48	10.43
Oleic acid	C18:1	282.46	13.82
vaccenic acid	C18:1n7	282.46	3.94
Linoleic acid	C18:2	280.45	1.27
Linolenic acid	C18:3	278.43	0.54
Arachidic acid	C20:0	312.53	0.71
Eicosenoic acid	C20:1	310.51	1.27
Eicosatrienoic acid (cis-8,11,14)	C20:3	306.48	0.80
Arachidonic acid (ARA)	C20:4	304.50	3.13
Eicosapentaenoic acid(EPA)	C20:5	302.45	5.35
Heneicosanoic acid	C21:0	326.56	0.42
Docosenoic acid	C22:1	338.57	0.65
Docosadienoic acid	C22:2	336.55	1.22
Docosahexaenoic acid(DHA)	C22:6 n3	328.49	16.51
Lignoceric acid	C24:0	368.63	2.04
Nervonic acid	C24:1cis	366.62	0.53
docosapentaenoic acid (DPA)	C22:5	330.60	1.91
Total			100

หมายเหตุ: วิเคราะห์โดย ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ด้วยเครื่อง
Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)

จากวิเคราะห์ชนิดและองค์ประกอบของกรดไขมัน ด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) ดังตารางที่ 8 พบชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปลาทะเล ที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acid) และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) รวม 42.57 และ 57.43 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยพบกรดพาล์มมิกมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 24.22 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก รองลงมาคือ กรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิก (DHA) กรดโอลิอิก กรดสเตียริก และกรดไอโคซะเพนตะอีโนอิก (EPA) มีค่าเท่ากับ 16.51, 13.82 และ 10.43 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และยังพบกรดไขมันจำเป็นที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของร่างกายค่อนข้างสูง ซึ่งร่างกายสังเคราะห์เองไม่ได้ คือ กรดอาราชิไดนิค (ARA) กรดไอโคซะเพนตะอีโนอิก (EPA) กรดโดโคซะเฮกซะอีโนอิก (DHA) รวมกันเท่ากับ 24.99 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งส่วนมากพบในสัตว์น้ำ (น้ำมันปลา) และสามารถคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปลาได้เท่ากับ 899.03 กรัมต่อโมล (รายละเอียดการคำนวณแสดงดังตารางผนวกที่ ข1)

2. ผลการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปลาทะเลแบบสองขั้นตอน

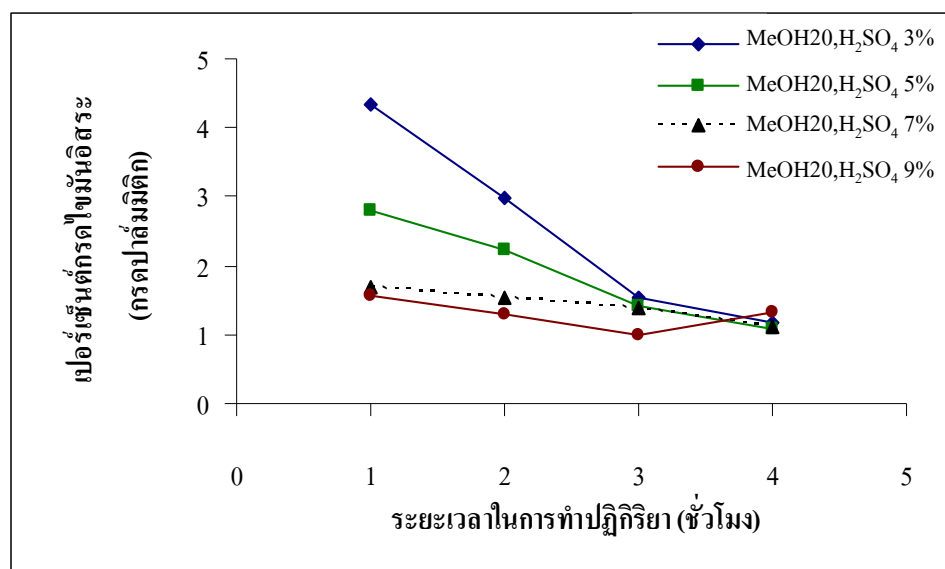
การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปลาโดยใช้กระบวนการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันเพื่อลดกรดไขมันอิสระโดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา และใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และในขั้นตอนที่ 2 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อแปลงผลผลิตจากขั้นตอนแรกให้เป็นเมทิลเอสเตอร์ (ไบโอดีเซล) และกลีเซอรอลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.1 ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification)

เป็นขั้นตอนการลดกรดไขมันอิสระโดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา และใช้กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่มีผลต่อการลดกรดไขมันอิสระ คือ ปริมาณกรดซัลฟูริก 3 ถึง 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1 ถึง 4 ชั่วโมง และ อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลา (เทียบกับกรดไขมันอิสระ) 10:1 ถึง 20:1 ที่อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 60 ถึง 80 (± 2) องศาเซลเซียส ซึ่งในแต่ละขั้นตอนทำการวิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระคงเหลือ และผลผลิตของน้ำมันที่ได้ โดยมีผลการทดลองดังนี้

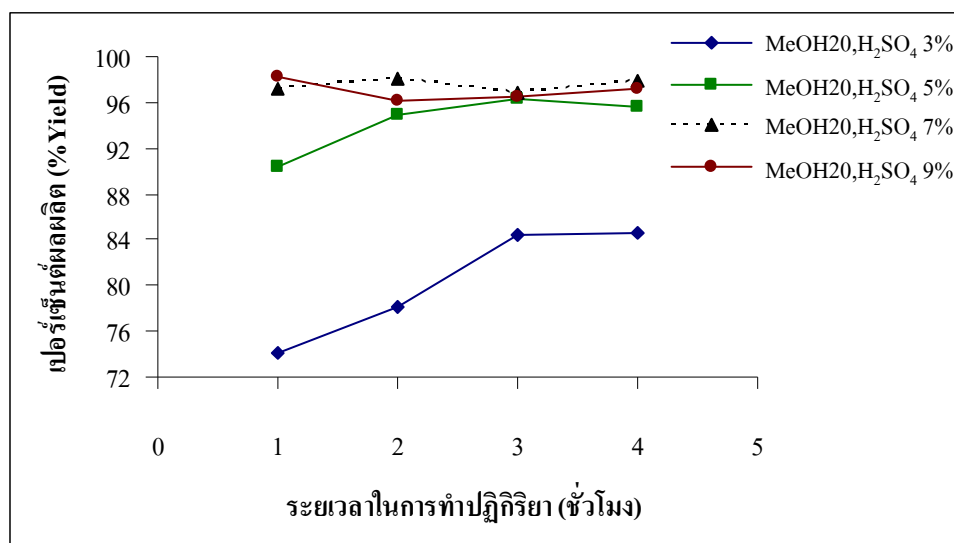
2.1.1 ศึกษาปริมาณกรดซัลฟูริก ที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

จากการศึกษาปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดกรดไขมันอิสระที่สูงเพื่อป้องกันการเกิดสบู่ในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ด่าง ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกเท่ากับ 3, 5, 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันปลา ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง โดยให้ปัจจัยอื่นคงที่ ดังนี้ ใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 20:1 (เทียบโดยโมลของกรดไขมันอิสระ) และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 80 ± 2 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 17 และ 18



ภาพที่ 17 ผลการลดกรดไขมันอิสระโดยใช้กรดซัลฟูริก ที่ปริมาณ 3, 5, 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมันปลา ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1 ถึง 4 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน 20:1 ที่อุณหภูมิ 80 ± 2 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 17 พบว่า ค่ากรดไขมันอิสระจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมงแรก และที่ปริมาณกรดซัลฟูริก 3, 5, 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง สามารถลดกรดไขมันอิสระให้มีค่าเฉลี่ยคงเหลือเท่ากับ 2.97, 2.23, 1.54 และ 1.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงจะเห็นได้ว่าปริมาณของกรดซัลฟูริกและระยะเวลาทำปฏิกิริยามีผลต่อการลดกรดไขมันอิสระ

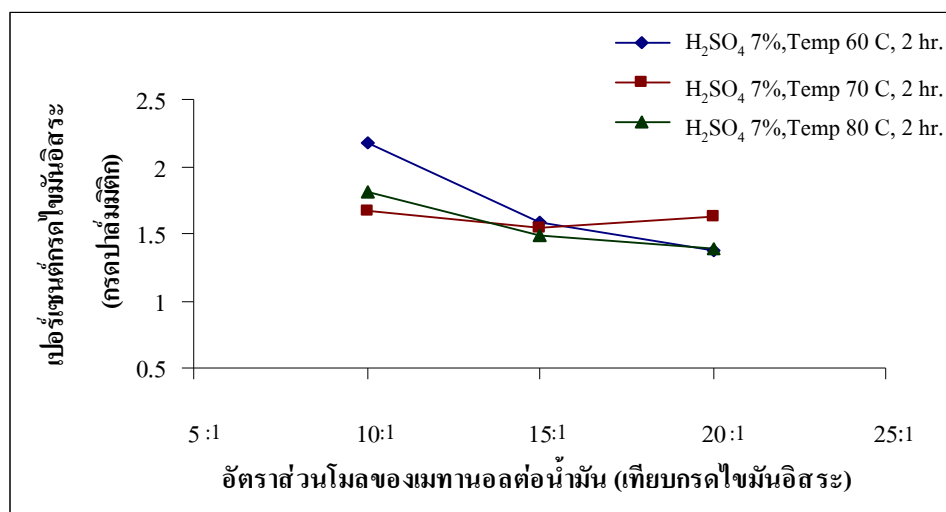


ภาพที่ 18 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตน้ำมันที่ได้จากการลดกรดไขมันอิสระ ที่ปริมาณกรดซัลฟริก 3, 5, 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมันปลา ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1 ถึง 4 ชั่วโมง โดยใช้ อัตราส่วนเมทานอลต่อน้ำมัน ที่ 20:1 ที่อุณหภูมิ 80 ± 2 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 18 พบว่า ที่ปริมาณของกรดซัลฟริก 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตน้ำมันเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 97.29, 98.05, 96.77 และ 97.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งชุดการทดลองที่เหมาะสมในการลดกรดไขมันอิสระให้มีค่าน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซลในขั้นตอนต่อไป คือ ชุดการทดลองที่ใช้กรดซัลฟริก 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้เวลาทำปฏิกิริยานาน 2 ชั่วโมง ซึ่งให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด ถึงแม้ว่าที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง ระยะเวลาที่มากกว่า 2 ชั่วโมง และปริมาณกรดซัลฟริกที่ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม แต่ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง อาจจะไม่เพียงพอในการทำปฏิกิริยาในระดับสเกลที่มีขนาดใหญ่ และที่ระยะเวลามากกว่า 2 ชั่วโมง อาจจะต้องสิ้นเปลืองเวลาและพลังงานในการผลิต และปริมาณกรดที่มากเกินไปจะไปส่งผลให้กรดเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์เป็นผลให้ต้องใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในขั้นตอนที่ 2 มากขึ้น

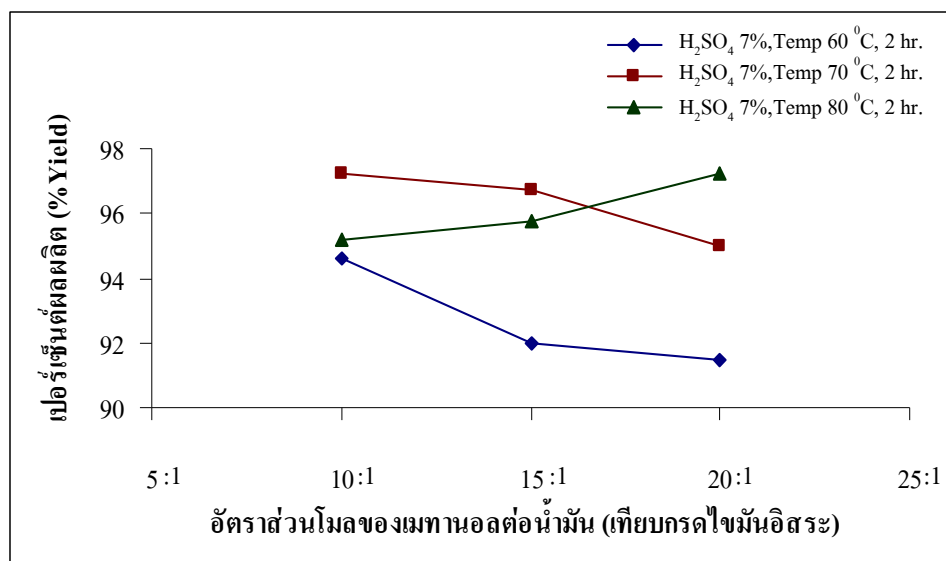
2.1.2 การหาอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

จากการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่มีผลต่อการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปลา (โดยเทียบกับกรดไขมันอิสระ) ที่ 10:1, 15:1, และ 20:1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 ± 2 , 70 ± 2 และ 80 ± 2 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณของกรดซัลฟูริกที่ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันปลา ระยะเวลาทำปฏิกิริยานาน 2 ชั่วโมง มีผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 19 และ 20



ภาพที่ 19 ผลการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปลาที่อัตราส่วนเมทานอล 10:1, 15:1, และ 20:1 อุณหภูมิที่ระดับ 60, 70 และ 80 (± 2) องศาเซลเซียส โดยใช้กรดซัลฟูริกที่ 7 เปอร์เซ็นต์ ทำปฏิกิริยานาน 2 ชั่วโมง

จากภาพที่ 19 พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิเท่ากัน ค่าการลดลงของกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นปริมาณของแอลกอฮอล์ที่มากเกินไปเป็นความต้องการเพื่อให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปทิศทางขวา และที่อัตราส่วนเมทานอลเท่ากันแต่เพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา การลดลงของกรดไขมันอิสระไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลา 10:1 ที่อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 60, 70 และ 80 (± 2) องศาเซลเซียส สามารถลดกรดไขมันอิสระให้มีค่าเฉลี่ยคงเหลือเท่ากับ 2.17, 1.67 และ 1.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 20 เปอร์เซนต์ผลผลิตน้ำมันที่ได้จากการลดกรดไขมันอิสระ ที่อัตราส่วนเมทานอล 10:1, 15:1 และ 20:1 อุณหภูมิที่ระดับ 60, 70 และ 80 (± 2) องศาเซลเซียส โดยใช้กรดซัลฟริกที่ 7 เปอร์เซนต์ ทำปฏิกิริยานาน 2 ชั่วโมง

จากภาพที่ 20 เมื่อใช้ปริมาณกรดซัลฟริกที่ 7 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ทำปฏิกิริยานาน 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 70 ± 2 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาให้สูงขึ้น พบว่า เปอร์เซนต์ผลผลิตของน้ำมันได้ค่าเฉลี่ยที่ลดลงเท่ากับ 94.59, 97.24 และ 95.21 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับที่อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 60 ± 2 องศาเซลเซียส ที่ให้เปอร์เซนต์ผลผลิตของน้ำมันปลามีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 94.59, 92.01 และ 91.50 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกันที่อุณหภูมิ 70 ± 2 องศาเซลเซียส สามารถให้ค่าเปอร์เซนต์ผลผลิตน้ำมันได้สูงกว่า

ดังนั้นจึงเลือกสภาวะที่เหมาะสมต่อการลดกรดไขมันอิสระให้มีค่าน้อยกว่า 2 เปอร์เซนต์ คือ การใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 10:1 อุณหภูมิ 70 ± 2 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีความเหมาะสมในการลดกรดไขมันอิสระและให้เปอร์เซนต์ผลผลิตได้ดีที่สุด ถึงแม้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนของเมทานอลจะสามารถลดกรดไขมันอิสระได้ แต่จะเกิดการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการผลิต และถ้ามากเกินไปส่งผลทำให้ค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟริกลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาลดลงกรดไขมันอิสระอาจจะเพิ่มสูงขึ้น

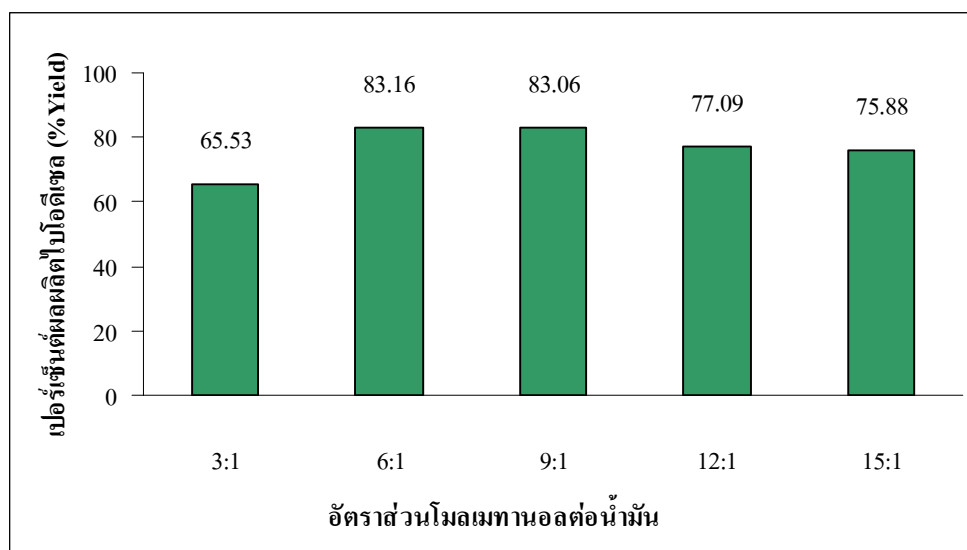
2.2 ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Tranesterification)

เป็นขั้นตอนการแปลงน้ำมันปลาที่ลดกรดไขมันอิสระจากขั้นตอนแรกแล้วให้เป็นเมธิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) กับกลีเซอรอล โดยนำน้ำมันปลาที่ผ่านกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดย ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซล คือ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 3:1 ถึง 15:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิทำปฏิกิริยาที่ 50 ถึง 75 (± 2) องศาเซลเซียส ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 15 ถึง 60 นาที เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลได้ปริมาณสูงสุด และนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าความหนืด ค่าความร้อน โดยมีผลการทดลองดังนี้

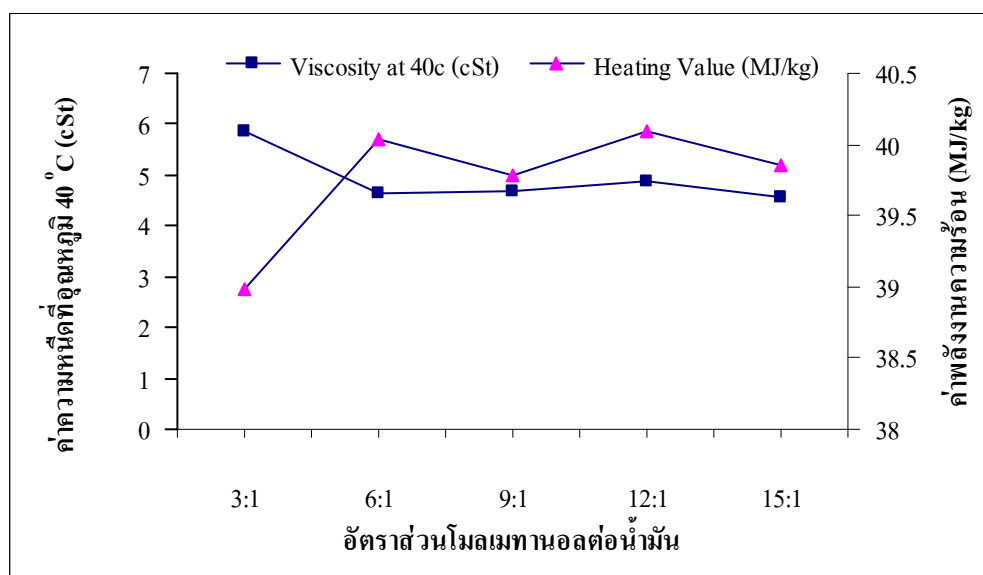
2.2.1 ศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่เหมาะสม

จากการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลที่ 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 และ 15:1 โดยให้ปัจจัยอื่นคงที่ ดังนี้ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส และระยะเวลาทำปฏิกิริยานาน 30 นาที มีผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 21 และ 22

จากการทดลองเมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาขึ้น เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นตามลำดับ เป็นผลเนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบย้อนกลับได้ ดังนั้นการเติมปริมาณของเมทานอลให้มากเกินไป สมดุลของปฏิกิริยาจะเลื่อนไปในทิศทางขวาของผลิตภัณฑ์มากขึ้น แต่เมื่อปริมาณของเมทานอลมากกว่า 9:1 พบว่าไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไบโอดีเซล อาจเป็นผลเนื่องจากไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันถูกใช้ทำปฏิกิริยากับเมทานอลจนหมดแล้วและเนื่องจากเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ ส่งผลต่อการแยกกลีเซอรอลออกเอสเทอร์เพราะว่าแอลกอฮอล์ที่มากเกินไปจะทำให้ความสามารถในการละลายของกลีเซอรอลในเอสเทอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งกลีเซอรอลที่ผสมอยู่จะเป็นตัวช่วยให้สมดุลย้อนกลับไปทางซ้ายเป็นผลให้ผลผลิตที่ได้ลดลง และอัตราส่วนที่เหมาะสมของโมลเมทานอลต่อน้ำมันปลา คือ 6:1 ซึ่งให้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 83.16 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 เปอร์เซนต์ของผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้กับการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 และ 15:1 โดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซนต์ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที



ภาพที่ 22 ค่าความหนืดและค่าพลังงานของไบโอดีเซลน้ำมันปลาที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลา 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 และ 15:1 โดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซนต์ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

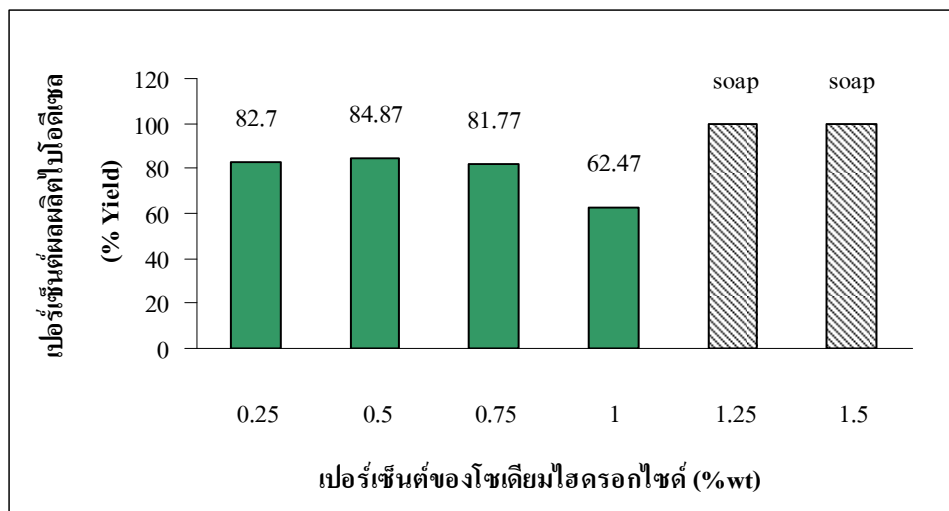
จากภาพที่ 22 พบว่า ค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลในแต่ละอัตราส่วน โดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 3:1 มีค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เฉลี่ยเท่ากับ 5.85 เซนติสโตกส์ เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลของประเทศไทย พ.ศ. 2550 กำหนดค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง 3.5-5.0 เซนติสโตกส์ ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่ที่อัตราส่วนอื่นๆ ค่าความหนืดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ส่วนค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ในแต่ละอัตราส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1 เนื่องจากมีความเหมาะสมให้ปริมาณน้ำมันได้สูงสุด คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลด้านความหนืดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และให้ค่าความร้อนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 40.04 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม

2.2.2 ศึกษาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม

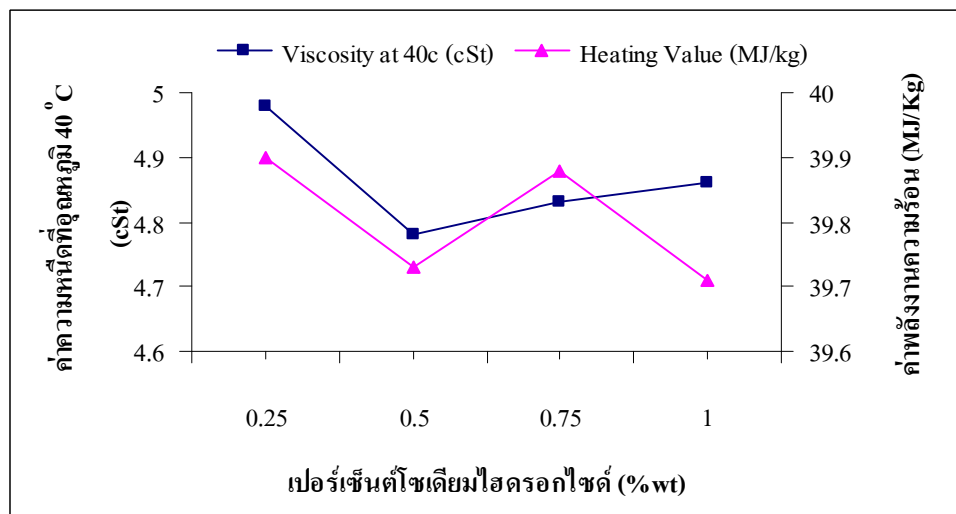
จากการศึกษาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาที่ 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์ม ที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 โดยให้ปัจจัยอื่นๆคงที่ คือ อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 60 ± 2 องศาเซลเซียส และระยะเวลาทำปฏิกิริยานาน 30 นาที มีผลการทดลองดังภาพที่ 23 และ 24

จากภาพที่ 23 แสดงให้เห็นว่าเมื่อการเพิ่มปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวเร่งเป็นการเพิ่มสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมโยงให้กรดไขมันอิสระแตกตัวออกจากไตรกลีเซอไรด์และทำให้ไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ได้มากขึ้น มีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้ใกล้เคียงกับการวิจัยของ Leung and Guo (2006) ที่ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันคาโนลา และน้ำมันที่ผ่านการใช้แล้ว เมื่อเพิ่มปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 0.5 ถึง 1.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักทำให้ปริมาณเอสเทอร์เพิ่มมากขึ้น

จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากพอถึงจุดหนึ่ง และถ้าเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์มากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์สบู่ (soap) ซึ่งไม่สามารถแยกผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลออกมาได้ โดยที่ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน สามารถให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไบโอดีเซลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.7, 84.87, 81.77 และ 62.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 23 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตไบโอดีเซลที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25-1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 6:1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

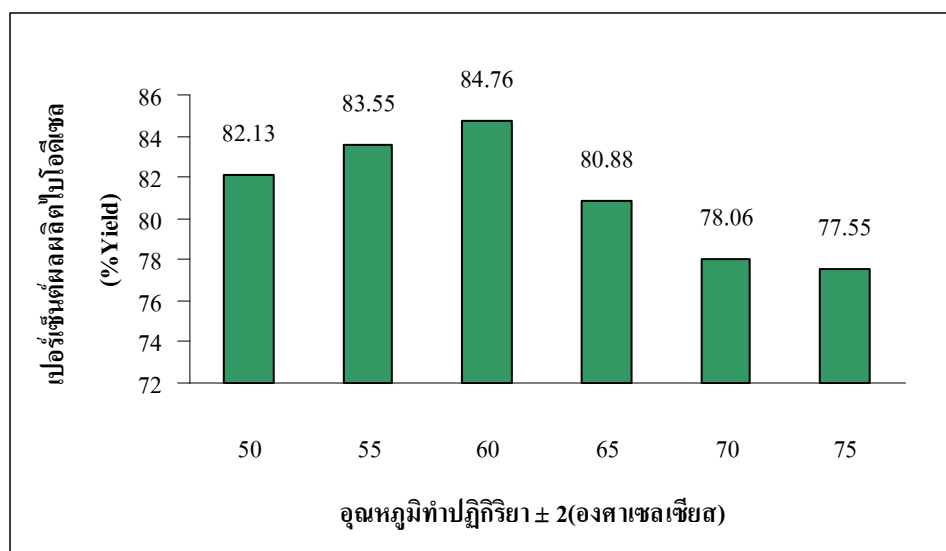


ภาพที่ 24 ค่าความหนืดและค่าพลังงานของไบโอดีเซลน้ำมันปลาที่ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25-1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 6:1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

จากภาพที่ 24 เมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลไปทดสอบค่าความหนืดและค่าความร้อน พบว่า ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน มีค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเฉลี่ยเท่ากับ 4.98, 4.78, 4.83 และ 4.86 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และมีค่าความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 39.90, 39.73, 39.88 และ 39.71 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม คือ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมันปลา เนื่องจากให้ผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในเปอร์เซ็นต์ที่สูงที่สุด และมีค่าความหนืดที่ต่ำกว่าค่าอื่นๆ

2.2.3 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา

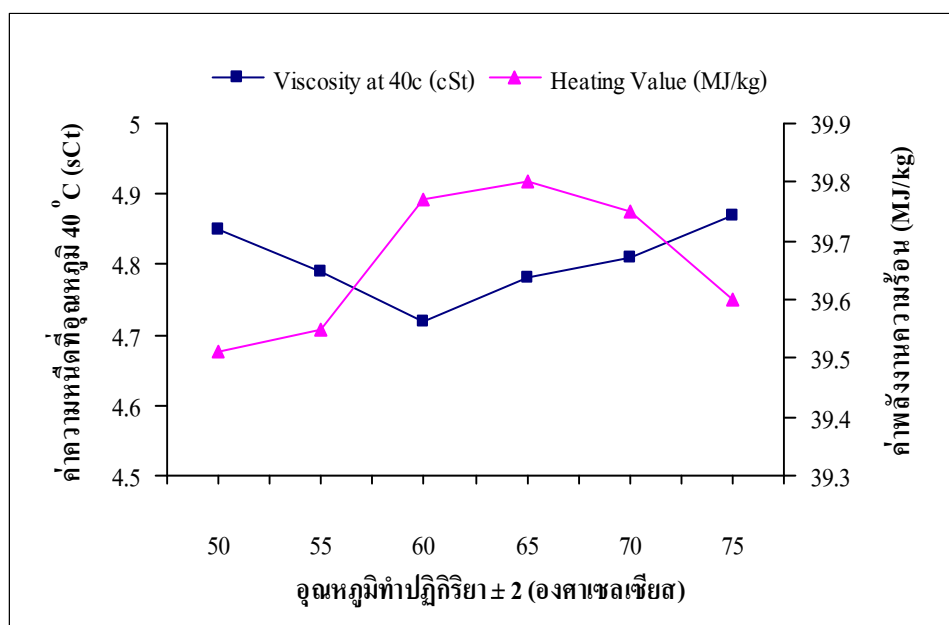
จากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาที่ 50, 55, 60, 65, 70 และ 75 (± 2) องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และให้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานาน 30 นาที มีผลการทดลองดังภาพที่ 25 และ 26



ภาพที่ 25 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 50 ถึง 75 (± 2) องศาเซลเซียสโดยใช้ อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 6:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำปฏิกิริยา นาน 30 นาที

จากภาพที่ 25 พบว่า ที่อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 50, 55, 60, 65, 70 และ 75(± 2) องศาเซลเซียส ให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไบโอดีเซล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.13, 83.55, 84.76, 80.88, 78.06 และ 75.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะทำให้ปริมาณไบโอดีเซลเพิ่มสูงขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาแปรผันตรงกับอุณหภูมิ แต่ในความสัมพันธ์นี้มีแค่ช่วงก่อน อุณหภูมิจุดเดือดเมทานอลอยู่ที่ 64.7 องศาเซลเซียส ซึ่งถ้าใช้อุณหภูมิที่สูงเกินจะทำให้เกิดปฏิกิริยาลดลง เนื่องจากการสูญเสียเมทานอลในระหว่างการทำปฏิกิริยา

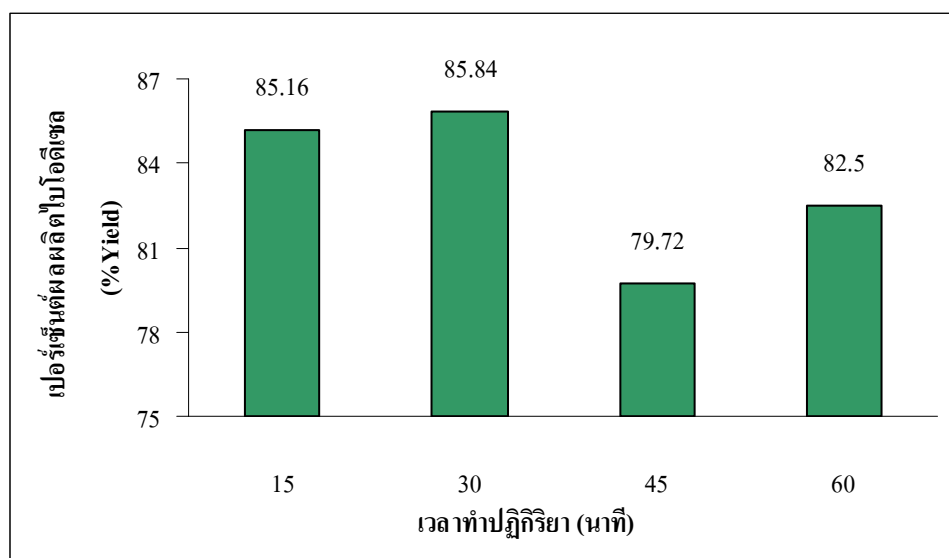
และจากการนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง พบว่า ที่อุณหภูมิ 50, 55, 60, 65, 70 และ 75(± 2) องศาเซลเซียส มีค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเฉลี่ยเท่ากับ 4.85, 4.79, 4.72, 4.78, 4.81 และ 4.87 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด และค่าความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 39.51, 39.55, 39.77, 39.8, 39.75 และ 39.6 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังภาพที่ 26 ดังนั้น จึงเลือกอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 (± 2) องศาเซลเซียสในการทดลองต่อไป เนื่องจากให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด



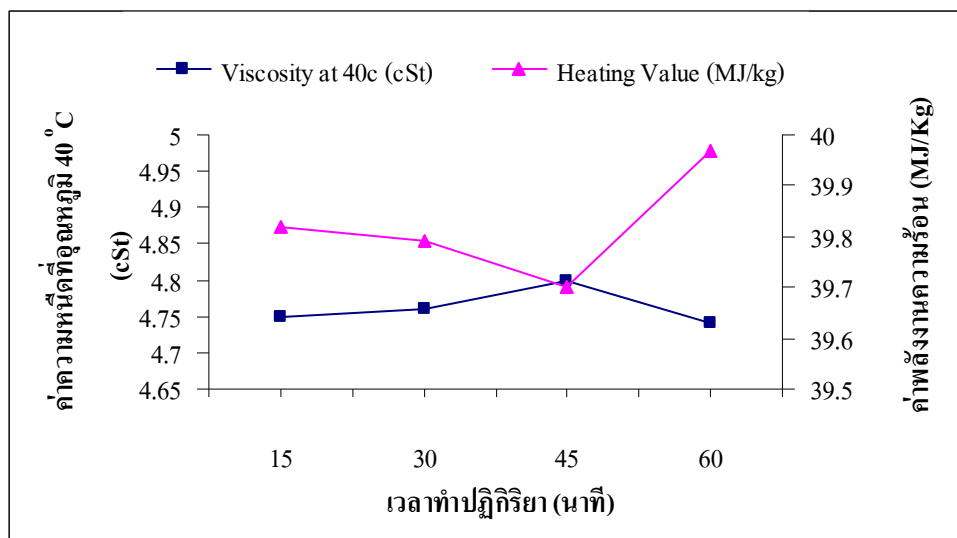
ภาพที่ 26 ค่าความหนืดและค่าความร้อนของไบโอดีเซลน้ำมันปลาที่อุณหภูมิ 50 ถึง 75 (± 2) องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 6:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำปฏิกิริยานาน 30 นาที

2.2.4 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา

จากการศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา 15, 30, 45 และ 60 นาที ที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 6:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เร่งปฏิกิริยา 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา $60(\pm 2)$ องศาเซลเซียส มีผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 27 และ 28 พบว่า เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยาที่ 15 และ 30 นาที มีค่าสูงใกล้เคียงกัน เฉลี่ยเท่ากับ 85.16 และ 85.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนที่ระยะเวลามากกว่า 30 นาที จะมีให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไบโอดีเซล มีค่าลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาดำเนินการไปค่อนข้างช้า ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุล(ปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน) และที่ระยะเวลานานมากขึ้นส่งผลทำให้กรดไขมันอิสระที่หลงเหลือในน้ำมันเปลี่ยนเป็นสบู่ จึงทำให้การล้างผลิตภัณฑ์ได้ยากต้องใช้น้ำล้างในปริมาณมาก เกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์มากขึ้น โดยที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 45 และ 60 นาที ให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 79.72 และ 82.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 27 เปอร์เซ็นต์ผลผลิตไบโอดีเซลน้ำมันปลาที่ระยะเวลา 15 ถึง 60 นาที อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 6:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ $60(\pm 2)$ องศาเซลเซียส



ภาพที่ 28 ค่าความหนืดและค่าพลังงานของไบโอดีเซลน้ำมันปลาที่ระยะเวลา 15 ถึง 60 นาที อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 6:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 60 (± 2) องศาเซลเซียส

จากการนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง พบว่าที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 15, 30, 45 และ 60 นาที มีค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเฉลี่ยเท่ากับ 4.75, 4.76, 4.80 และ 4.74 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนค่าความร้อนที่ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 39.97 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ดังภาพที่ 28 ดังนั้นจึงเลือกใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา 30 นาที เนื่องจากให้ผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 85.84 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลในระดับสเกลใหญ่

3. ผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล ที่ได้จากการผลิตที่สภาวะที่เหมาะสมจากขั้นตอนปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาที่ 6:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 60 (± 2) องศาเซลเซียส และระยะเวลาทำปฏิกิริยานาน 30 นาที เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงก่อนการนำน้ำมันไบโอดีเซลไปใช้ประโยชน์ ดังนี้ ค่าความหนืด, จุดไหลเท, จุดวาบไฟ, จุดชุน,

ค่าความเป็นกรด, ค่าความหนาแน่น, ค่าความร้อน, อุณหภูมิการกลั่น(Distillation), ค่าไอโอดีน (วีสต์), โมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์, ไตรกลีเซอไรด์, กลีเซอรินอิสระ, กลีเซอรินทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ (%FAME) แสดงดังตารางที่ 9

จากตารางที่ 9 พบว่า ผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติ ค่าความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส, ความหนาแน่นที่ 15 องศาเซลเซียส, จุดวาบไฟ, ไอโอดีน (วีสต์), ค่าความเป็นกรด, โมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์, ไตรกลีเซอไรด์, กลีเซอรินอิสระ และ กลีเซอรินทั้งหมด ของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล น้ำมันปลา มีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 และค่ามาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน ซึ่งถือว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ แต่มีเพียงเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550

ในส่วนของอุณหภูมิในการกลั่น (Distillation) ของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลน้ำมันปลาเป็นค่าที่แสดงถึงการระเหยเป็นไอได้ง่ายของเชื้อเพลิง ซึ่งปกติก่อนเชื้อเพลิงจะสันดาปได้ต้องมีการระเหยเป็นไวก่อน แต่ถ้าน้ำมันนั้นต้องใช้อุณหภูมิสูงจึงระเหยได้ จะยากต่อการสันดาป แต่ถ้า น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดใดมีค่าการระเหยเป็นไวดำจะก่อให้เกิดความล่าช้าในการเผาไหม้ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลน้ำมันปลามาเทียบกับค่ามาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วชนิดธรรมดา ที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละ 90 (% recovered) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 359.5 องศาเซลเซียส และจุดไหลเท (Pour point) ที่มีผลต่อการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนดเพราะจะทำให้ น้ำมันแข็งตัวมีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกินมาตรฐานของน้ำมันดีเซล เนื่องจากค่าเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์มีค่าที่ต่ำ อาจจะไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรง แต่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลได้ในเครื่องยนต์การเกษตร เนื่องจากมีค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 39.77 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ค่าความร้อนจากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับศึกษาวิจัยของ Cherng and Rong (2008) ที่ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปลาทะเลดิบ (Crude marine fish oil) มาทำให้บริสุทธิ์โดยการดูดซับด้วย Active clay และนำมาผลิตไบโอดีเซลโดยใช้อัตราส่วนโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าความร้อนเท่ากับ 41.37 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 9 คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับมาตรฐานไบโอดีเซล มาตรฐาน
ไบโอดีเซลชุมชน และ มาตรฐานน้ำมันดีเซล

คุณสมบัติ	หน่วย	ไบโอดีเซล น้ำมันปลา	มาตรฐาน ไบโอดีเซล พ.ศ. 2550 ^b	มาตรฐาน ไบโอดีเซล ชุมชน ^c	มาตรฐาน น้ำมันดีเซล (ธรรมดา) ^d
ความหนืดที่ 40 °C	cSt	4.69	3.5-5.0	1.9-8.0	1.8-4.1
ความหนาแน่นที่ 15 °C	Kg/m ³	885	860-900	860-900	-
ค่าความร้อน	MJ/Kg	39.77	-	-	-
จุดวาบไฟ	°C	164.0	≥ 120	-	≥ 52
จุดขุ่น	°C	12	-	-	-
จุดไหลเท	°C	14	-	-	≤ 10
ค่าไอโอดีน (วีสต์) ^a	gIodine/100g	101.3	≤ 120	-	-
ค่าความเป็นกรด	mgKOH/g	0.46	≤ 0.5	≤ 0.80	-
เมทิลเอสเทอร์	%wt	72.21	≥ 96.5	-	-
โมนอกลิเซอไรด์ ^a	%wt	0.71	≤ 0.80	-	-
ไดกลิเซอไรด์ ^a	%wt	≤ 0.10	≤ 0.20	-	-
ไตรกลิเซอไรด์ ^a	%wt	≤ 0.10	≤ 0.20	≤ 0.20	-
กลีเซอรินอิสระ ^a	%wt	≤ 0.01	≤ 0.20	≤ 1.5	-
กลีเซอรินทั้งหมด ^a	%wt	≤ 0.22	≤ 0.25	-	-
อุณหภูมิในการกลั่น	°C				
- IBP	°C	303.5	-	-	-
- 50 %	°C	329.75	-	-	-
- 90%	°C	359.5	-	-	357
- EBP	°C	360	-	-	-

หมายเหตุ ^a วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ

^b ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550

^c ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549

^d ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2550

จากคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปลาที่ได้จากการแยกสกัดชั้นตะกอนไขมันจากบ่อดักไขมันของโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซลชุมชน สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์การเกษตรได้ในอนาคต ทั้งนี้ต้องใช้กระบวนการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปลาด้วยกระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน และการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ในการผลิตไบโอดีเซลน้ำมันปลา จำนวน 1 ลิตร จากทั้งสองกระบวนการ จะต้องใช้ใช้น้ำมันปลา(จากการแยกสกัด) 1062 กรัม กรดซัลฟูริก 74.34 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5.16 กรัม และเมทานอลรวม 655 มิลลิลิตร (518.75 กรัม) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมี(เกรดอุตสาหกรรม)ในการผลิตรวม 12.73 บาทต่อลิตรไบโอดีเซลน้ำมันปลา (รายการคำนวณแสดงดังภาคผนวก ข)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำชั้นตะกอนไขมันปลาที่เป็นของเสียจากโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็งมาผลิตไบโอดีเซล สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ชั้นตะกอนไขมันปลาที่ได้จากบ่อดักตะกอนไขมันของโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง (ผลิตสุริมิ) สามารถนำมาแยกสกัดน้ำมันด้วยวิธีการเจียวด้วยความร้อน ให้ปริมาณน้ำมันเฉลี่ย 27.37 ± 2.93 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acid) และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) รวม 42.57 และ 57.43 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และน้ำมันปลาที่ได้มีค่ากรดไขมันอิสระสูง 22.41 เปอร์เซ็นต์ในรูปของกรดปาล์มมิก ซึ่งมีค่าที่ไม่เหมาะสมในการนำน้ำมันมาใช้งานในเครื่องยนต์โดยตรง เนื่องจากมีค่าความหนืดสูง และในการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยตรงได้ เนื่องจากจะเกิดผลิตภัณฑ์สบู่ ดังนั้นจึงต้องใช้กระบวนการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน คือ กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดกรดไขมันอิสระและกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อผลิตไบโอดีเซล

2. ปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปลาพบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลา (เทียบโดยโมลของกรดไขมันอิสระ) ที่ 10:1 ปริมาณของกรดซัลฟูริกที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิทำปฏิกิริยาที่ 70 ± 2 องศาเซลเซียส และระยะเวลาทำปฏิกิริยานาน 2 ชั่วโมง สามารถลดกรดไขมันอิสระให้เหลือมีค่าน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ได้ 92.55 เปอร์เซ็นต์ (จากค่าเฉลี่ยของกรดไขมันอิสระเท่ากับ 22.41 เปอร์เซ็นต์ เป็น 1.67 เปอร์เซ็นต์) และให้ผลผลิตน้ำมันได้สูงสุดเท่ากับ 97.29 เปอร์เซ็นต์

3. ปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อผลิตไบโอดีเซลโดยนำผลผลิต(น้ำมันปลา)จากการกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันมาผลิตและสามารถให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้มากที่สุด เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลา 6:1 ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิทำปฏิกิริยาที่

60±2 องศาเซลเซียส และระยะเวลาทำปฏิกิริยานาน 30 นาที ให้ผลผลิตไบโอดีเซลน้ำมันปลา สูงสุดเท่ากับ 85.84 เปอร์เซ็นต์

4. เมื่อทดสอบหาคุณสมบัติของไบโอดีเซลน้ำมันปลาได้แก่ ค่าความหนืด ความหนาแน่น จุดวาบไฟ จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความเป็นกรด ค่าไอโอดีน โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรินอิสระ และกลีเซอรินทั้งหมด พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของข้อกำหนดและคุณภาพไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและข้อกำหนดคุณภาพไบโอดีเซลชุมชนที่ประกาศโดยกรมธุรกิจพลังงาน แต่ยกเว้นเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าข้อกำหนดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่กำหนดไว้มากกว่าหรือเท่ากับ 96.5 เปอร์เซ็นต์ แต่ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 39.77 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์การเกษตรได้ และมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการผลิตไบโอดีเซลน้ำมันปลาเป็นเงิน 12.73 บาทต่อลิตร (ราคาสารเคมีเกรดอุตสาหกรรม: กรดซัลฟูริก 8 บาทต่อกิโลกรัม, โซเดียมไฮดรอกไซด์ 39 บาทต่อกิโลกรัม และเมทานอล 23 บาทต่อกิโลกรัม)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรที่จะศึกษาการนำไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปลาไปทดสอบการเดินเครื่องยนต์ การเกษตร เพื่อดูประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ พร้อมทั้งวัดปริมาณที่ปล่อยไอเสียออกมาเพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการปรับปรุงและช่วยรักษาสภาพแวดล้อม
2. ควรที่จะศึกษาปัจจัยการอัตราเร็วในการกวนผสมเพราะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มปริมาณไบโอดีเซล เนื่องจากการกวนที่เหมาะสมสามารถทำให้การรวมตัวของสารละลายได้ดี ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น หรือเปรียบเทียบชนิดของอ่างที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. ควรทำการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไบโอดีเซลจากของเสีย และจากการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน เปรียบเทียบกับการผลิตแบบขั้นตอนเดียว และทั้งนี้ควรได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐอย่างจริงจัง ซึ่งการนำชั้นตะกอนไขมันก็เป็นอีกทางหนึ่งในการลดและกำจัดของเสียประเภทไขมัน และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียต่อไปในอนาคต

4. จากการคำนวณประมาณราคาค่าใช้จ่ายในการผลิตไบโอดีเซลน้ำมันปลานั้นได้ใช้ราคาขายปลีกของสารเคมีเกรดอุตสาหกรรมในท้องตลาดเทียบกับปริมาณความเหมาะสมของสารเคมีเกรด Analytical ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งคุณภาพอาจจะแตกต่างกันจึงควรที่จะทำการทดลองเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำจัดชั้นตะกอนไขมัน นอกเหนือจากการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพ

5. ควรทำการศึกษาปริมาณของเสียชั้นตะกอนไขมันที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตอาหารทะเลแช่แข็งในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนในอนาคต และศึกษาวิธีการสกัดแยกน้ำมันออกจากชั้นตะกอนไขมันที่เหมาะสมในการลดการเกิดกรดไขมันอิสระที่เป็นปัญหาในการผลิตไบโอดีเซล

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมธุรกิจพลังงาน. 2549. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนด ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549. แหล่งที่มา: <http://www.doeb.go.th/law/law.html>, 16 มกราคม 2551

_____. 2550ก. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2550. แหล่งที่มา: <http://www.doeb.go.th/law/law.html>, 16 มกราคม 2551.

_____. 2550ข. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล ประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550. แหล่งที่มา: <http://www.doeb.go.th/law/law.html>, 16 มกราคม 2551.

กรรณิการ์ ชูเกียรติวัฒนา. 2543. จุลชีววิทยาล้างแวล้อม. โคราซอพอเซ่การพิมพ์, นครราชสีมา.

กองบรรณาธิการ. 2544. ไบโอดีเซลจะเป็นทางเลือกของไทยหรือไม่. เทคนิค. 18(200): 128-132

กัญญา บุญเกียรติ. 2544. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. วิศวกรรมกรรมการจัดน้ำเสีย. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ธราพงษ์ วิทิตศาสนต์, สุชนา นิตวัฒนานนท์, นุจรี เลาห์ประเสริฐ และ ธนาทิพย์ อัสวคงสิทธิ์. 2546. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันพืชที่ประกอบอาหารมาใช้ประโยชน์ แทนด้านพลังงาน (ส่วนที่ 2). สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

นิธิยา รัตนปนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

เนื่อทอง วรานุวัธ. 2549. น้ำมัน ไขมันและผลิตภัณฑ์, น. 347-361. ในคณะอาจารย์ภาควิชา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์
ครั้งที่ 5. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

ประกาศิต คุณพระศิลา. 2550. การผลิตไบโอดีเซลจากถั่วเหลืองโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์
ฟิเคชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ประเสริฐ เทียนนิมิตร, ขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์ และ ปานเพชร ชินินทร. 2540. เชื้อเพลิงและ
สารหล่อลื่น. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

ปิยะ ศรีรักษา และ ประพุดิ พรหมสมบูรณ์. 2538. ไบโอดีเซล: พลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลของ
ประเทศไทย. วารสารศูนย์บางพระ. 38(4): 57-61.

พจน์ ศรีบุญลือ, โสพิศ วงศ์คำ และ พัชร บัญศิริ. 2543. ตำราชีวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชา
ชีวเคมีคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

พนิดา สามพรานไพบูลย์, ชฎาพร ผลดอน, สมคิด สุวรรณชาติ และ น้ำมันด์ จันทน์นิม. 2548.
การผลิตพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลจากของเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมไก่แช่แข็ง. ใน
รายงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15, 27-
28 ตุลาคม, โรงแรมจอมเทียนปาล์ม บีช รีสอร์ท, พัทยา, จ.ชลบุรี.

สรเรณีย์ ทรัพย์ไธยก. 2531. โภชนาการเชิงชีวเคมี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2550. การผลิตและการตรวจสอบ
มาตรฐานไบโอดีเซลเบื้องต้น. แหล่งที่มา:
<http://www.tistr.or.th/tistr2006/source/techno/bio200712.pdf>, 18 ตุลาคม 2551.

สถาบันอาหาร. 2548. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการพัฒนาฐานข้อมูลอุตสาหกรรมเชิงเปรียบเทียบเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน(Competitive Benchmarking) สาขาอาหาร. แหล่งที่มา: www.oie.go.th/Benchmarking/Food/Food.html, 20 มกราคม 2551

สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม. 2544. คู่มือตรวจสอบงานก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียชนิดถังสำเร็จรูป โครงการก่อสร้าง ระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลชุมชนระยะที่2. (เอกสารหมายเลข 6). กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, นนทบุรี.

ASTM Standard, D 86. 1989. Distillation of Petroleum Products. *In America Socity for Testing and Materials*. USA

ASTM Standard, D 240. 1989. Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuel by Bomb Calorimeter. *In America Socity for Testing and Materials*. USA

ASTM Standard, D 93. 1999. Flash-Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester, pp 93-107. *In America Socity for Testing and Materials*. 36th ed. USA

ASTM Standard, D 445. 1999. Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids. pp 374-382. *In America Socity for Testing and Materials*. 36th ed. USA.

AOCS Official Methods, Ca 5a-40. 1997. Free Fatty Acids. *In: Official Methods and Recommended Practices. the American Oil Chemists' Society*. 5th ed.. USA.

Armenta, R.E., M. Vinatoru, A.M. Burja, J.A. Kralovec and C.J. Barrow. 2007. Transesterification of Fish Oil to Produce Fatty Acid Ethyl Esters Using Ultrasonic Energy. *Journal of the American Oil Chemist Society*. 84(11): 1045-1052.

Canakci, M. and J. V. Gerpen. 1999. Biodiesel Production via Acid catalysis. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 42 (5): 1203-1210.

- _____. 2001. Biodiesel Production from Oils and Fats with High Free Fatty Acids. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**. 44(6): 1429-1436.
- Cherng, Y.L. and L. Rong-Ji. 2008. Fuel properties of diesel produced from the crude fish oil from the soapstock of marine fish. **Fuel processing technology**. 90: 130-136.
- Darnoko, D. and M. Cheryan. 2000. Kinetics of palm oil transesterification in a batch reactor. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 77 (12) : 1263-1267.
- Firestone, D. 2000. Oil and Fats, pp 1-69. *In* Official Methods of Analysis. **The Association of Official Analytical Chemists**. 17th ed. Vol II. AOAC International. Maryland, USA.
- Freedman, B., E.H. Pryde and T.L. Mounts. 1984. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 61(10): 1638-1643.
- Freedman, B., R.O. Butterfield and E.H. Pryde. 1986. Transesterification kinetics of soybean oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 63(10): 1375-1380.
- Federal Agencies. 2005. **Biodiesel Production**. Available Source: www.federalsustainability.org/images/biodiesel, December 26, 2006.
- Fukuda, H., A. Kondo and H. Noda. 2001. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. **Journal of Bioscience and Bioengineering**. 92: 405-416.
- Ghadge, S.V. and H. Ranheeman. 2005. Biodiesel Production from Mahua (*Madhuca indica*) Oil Having High Free Fatty Acids. **Biomass and Bioenergy**. 28: 601-605.

- Kaieda, M., T. Samukawa, A. Kondo and H. Fukuda. 2001. Effect of Methanol and water contents on production of biodiesel fuel from plant oil catalyzed by various lipases in a solvent free system. **Bioscience and Bioengineering**. 91: 12-15.
- Khan, A.k. 2002. **Research into Biodiesel Kinetics & Catalyst Development**.
Available source: http://www.cheque.uq.edu.au/ugrad/chee4001/CHEE400102/Adam_Khan_Thesis.pdf. April 27, 2008.
- Leung, D.Y.C. and Y. Guo. 2006. Transesterification of Neat and Uesd Frying Oil: Optimization for Biodiesel Production. **Fuel Processing Technology**. 87: 883-890
- Ma, F., L.D. Clements and M.A. Hanna. 1998. The effects of catalyst free fatty acids and water on transesterification of beef tallow. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**. 41(5): 1261-1264.
- Ma, F. and M.A. Hanna. 1999. Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology**. 70: 1-15
- Meher, LC, Vidya Sagar D and Naik SN, 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 10(3): 248–68.
- Nelson, L.A., T.A. FogliaW and N. Marmer. 1996. Lipase-Catalyzed Production of Biodiese. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 73: 1191-1195.
- Praveen, R.M., S.C. Brammer and H. Nouredдини. 1996. Improved conversion of plant oils and animal fats into biodiesel and co-product. **Bioresource Technology**. 56(1): 19-24.
- Ramadhass, A.S., S. Jayaraj and C. Muraleedharan. 2005. Biodiesel production from high FFA rubber seed. **Oil Fuel**. 84(4): 335-340.

- Srivastava, A. and R. Prasad. 1999. Triglycerides-based diesel fuels. **Renewable and Sustainable Energy Review**. 4: 111-133.
- Tanaka, Y., A. Okabe and S. Ando. 1981. **Method for the preparation of a lower alkyl ester or fatty acid**. US patent. 4: 303-590.
- Tashtoush, G.M., I.M. Al-Widyan and M.M. Al-Jarrah. 2004. Experimental study on evaluation and optimization of conversion of waste animal fat into biodiesel. **Energy Conversion and Management**. 45(17): 2697-2711.
- Tucker, B.W. and G.M. Pigott. 1992. **Fish Oil Composition and Properties**. ใน นิธิยา รัตนูปนนท์. 2548. **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- Wang, Y., S. Ou, P. Liu and Z. Zhang. 2007. Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed process. **Energy Conversion and Management**. 48(1): 184-188.
- Watanabe, Y., Y. Shimada, A. Sugihara and Y. Tominaga. 2001. Enzymatic conversion of waste edible oil to biodiesel fuel in a fixed-bed bioreactor. **Journal of the American Oil Chemists Society**. 78(7): 703-707.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมัน

1. การวิเคราะห์หาปริมาณของกรดไขมันอิสระ ตามมาตรฐาน AOCS Official method Ca 5a-40

1. สารเคมี

1.1 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1, 0.25 นอร์มอล

1.2 Standardize สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1, 0.25 นอร์มอลด้วยสารมาตรฐานปฐุมิโพแทสเซียมไฮโครเจนพทาเลต 0.1, 0.25 นอร์มอล

1.3 เตรียมเอทิลแอลกอฮอล์ให้เป็นกลาง โดยการนำเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตรตามตัวอย่าง ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิเมตร แล้วเติมฟีนอล์ฟทาไลน์ 3-4 หยด แล้วทำการไทเทรต ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 หรือ 0.25 นอร์มอล จนได้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู

2. วิธีวิเคราะห์

2.1 เตรียมตัวอย่างน้ำมันปลาโดยการหลอมให้เป็นของเหลว โดยใช้อุณหภูมิที่ทำให้การหลอมไม่เกิน 10 องศาเซลเซียสของจุดหลอมเหลวน้ำมัน

2.2 ชั่งตัวอย่างน้ำมันและเติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ที่ทำให้เป็นกลางแล้ว โดยใช้ตัวอย่างน้ำมันและเอทิลแอลกอฮอล์ให้มีความเหมาะสมกับเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันดังตารางภาคผนวกที่ ก1 ลงในขวดรูปชมพู่

2.3 เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาไลน์ จำนวน 2 มิลลิตรทำการไทเทรตสารละลายน้ำมันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วเขย่าจนได้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู คงที่ประมาณ 30 วินาที บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

2.4 นำปริมาตรของโซเดียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระจากสูตร

$$\text{Free fatty acid as palmitic, \%} = \frac{V \times N \times 25.6}{W}$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)

W คือ น้ำหนักตัวอย่างของน้ำมันปลา (กรัม)

ตารางผนวกที่ ก1 ปริมาณของเอทิลแอลกอฮอล์และน้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการไตเตรทตาม ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน

ช่วงเปอร์เซ็นต์ กรดไขมันอิสระ	น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)	ปริมาตรแอลกอฮอล์ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของด่าง (นอร์มอล)
0.0-0.2	56.4 ± 0.2	50	0.1
0.2-1.0	28.2 ± 0.2	50	0.1
1.0-30.0	7.05 ± 0.05	75	0.25
30.0-50.3	7.05 ± 0.05	100	0.25 หรือ 1.0
50.0-100	3.525 ± 0.001	100	1.0

2. การวิเคราะห์ค่าสaponิฟิเคชัน ตามมาตรฐาน AOAC Official method 920.160

1. สารเคมี

- 1.1 สารละลายแอลกอฮอล์ิกโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 นอร์มอล
- 1.2 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มอล
- 1.3 สารละลายฟีนอล์ฟทาเลอินความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์

2. วิธีการวิเคราะห์

- 2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมันหนัก 5 กรัม ใส่ในขวดกลั่นที่แห้ง และสะอาด
- 2.2 เติมสารละลายแอลกอฮอล์ิกโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 50 มิลลิลิตร และใส่ลูกแก้ว
- 2.3 จัดเครื่องกลั่นพร้อมเปิดน้ำหล่อชุดควบแน่นรีฟลักซ์สารละลาย (ให้เดือดเบาๆ)

นาน 1 ชั่วโมง

- 2.4 นำขวดใส่สารละลายออกจากอุปกรณ์ควบแน่นของชุดกลั่น
- 2.5 เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาเลอิน 5 หยด แล้วไตเตรทด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก
- 2.6 เตรียมและไตเตรท Blank เช่นเดียวกับตัวอย่าง
- 2.7 คำนวณค่าสaponิฟิเคชันจากสูตร

$$\text{ค่าสปอนนิฟิเคชัน} = \frac{(B-A) \times N \times 56.1}{W}$$

W

เมื่อ B คือ ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับ Blank (มิลลิลิตร)

A คือ ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)

W คือ น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)

3. การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความชื้น

1. ชั่งน้ำมันตัวอย่าง(น้ำมันปลา)มีหน่วยเป็นกรัม (m_i) ลงในถ้วยกระเบื้องที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นที่โถดูดความชื้นนาน 30 นาที
2. นำน้ำมันตัวอย่างเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นที่โถดูดความชื้น และทำการชั่งตัวอย่าง (m_f) ในกรณีที่น้ำหนักไม่นิ่งให้อบจนให้น้ำหนักคงที่
3. นำน้ำหนักสุดท้ายมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของน้ำมัน จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

เมื่อ m_i คือ น้ำหนักน้ำมันตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

m_f คือ น้ำหนักน้ำมันตัวอย่างสุดท้าย (กรัม)

4. การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของน้ำมัน

1. เตรียมน้ำมันตัวอย่าง(น้ำมันปลา)โดยนำมาอุ่นให้น้ำมันหลอมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
2. เทน้ำมันตัวอย่างลงในกระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร
3. นำไฮโดรมิเตอร์หย่อนลงไปนกระบอกตวงจนไฮโดรมิเตอร์ทรงตัวอยู่นิ่ง
4. อ่านค่าจากไฮโดรมิเตอร์แล้วบันทึกผล (ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง)

5. การวิเคราะห์ค่าความร้อน (Heating Value) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน (AC-350 Automatic Calorimeter)

1. หลักการทำงานของเครื่อง AC-350 Automatic Calorimeter

เครื่อง AC-350 ใช้อุปกรณ์ประมวลผล Digital Signal Processing (DSP) ในการคำนวณหาค่าความร้อนในตัวอย่างที่เป็นสารอินทรีย์วัตถุ เช่น ถ่าน, ถ่านหิน, น้ำมันหรืออาหาร เป็นต้น ค่าพลังงานความร้อนคำนวณขณะที่เผาตัวอย่าง โดยการควบคุมสิ่งแวดล้อมทั้งหมด ปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาจะขึ้นอยู่กับตัวอย่างนั้น ซึ่งตัวอย่างจะถูกใส่เข้าไปในภาชนะที่บรรจุด้วยออกซิเจนที่มีแรงดันสูง เรียกว่า bomb ขณะทำการวิเคราะห์ bomb จะถูกวางลงในถังที่บรรจุน้ำ และมี thermometer เพื่อวัดการเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำ ระหว่างการวิเคราะห์น้ำรอบ นอกจะถูกควบคุมอุณหภูมิ โดยพัดลม ระบายความร้อน โดยหลักการ Isoperibol จะมีพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งถ่ายเทระหว่างน้ำภายในและภายนอก bucket ดังนั้นในระหว่างการวิเคราะห์ จึงมีการวัดอุณหภูมิของทั้งสองส่วน เพื่อคำนวณหาพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทออกไป และการประมวลผล จะอ่านค่าอุณหภูมิทุก ๆ 6 วินาที เก็บไว้ในหน่วยความจำ เมื่อสิ้นสุดการวิเคราะห์จะนำอุณหภูมิทั้งหมดมาคำนวณหาค่าความร้อน และผลของค่าความร้อน จะสามารถหาค่าความร้อนที่เกิดจากสารที่ใช้สำหรับ spiking, ฟิวส์, ซัลเฟอร์, ไนโตรเจนและความชื้นในตัวอย่าง เพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่ถูกต้อง

2. วิธีการวิเคราะห์



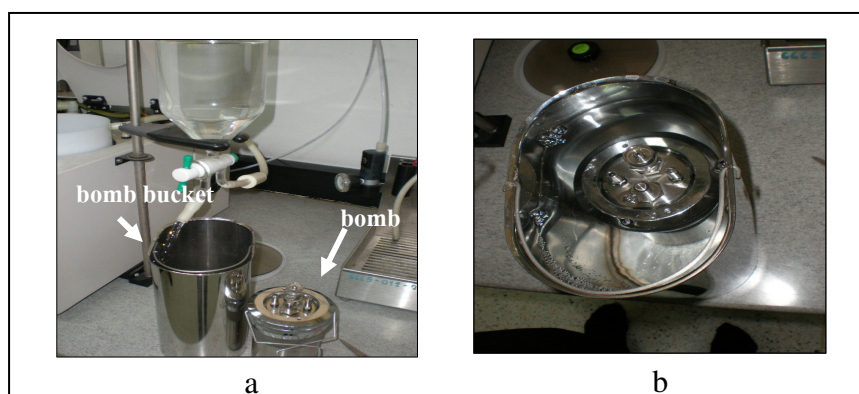
ภาพผนวกที่ ก1 เครื่องมือและอุปกรณ์วัดค่าความร้อน (AC-350 Automatic Calorimeter)

การเตรียม bomb

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมันหนัก 0.5-1.0 กรัมใส่ลงใน crucible
2. นำ crucible ที่บรรจุตัวอย่างใส่ลงไปใน Sample Holder และนำฟิวส์มาในช่องใส่ฟิวส์ทั้งสองข้าง (พับไม่ให้สัมผัสตัวอย่าง)
3. นำตัวอย่างไปวางไว้ใน bomb และปิดฝา แล้วเสียบออกซิเจนเข้าช่องเติมออกซิเจน และกดเติมออกซิเจนให้ได้ความดัน 420 psi
4. ดึงที่เติมออกซิเจนออก แล้วนำ bomb ไปวิเคราะห์ (ห้ามทำให้ bomb เฝิง)

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. เปิดน้ำจาก Pipet (2000ml) เข้า bomb bucket โดยให้น้ำกระทบที่ผนังของ bomb bucket เพื่อวนน้ำและลดฟองอากาศ
2. นำ bomb ไปวาง bomb bucket แล้วนำเข้าในเครื่อง AC-350 Automatic Calorimeter ดังภาพผนวกที่ ก2



ภาพผนวกที่ ก2 ขั้นตอนการเปิดน้ำและการบรรจุ bomb a คือ ขั้นตอนการเปิดน้ำลง bomb bucket
b คือ การวาง bomb ลงใน bomb bucket

3. เสียบสายจุกฟิวส์ 2 เส้น เข้าไปที่ช่องเสียบที่ด้านบนของ bomb โดยจับสายไฟที่เป็นฉนวนอย่าให้มีมือโดนน้ำใน bomb bucket เพราะจะทำให้ปริมาณน้ำเปลี่ยนไป และตรวจสอบการรั่วของ bomb (ถ้ารั่วห้ามทำการวิเคราะห์โดยเด็ดขาด) ดังภาพผนวกที่ ก3



ภาพผนวกที่ ก3 ขั้นตอนการต่อสายไฟสำหรับจุดฟิวส์ใน bomb

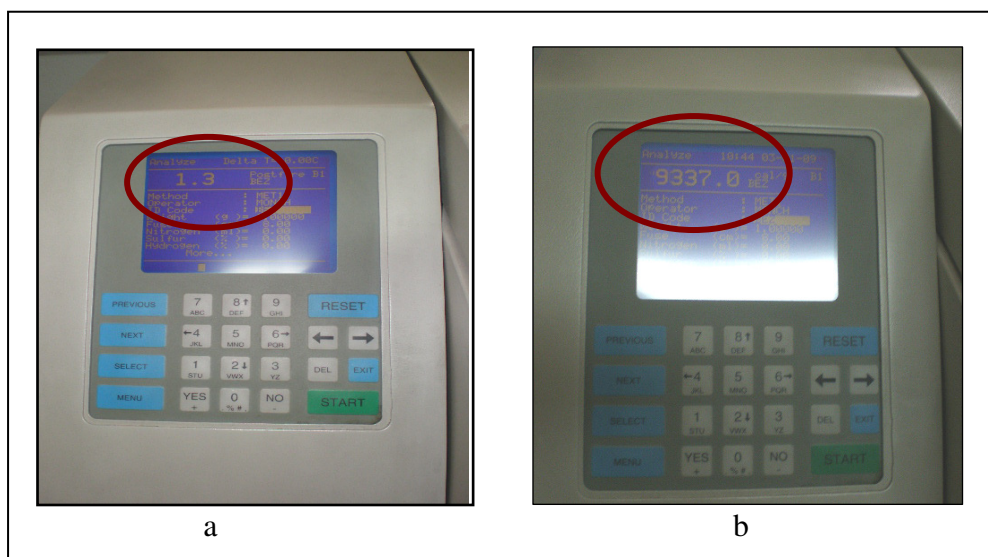
4. ปิดฝา bomb bucket เพื่อให้ thermometer และให้ใบพัดกวน ลงใน bomb bucket และ กดปุ่ม start เพื่อเริ่มทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง เครื่องจะทำงานจุดระเบิดเผาตัวอย่างในครั้งแรก 3 นาที และเผาตัวซ้ำอีกครั้ง 5 นาที (ซึ่งอุณหภูมิในระหว่างการเผาจะเพิ่มขึ้น)

5. เมื่อสิ้นสุดเวลาในการจุดระเบิดแล้ว เปิดฝาแล้ว ถอดสายไฟ และยก bomb ออกจากน้ำ ลดแรงดันอากาศที่เหลือแล้วเปิดฝา bomb และแกะฟิวส์ที่เหลือจากขั้วไฟฟ้าแล้ววัดความยาว ฟิวส์ที่เหลือ

6. นำค่าฟิวส์ที่เหลือหักลบกับฟิวส์ที่ใช้ในครั้งแรก เพื่อนำไปคำนวณค่าความร้อนที่ใช้ไปจริงในส่วนของฟิวส์ แล้วป้อนข้อมูลในส่วนการฟิวส์

7. เครื่อง AC-350 Automatic Calorimeter จะแปลผลค่าความร้อนของตัวอย่าง ดังภาพผนวกที่ ก4

8. ทำความสะอาดและล้าง bomb ด้วยน้ำกลั่นพร้อมทั้งขจัดเศษต่างๆที่ค้างอยู่ใน bomb ออกไปให้แห้ง



ภาพผนวกที่ ก4 การประมวลผลของเครื่องวัดค่าความร้อน a คือ ระยะเวลาที่เครื่องจุระเบิดเผา ตัวอย่าง และ b คือ ค่าที่พลังงานความร้อนที่เครื่องประมวลผลได้ (หน่วย cal/g)

9. ทำการเปลี่ยนหน่วยสำหรับการคำนวณหาพลังงานความร้อนจากความร้อน (จากหน่วย cal/g เป็น MJ/kg)

1 cal	=	4.1868 J
1 Btu	=	1055.06 J
1 cal	=	0.0041868 MJ/kg
1 Btu/lb	=	0.002326 MJ/kg

10. บันทึกผลการทดลอง (ในการทดลองทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง 2 ซ้ำ)

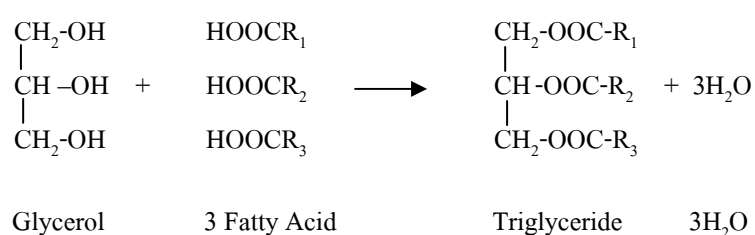
ภาคผนวก ข

การคำนวณค่าต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย

การคำนวณและตัวอย่าง

1. การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปลา

จากโครงสร้างของน้ำมันและไขมัน (ไตรกรีเซอไรด์) เป็นไตรเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน 3 โมเลกุล (นิธิยา, 2548) ดังภาพผนวกที่ ข1



ภาพผนวกที่ ข1 โครงสร้างของน้ำมันและไขมัน

จากการวิเคราะห์ปริมาณและชนิดของกรดไขมันด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry ของน้ำมันปลาที่สกัดได้จากชั้นตะกอนไขมันของบ่อตกไขมันโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็งแสดงดังตารางที่ 8 สามารถนำมาคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปลาได้จากสมการโครงสร้างของน้ำมันดังนี้

$$MW_{\text{Oil}} = MW_{\text{G}} + 3 (MW_{\text{x FA}}) - 3MW_{\text{H}}$$

$$\text{โดยที่} \quad MW_{\text{x FA}} = \frac{\sum (\%FA_n \times MW_n)}{100}$$

$$MW_{\text{Oil}} = \text{น้ำหนักโมเลกุลของน้ำมัน}$$

$$MW_{\text{G}} = \text{น้ำหนักโมเลกุลของกลีเซอรอล (92.09 กรัมต่อโมล)}$$

$$MW_{\text{x FA}} = \text{น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน}$$

$$MW_{\text{H}} = \text{น้ำหนักโมเลกุลของน้ำ (18 กรัมต่อโมล)}$$

วิธีการคำนวณ

$$MW_{x F} = \sum \left(\frac{(0.14 \times 200.32) + (3.1 \times 228.37) + (24.22 \times 256.42) + \dots + (0.53 \times 366.62) + (1.91 \times 330.60)}{100} \right)$$

$$= 286.98$$

แทนค่า

$$MW_{Oil} = 92.09 + (3 \times 286.98) - (3 \times 18)$$

$$MW_{Oil} = 899.03 \text{ กรัมต่อโมล}$$

ดังนั้น น้ำมันปลา มีน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 899.03 กรัมต่อโมล

(รายละเอียดการคำนวณดังตารางภาคผนวกที่ ข1)

ตารางผนวกที่ ข1 ค่าการคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันปลา

กรดไขมัน (Fatty Acid)		น้ำหนัก โมเลกุล	ส่วนประกอบของ กรดไขมัน(เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก)	น้ำหนักโมเลกุล เฉลี่ยกรดไขมัน
ชื่อ	จำนวน คาร์บอนอะตอม	(กรัมต่อโมล)		(กรัมต่อโมล)
Lauric acid	C12:0	200.32	0.14	0.28
Myristic acid	C14:0	228.37	3.1	7.08
Palmitic acid	C16	256.42	24.22	62.10
Palmitoleic acid	C16:1	254.41	6.49	16.51
Heptadecanoic acid	C17	270.45	1.51	4.08
Stearic acid	C18	284.48	10.43	29.67
Oleic acid	C18:1	282.46	13.82	39.04
vaccenic acid	C18:1n7	282.46	3.94	11.13
Linoleic acid	C18:2	280.45	1.27	3.56
Linolenic acid	C18:3	278.43	0.54	1.50
Arachidic acid	C20	312.53	0.71	2.22
Eicosenoic acid	C20:1	310.51	1.27	3.94

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

กรดไขมัน (Fatty Acid)		น้ำหนัก โมเลกุล	ส่วนประกอบของกรด ไขมัน(เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก)	น้ำหนักโมเลกุล เฉลี่ยกรดไขมัน (กรัมต่อโมล)
ชื่อ	จำนวน คาร์บอนอะตอม	(กรัมต่อโมล)		(กรัมต่อโมล)
Eicosatrienoic acid(cis-8,11,14)	C20:3	306.48	0.8	2.45
Arachidonic acid (ARA)	C20:4	304.50	3.13	9.53
Eicosapentaenoic acid(EPA)	C20:5	302.45	5.35	16.18
Heneicosanoic acid	C21:0	326.56	0.42	1.37
Docosenoic acid	C22:1	338.57	0.65	2.20
Docosadienoic acid	C22:2	336.55	1.22	4.11
Docosahexaenoic acid(DHA)	C22:6 n3	328.49	16.51	54.23
Lignoceric acid	C24:0	368.63	2.04	7.52
Nervonic acid	C24:1cis	366.62	0.53	1.94
docosapentaenoic acid (DPA)	c22:5	330.60	1.91	6.31
Total			100	286.98
Molecular weight				899.03

หมายเหตุ วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) โดยศูนย์วิทยาศาสตร์ฮาลาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การคำนวณหาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน(เทียบโดยโมลของกรดไขมันอิสระ) ในกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน

กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นขั้นตอนที่ลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปลาให้มีค่าน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและสามารถคำนวณหาปริมาณเมทานอลและน้ำมันปลาที่ใช้ในการทดลองในแต่ละอัตราส่วน โมลของเมทานอลต่อน้ำมัน โดยคิดเทียบกับโมลของกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันนั้น มีวิธีการดังนี้

กำหนด:

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักโมเลกุลของกรดปาล์มมิติก} &= 256.42 \text{ กรัมต่อโมล} \\ \text{น้ำหนักโมเลกุลของเมทานอล} &= 32.04 \text{ กรัมต่อโมล}\end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ถ้าต้องการเตรียมตัวอย่างน้ำมันปลามีกรดไขมันอิสระ(ในรูปกรดปาล์มมิติก)เท่ากับ 22.42 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลา(เทียบโดยกรดไขมันอิสระ) เป็น 10 : 1 โดยใช้ น้ำมันปลาเริ่มต้นปริมาณ 30 กรัม

$$\text{เมทานอล 10 โมล มีน้ำหนัก} = 10 \times 32.04 = 320.04 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำมันปลา 1 โมล มีน้ำหนักของกรดปาล์มมิติก} = 1 \times 256.42 = 256.42 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำมันปลาปริมาณ 30 กรัม ที่มีกรดปาล์มมิติกอยู่ 22.42 เปอร์เซ็นต์}$$

$$\text{ดังนั้น ในน้ำมันปลาจะมีกรดปาล์มมิติกอยู่ } \frac{22.42}{100} \times 30 = 6.73 \text{ กรัม}$$

$$\text{ถ้าใช้น้ำมันปลาที่มีกรดปาล์มมิติก 256.42 กรัม จะต้องใช้ปริมาณเมทานอล 320.04 กรัม}$$

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น ถ้าใช้น้ำมันปลา 30 กรัม มีกรดปาล์มมิติก 6.73 กรัม จะต้องใช้ ปริมาณเมทานอล} \\ \text{เท่ากับ } \frac{6.73 \times 320.04}{256.42} = 8.40 \text{ กรัม}\end{aligned}$$

หรือ คำนวณจากสมการ

$$g \text{ of MeOH} = \frac{\% \text{ FFA} \times g \text{ of Oil}}{100 \times \text{MW of FFA}} \times \text{Molar ratio of MeOH} \times \text{MW of MeOH}$$

โดยที่

g of MeOH	= น้ำหนักของเมทานอล
% FFA	= เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมัน
MW of FFA	= น้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมัน
Molar ratio of MeOH	= อัตราส่วนโมลของเมทานอล
MW of MeOH	= น้ำหนักโมเลกุลของเมทานอล

3. การคำนวณหาอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันในกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

กระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นขั้นตอนผลิตไบโอดีเซล จากไตรกรีเซอไรด์ที่ได้จากขั้นตอนแรก ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณของเมทานอลและน้ำมันปลาที่ใช้ในการทดลองในแต่ละอัตราส่วน มีวิธีการดังนี้

กำหนด:

มวลโมเลกุลของน้ำมันปลา	=	899.03	กรัมต่อโมล
มวลโมเลกุลของเมทานอล	=	32.04	กรัมต่อโมล

ตัวอย่างการคำนวณ

ถ้าต้องการเตรียมตัวอย่างน้ำมันปลาจากกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปลาเป็น 6 : 1 โดยใช้ น้ำมันปลาเริ่มต้นปริมาณ 30 กรัม

เมทานอล 6 โมล มีน้ำหนัก = $6 \times 32.04 = 192.24$ กรัม

น้ำมันปลา 1 โมล มีน้ำหนัก = $1 \times 899.03 = 899.03$ กรัม

ถ้าใช้น้ำมันปลาปริมาณ 899.03 กรัม จะต้องใช้ปริมาณของเมทานอลเท่ากับ 192.24 กรัม

ดังนั้น ถ้าใช้น้ำมันปลา 30 กรัม จะต้องใช้ปริมาณเมทานอล

$$\text{เท่ากับ } \frac{30 \times 192.24}{899.03} = 6.41 \text{ กรัม}$$

หรือ คำนวณจากสมการ

$$g \text{ of MeOH} = \frac{g \text{ of Oil}}{1 \text{ MW of Oil}} \times \text{Molar ratio of MeOH} \times \text{MW of MeOH}$$

โดยที่

g of MeOH	= น้ำหนักของเมทานอล หน่วย กรัม
MW of Oil	= มวลโมเลกุลของน้ำมัน หน่วย กรัมต่อโมล
Molar ratio of MeOH	= อัตราส่วนโมลของเมทานอล
MW of MeOH	= มวลโมเลกุลของเมทานอล หน่วย กรัมต่อโมล

ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้หน่วยน้ำหนัก (m) และสามารถคำนวณเป็นหน่วยปริมาตร(v)ได้จากสูตร

$$\rho = \frac{m}{v}$$

โดยที่

ρ	= ความหนาแน่นสาร หน่วย กรัมต่อมิลลิลิตร
m	= น้ำหนักของสาร หน่วย กรัม
v	= ปริมาตรของสาร หน่วย มิลลิลิตร

กำหนด:

ค่าความหนาแน่น	
- เมทานอล	= 0.792 กรัมต่อมิลลิลิตร
- น้ำมันปลา (ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส)	= 0.905 กรัมต่อมิลลิลิตร

การเปรียบเทียบอัตราส่วนโมลและอัตราส่วนปริมาตร แสดงดังตารางผนวกที่ ข2 และข3

ตารางผนวกที่ ข2 การเปรียบเทียบอัตราส่วน โมล อัตราส่วนปริมาตร และเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรใน
กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน

อัตราส่วนโมล เมทานอล : น้ำมันปลา	อัตราส่วนปริมาตร เมทานอล : น้ำมันปลา	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เมทานอล (%v)
10 : 1	0.32 : 1	32.06
15 : 1	0.48 : 1	48.09
20 : 1	0.64 : 1	64.12

ตารางผนวกที่ ข3 การเปรียบเทียบอัตราส่วน โมล อัตราส่วนปริมาตร และเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
ในกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

อัตราส่วนโมล เมทานอล : น้ำมันปลา	อัตราส่วนปริมาตร เมทานอล : น้ำมันปลา	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เมทานอล (%v)
3 : 1	0.12 : 1	12.22
6 : 1	0.24 : 1	24.43
9 : 1	0.37 : 1	36.65
12 : 1	0.49 : 1	48.87
15 : 1	0.61 : 1	61.08

4. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ (Yield) ในกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันและ
กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไบโอดีเซลตามวิธีของ Leung และ Guo (2006) โดย
สามารถคำนวณจากสมการ

$$\% \text{ Yield} = \frac{\text{weight of product (g)}}{\text{weight of raw oil (g)}} \times 100$$

โดยที่

%Yield	= เปอร์เซนต์ของผลผลิตของไบโอดีเซลที่ได้
weight of product	= น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้ หน่วยเป็นกรัม
weight of raw oil	= น้ำหนักของน้ำมัน(วัตถุดิบ)ที่ใช้ หน่วยเป็นกรัม

ตัวอย่างคำนวณ

ชั่งน้ำหนักของน้ำมันปลา ที่ผ่านขั้นตอนการลดกรดไขมันอิสระแล้ว ปริมาณ 30 กรัม
ชั่งน้ำหนักของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเท่ากับ 25 กรัม

ดังนั้น เปอร์เซนต์ผลผลิตของไบโอดีเซลที่ได้ (% Yield)

$$\text{เท่ากับ } \frac{25}{30} \times 100 = 83.33 \text{ เปอร์เซนต์}$$

5. การคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (FAME)

การคำนวณหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลที่ผลิตได้โดยเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟีตามมาตรฐาน EN 14103 ซึ่งใช้ Methyl Heptadecanoate เป็นสาร Internal Standard สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$\% \text{ FAME} = \frac{(\sum A) - A_{EI}}{A_{EI}} \times \frac{C_{EI} \times V_{EI}}{m} \times 100\%$$

โดยที่

%FAME = เปอร์เซนต์เมทิลเอสเทอร์

$\sum A$ = พื้นที่ใต้กราฟรวมของเมทิลเอสเทอร์ตั้งแต่ C₁₄ ถึง C₂₄

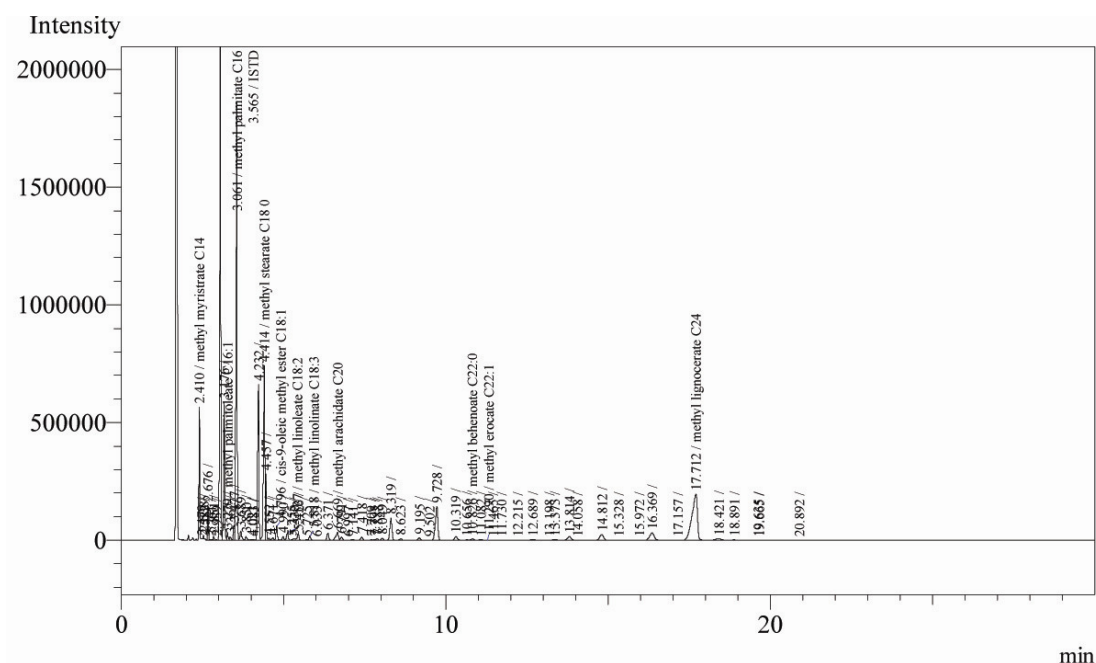
A_{EI} = พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐาน Methyl Heptadecanoate (C17:0)

C_{EI} = ความเข้มข้นของ Methyl Heptadecanoate (C17:0) หน่วย มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

V_{EI} = ปริมาตรของ Methyl Heptadecanoate (C17:0) หน่วย มิลลิลิตร

m = น้ำหนักของตัวอย่างไบโอดีเซล หน่วย มิลลิกรัม

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณเมธิลเอสเทอร์



ภาพผนวกที่ ข2 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลน้ำมันปลา

ตารางผนวกที่ ข4 ตัวอย่างค่าจากโครมาโทแกรมของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลน้ำมันปลา

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Name
1	2.410	233845	245814		methyl myristate(C14)
2	2.479	1632	1662		
3	2.538	26072	17523		
4	2.583	3638	2874		
5	2.676	253625	146594		
6	2.761	5207	2229		
7	2.851	26063	13974		
8	2.939	2515	982		
9	3.061	5595273	2653244		methyl palmitate (C16)
10	3.176	1279926	584306		

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Name
11	3.279		75652	31342	methylpalmitoleate(C16:1)
12	3.362		37837	12349	
13	3.477		128786	61282	
14	3.565		4690326	1863325	ISTD
15	3.689		131537	38791	
16	3.850		54863	15213	
17	4.021		5417	1413	
18	4.083		2897	1075	
19	4.232		1899844	659781	
20	4.414		2251985	741849	methyl stearate (C18:0)
21	4.457		521106	279334	
22	4.552		22303	7653	
23	4.671		35036	9270	cis-9-oleic
24	4.796		176098	60041	methylester(C18:1)
25	4.990		50196	14621	
26	5.127		108365	29950	
27	5.255		2681	1293	methyl linoleate (C18:2)
28	5.330		23334	5615	
29	5.456		104342	25522	
30	5.725		6353	1565	
31	5.818		63302	18866	
32	6.033		2033	624	
33	6.371		116131	29342	methyl linolate (C18:3)
34	6.669		184598	33744	
35	6.791		62743	13240	
36	6.997		2071	684	methyl arachidate (C20:0)
37	7.141		19490	3652	
38	7.418		61398	13217	
39	7.709		7973	1568	

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Name
40	7.795		4909	1326	
41	7.888		25023	5232	
42	8.049		37120	7332	
43	8.319		433850	92988	
44	8.623		24539	5083	
45	9.195		52652	9865	
46	9.502		4232	787	
47	9.728		766468	142098	
48	10.319		93823	14523	
49	10.656		13319	1557	
50	10.826		32941	4826	methyl behenoate (C22:0)
51	11.082		19872	2968	
52	11.290		7134	1140	methyl erocate (C22:1)
53	11.465		5946	955	
54	11.730		6976	859	
55	12.215		5165	558	
56	12.689		25225	3496	
57	13.198		2035	368	
58	13.373		24305	2897	
59	13.814		116523	15012	
60	14.058		1671	265	
61	14.812		196058	23903	
62	15.328		3191	411	
63	15.972		1109	150	
64	16.369		298412	31800	
65	17.157		4723	534	
66	17.712		2297124	195023	methyl lignocerate (C24:0)
67	18.421		62749	5541	
68	18.891		11663	985	

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Name
69	19.635		3083	436	
70	19.665		2606	433	
71	20.892		3161	292	
Total			22864100	8219066	

จากตารางภาคผนวกที่ ข4 ตัวอย่างผลของโครมาโทแกรมสามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \Sigma A &= 22864100 \\
 A_{EI} &= 4690326 \\
 C_{EI} &= 10.018 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \\
 V_{EI} &= 1 \text{ มิลลิลิตร} \\
 m &= 53.2 \text{ มิลลิกรัม}
 \end{aligned}$$

แทนค่าลงในสมการ

$$\begin{aligned}
 \% FAME &= \frac{(22864100) - 4690326}{4690326} \times \frac{10.018 \times 1}{53.2} \times 100\% \\
 &= 72.96 \%
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลน้ำมันปลา เท่ากับ 72.96 เปอร์เซ็นต์

6. การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตไบโอดีเซลน้ำมันปลาและชั้นตะกอนไขมัน(วัตถุดิบตั้งต้น)ที่ใช้ในการผลิต

จากศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลน้ำมันด้วยกระบวนการ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการลดกรดไขมันอิสระด้วยกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันและขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลด้วยทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อให้ได้น้ำมันไบโอดีเซลปริมาตร 1 ลิตร จะต้องใช้ปริมาณของชั้นตะกอนไขมัน(วัตถุดิบตั้งต้น)และสารเคมี ดังรายการคำนวณ

จากผลการทดลอง กำหนดค่าดังนี้

1. ค่าความหนาแน่น

- น้ำมันปลา (จากการแยกสกัด) = 0.905 กรัมต่อมิลลิตร
- น้ำมันปลา (จากขั้นตอนเอสเทอร์ฟิเคชัน) = 0.905 กรัมต่อมิลลิตร
- น้ำมันไบโอดีเซล (จากขั้นตอนทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน) = 0.885 กรัมต่อมิลลิตร

2. เปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการทดลองในแต่ละขั้นตอนการทดลอง

- น้ำมันปลา (จากการแยกสกัด) = 27.37 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- น้ำมันปลา (จากขั้นตอนเอสเทอร์ฟิเคชัน) = 97.27 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- น้ำมันไบโอดีเซล (ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน) = 85.84 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3. ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตที่เหมาะสมจากการทดลอง

- ปริมาณกรดซัลฟูริก (ขั้นตอนเอสเทอร์ฟิเคชัน) = 7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- ปริมาณ NaOH (ขั้นตอนทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน) = 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- ปริมาตรเมทานอล ที่คำนวณ จากตารางผนวกที่ ข2 และ ข3
 ที่อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 10:1 = 32.06 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
 ที่อัตราส่วนโมลเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 = 24.43 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

การคำนวณปริมาณวัตถุดิบตั้งต้นและปริมาณสารเคมีในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลน้ำมันปลาจาก การทดลองที่ได้จากปัจจัยต่างที่ความเหมาะสม แสดงดังตารางภาคผนวกที่ ข5 และ ข6

ตารางผนวกที่ ข5 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลน้ำมันปลาปริมาณ 1 ลิตร

รายการ	ชั้นตะกอนไขมัน (วัตถุดิบตั้งต้น)	น้ำมัน ปลา	การผลิตไบโอดีเซล แบบ 2 ขั้นตอน	
			เอสเทอร์ฟิเคชัน (น้ำมันปลา)	ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (ไบโอดีเซล)
เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	100	27.37	97.24	85.84
การคำนวณปริมาณ น้ำมัน (กรัม)	3880	1062	1032.69	886.46
ค่าความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)	-	0.905	0.905	0.855
การคำนวณปริมาตร น้ำมัน (มิลลิลิตร)	-	1173.48	1141.09	1001.65

ตารางผนวกที่ ข6 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลน้ำมันปลาปริมาณ 1 ลิตร

ขั้นตอน	น้ำมันปลา ที่ใช้ผลิต (กรัม)	น้ำมันปลา ที่ใช้ผลิต (มิลลิลิตร)	ปริมาณ H_2SO_4 7%wt (กรัม)	ปริมาณ NaOH 0.5%wt (กรัม)	ปริมาตร เมทานอล (มิลลิลิตร)
Esterification	1062	1173.48	74.34	-	376.22
Tranesterification	1032	1141.09	-	5.16	278.77
Total			74.34	5.16	654.99

หมายเหตุ: ค่าความหนาแน่นของสารเมทานอล มีค่าเท่ากับ 0.792 กรัมต่อมิลลิลิตร

จากตารางผนวกที่ ข6 สารคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตไบโอดีเซลได้โดยราคาสารเคมีใน
เกรดอุตสาหกรรม ในราคาขายปลีกเดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 ของบริษัท สามชัย เคมีคอล จำกัด

- สารเมทานอล บริสุทธิ์ 98 เปอร์เซ็นต์ ราคา 23 บาทต่อกิโลกรัม
- สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ชนิดเกรด ราคา 39 บาทต่อกิโลกรัม
- สารกรดซัลฟูริก (บริสุทธิ์ 98 เปอร์เซ็นต์) ราคา 8 บาทต่อกิโลกรัม

การคำนวณ

ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล 1 ลิตร มีค่า ดังนี้

$$\text{สารกรดซัลฟูริก} = (8 \times 74.34)/1000 = 0.6 \text{ บาทต่อลิตร}$$

$$\text{สารโซเดียมไฮดรอกไซด์} = (39 \times 5.16)/1000 = 0.2 \text{ บาทต่อลิตร}$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายสารเมทานอลรวม} = (0.792 \times 654.99 \times 23)/1000 = 11.93 \text{ บาทต่อลิตร}$$

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการผลิตไบโอดีเซลน้ำมันปลา รวมเป็นเงิน 12.73 บาทต่อลิตร

ภาคผนวก ค
ตารางบันทึกผลการทดลอง

1. ผลการศึกษาปริมาณน้ำมันปลาจากการสกัดของเสียชั้นตะกอนไขมัน

ตารางผนวกที่ ค1 ปริมาณน้ำมันปลาจากที่สกัดจากชั้นตะกอนไขมันด้วยความร้อนที่ 80-120 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง

การเก็บ ตัวอย่าง ครั้งที่	ทดลอง ครั้งที่	น้ำหนัก (กรัม)			เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (%wt)		
		ชั้นตะกอน ไขมันปลา	น้ำมัน ปลา	กากตะกอน คงเหลือ	น้ำมัน ปลา	กากตะกอน คงเหลือ	ความชื้น
1	1	250.36	86.19	102.43	34.43	40.9	24.66
	2	251.08	58.01	121.17	23.10	48.3	28.64
	3	250.75	73.84	103.58	29.45	41.3	29.24
2	1	250.8	71.31	96.54	28.43	38.5	33.07
	2	250.82	69.33	114.32	27.64	45.6	26.78
	3	250.52	63.15	112.86	25.21	45.1	29.74
3	1	251.76	75.76	91.23	30.09	36.2	33.67
	2	249.84	65.9	104.27	26.38	41.7	31.89
	3	250.34	54.12	112.46	21.62	44.9	33.46
ค่าเฉลี่ย					27.37	42.5	30.13
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					2.93	3.07	2.57

ตารางผนวกที่ ค2 ตารางผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปลา

คุณสมบัติ	หน่วย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน
ค่ากรดไขมันอิสระ ในรูปปาล์มมิติก	% FFA (as plamitic)	23.12	21.69	22.41	0.71
ค่าสaponification	mgKOH/g	198.38	187.56	192.97	5.41
ค่าไอโอดีน(วิจส์)	gIodine/100g	127.03	125.56	126.3	0.73
จุดวาบไฟ	$^{\circ}\text{C}$	308	312	310	2.00
ค่าความร้อน	MJ/Kg	38.58	38.78	38.69	0.06
ค่าความหนาแน่น ที่ อุณหภูมิ 40 $^{\circ}\text{C}$	g/cm^3	0.905	0.905	0.905	0.00
ค่าความหนืดที่ อุณหภูมิ 40 $^{\circ}\text{C}$	cSt	36.68	38.09	37.44	0.70
ความชื้น	%wt	0.16	0.09	0.13	0.04

ตารางผนวกที่ ๓ ผลการลดกรดไขมันอิสระและเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้จากขั้นตอนการศึกษา
สภาวะที่เหมาะสมของปริมาณกรดซัลฟูริกที่ 3-9 เปอร์เซ็นต์และที่เวลาทำ
ปฏิกิริยา 1-4 ชั่วโมง

Time Reaction	Sample	H ₂ SO ₄ (3%wt)		H ₂ SO ₄ (5%wt)		H ₂ SO ₄ (7%wt)		H ₂ SO ₄ (9%wt)	
(Hour)		%FFA	% Yield	%FFA	% Yield	%FFA	% Yield	%FFA	% Yield
1	1	4.97	68.46	2.57	93.63	1.93	96.45	1.76	98.56
	2	3.72	79.81	3.04	87.04	1.43	98.12	1.39	97.89
	Average	4.35	74.14	2.81	90.34	1.68	97.29	1.58	98.23
2	1	3.1	76.32	2.34	96.74	1.73	97.79	1.31	95.28
	2	2.84	80.10	2.12	93.08	1.35	98.30	1.29	97.32
	Average	2.97	78.21	2.23	94.91	1.54	98.05	1.30	96.30
3	1	1.66	82.17	1.57	95.38	1.37	97.18	0.94	94.93
	2	1.39	86.82	1.27	97.12	1.39	96.36	1.03	98.15
	Average	1.53	84.50	1.42	96.25	1.38	96.77	0.99	96.54
4	1	1.05	89.17	1.02	96.48	1.21	98.46	1.49	96.08
	2	1.26	80.03	1.14	94.93	0.98	97.39	1.17	98.37
	Average	1.16	84.60	1.08	95.71	1.10	97.93	1.33	97.23

ตารางผนวกที่ ค4 ผลการลดกรดไขมันอิสระและเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้จากขั้นตอนการศึกษา
สภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 10:1-20:1 และ
ที่อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 60-80 (± 2) องศาเซลเซียส

Molar Ratios	Sample	Temperature 60 $\pm$ 2 °C		Temperature 70 $\pm$ 2 °C		Temperature 80 $\pm$ 2 °C	
		%FFA	% Yield	%FFA	% Yield	%FFA	% Yield
10:1	1	2.33	97.87	1.75	98.30	1.97	94.41
	2	2.01	91.31	1.58	96.18	1.65	96.00
	Average	2.17	94.59	1.67	97.24	1.81	95.21
15:1	1	1.62	91.52	1.54	97.27	1.41	95.35
	2	1.54	92.49	1.55	96.18	1.56	96.12
	Average	1.58	92.01	1.54	96.73	1.49	95.74
20:1	1	1.34	89.52	1.66	92.16	1.42	95.65
	2	1.42	93.48	1.59	97.78	1.36	98.76
	Average	1.38	91.50	1.63	94.97	1.39	97.21

ตารางผนวกที่ ค5 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 3:1
ถึง 15:1 ในขั้นตอนผลิตไบโอดีเซลของกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

Mole Ratio	Yield Biodiesel	Glycerol	Viscosity at 40 °C	Heating value
MeOH:Oil	(%wt)	(%wt)	(cSt)	(MJ/kg)
3.0:1	65.53	17.83	5.85	38.98
6.0:1	83.16	15.15	4.65	40.04
9.0:1	83.06	17.47	4.67	39.78
12.0:1	77.09	16.6	4.87	40.09
15.0:1	75.88	26.44	4.56	39.86

ตารางผนวกที่ ค6 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนโดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.25 ถึง 1.50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในขั้นตอนผลิตไบโอดีเซลของกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

NaOH (%wt)	Yield Biodiesel (%wt)	Glycerol (%wt)	Viscosity at 40 °C (cSt)	Heating value (MJ/kg)
0.25	82.7	13.99	4.98	39.9
0.5	84.87	16.60	4.78	39.73
0.75	81.77	16.01	4.83	39.88
1	62.47	21.65	4.86	39.71
1.25	soap	-	-	-
1.5	soap	-	-	-

ตารางผนวกที่ ค7 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนผลิตไบโอดีเซลของกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

Temperature (°C)	Yield Biodiesel (%wt)	Glycerol (%wt)	Viscosity at 40 °C (cSt)	Heating value (MJ/kg)
50	82.13	13.84	4.85	39.51
55	83.55	13.75	4.79	39.55
60	84.76	12.94	4.72	39.77
65	80.88	12.06	4.78	39.8
70	78.06	12.60	4.81	39.75
75	77.55	11.32	4.87	39.60

ตารางผนวกที่ ๘ ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอน
ผลิตไบโอดีเซลของกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน

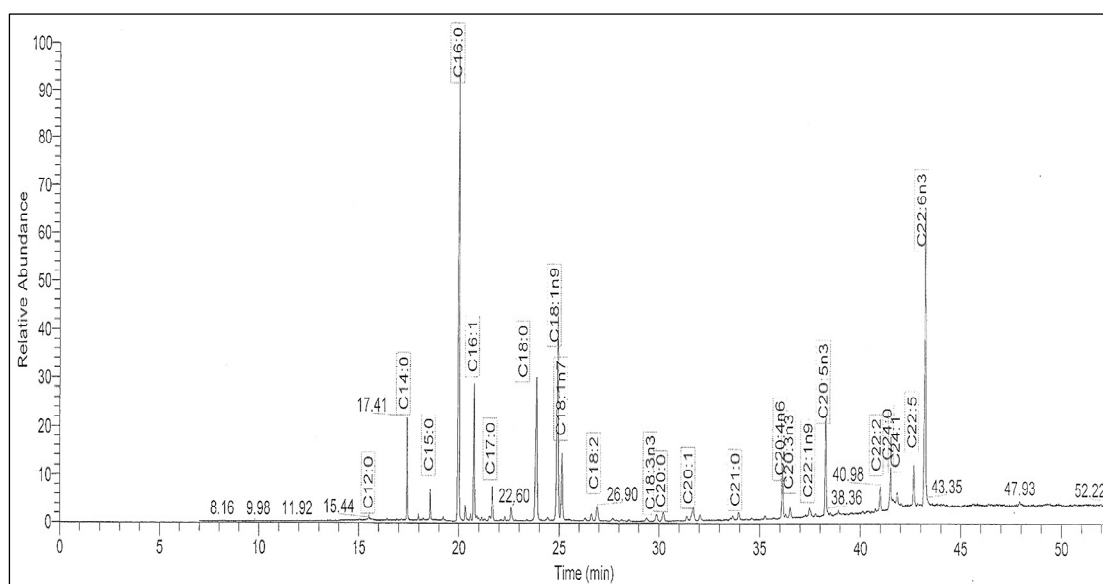
Time (min)	Yield Biodiesel (%wt)	Glycerol (%wt)	Viscosity at 40 ⁰ C (cSt)	Heating value (MJ/kg)
15	85.16	13.25	4.75	39.82
30	85.84	13.62	4.76	39.79
45	79.72	14.19	4.8	39.7
60	82.5	14.8	4.74	39.97

ตารางผนวกที่ ๙ ตารางผลการวิเคราะห์การกลั่น(Distillation)ของน้ำมันไบโอดีเซลปลา

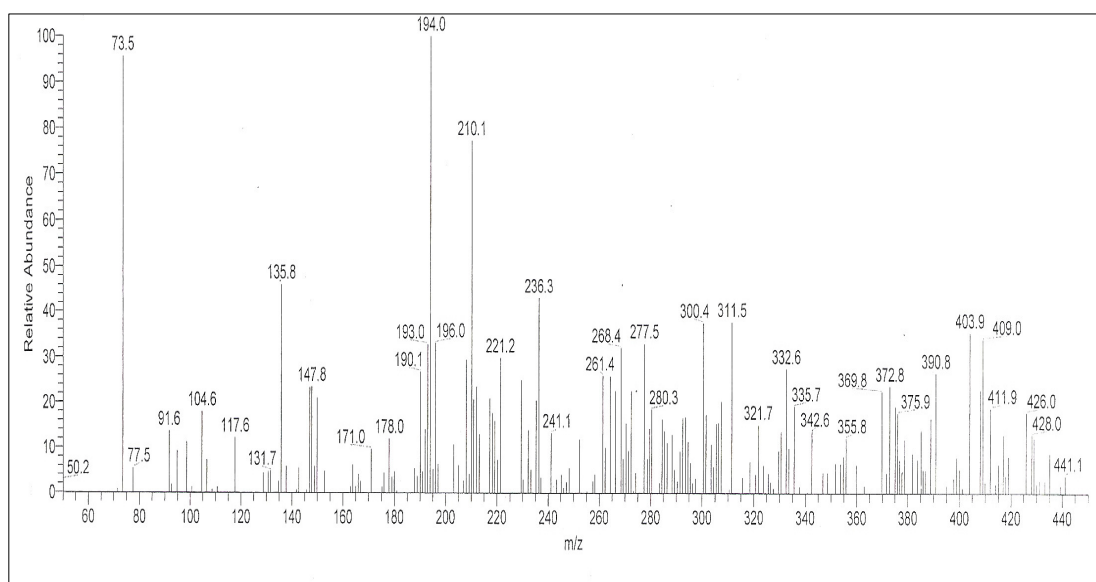
recovery (ml.)	Sample1		Sample2		Average
	temperture(⁰ C)	time(min)	temperture(⁰ C)	time(min)	temperture(⁰ C)
IBP	305.0	11.49	302.0	10.48	303.5
5	315.0	14.43	313.0	13.51	314
10	318.0	15.24	316.0	14.28	317
15	320.0	16.07	318.0	15.38	319
20	322.0	16.53	320.0	16.02	321
25	323.5	17.37	322.0	16.52	322.75
30	324.0	18.21	323.5	17.29	323.75
35	325.0	19.07	325.0	18.36	325
40	328.0	19.55	327.0	19.11	327.5
45	328.5	20.46	328.0	20.17	328.25
50	330.0	21.39	329.5	21.04	329.75
55	331.5	22.40	330.5	22.02	331
60	333.0	23.36	332.0	22.58	332.5
65	336.0	24.32	334.0	23.43	335
70	340.0	25.22	338.0	24.22	339
75	344.0	25.59	341.0	25.14	342.5
80	350.0	26.30	347.5	25.52	348.75
85	358.5	26.55	352.0	26.38	355.25
90	361.0	27.27	358.0	27.03	359.5
Dry Point	272.5	30.00	274.0	30.02	273.25
End Point	361.0	28.21	359.0	28.12	360
recovery ,%	96.00	-	97.50		96.75
residue, %	1.50	-	1.20		1.35

ภาคผนวก ง

โครมาโทแกรมของตัวอย่างน้ำมันปลาและผลิตภัณฑ์ไบโอโอดีเซลน้ำมันปลา



ภาพผนวกที่ ๑1 โครมาโตแกรมของน้ำมันปลาที่ได้จากสกัดชั้นตะกอนไขมันของบ่อผักไผ่
โรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง ด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass
Spectrometry(GC-MS) โดยศูนย์วิทยาศาสตร์ฮาลาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพผนวกที่ ๑๒ โครมาโตแกรมของน้ำมันปลาที่ได้จากสกัดชั้นตะกอนไขมันของบ่อผักไผ่
โรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง ด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass
Spectrometry(GC-MS) โดยศูนย์วิทยาศาสตร์ฮาลาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

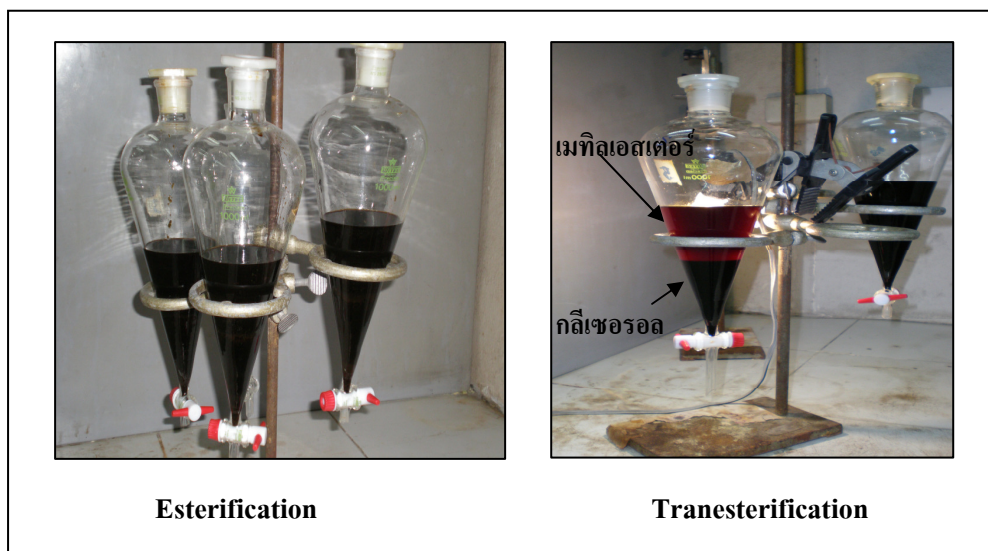
ภาคผนวก จ
ภาพประกอบการทดลอง



ภาพผนวกที่ จ1 จุดเก็บตัวอย่างชั้นตะกอนไขมันบ่อดักไขมันโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง



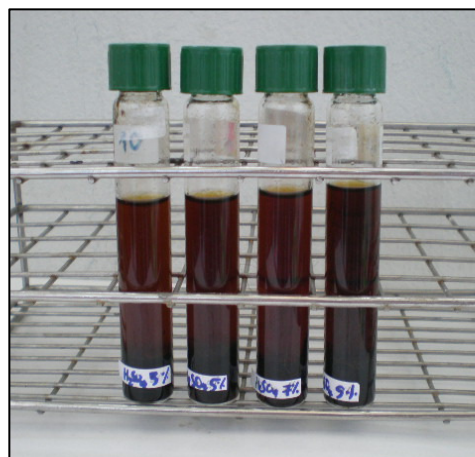
ภาพผนวกที่ จ2 ตัวอย่างชั้นตะกอนไขมันปลาทะเลก่อนการสกัดแยกชั้นน้ำมันด้วยวิธีการเจียวด้วยความร้อน



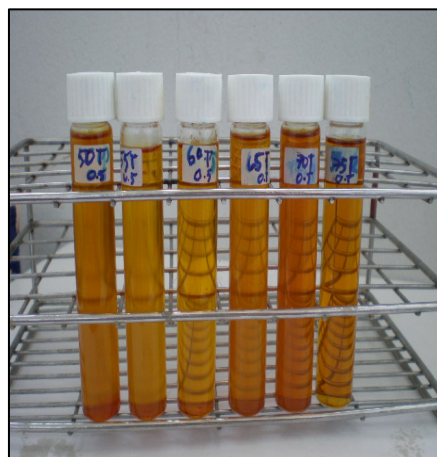
ภาพผนวกที่ จ3 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลน้ำมันปลาด้วยกระบวนการ 2 ขั้นตอน



ภาพผนวกที่ จ4 ขั้นตอนการล้างชั้นเมทิลเอสเทอร์(ชั้นไบโอดีเซล) ก่อนนำไปใช้ความชื้น



น้ำมันจากขั้นตอน Esterification



ไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 50-75 °C

ภาพผนวกที่ จ4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล



วัตถุดิบ (ขั้นตะกอน และน้ำมันปลาทะเล)



น้ำมันในแต่ละขั้นตอนทดลอง

ภาพผนวกที่ จ6 เปรียบเทียบวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลและผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลน้ำมันปลา

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นฤภา อาคะพงษ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	7 ตุลาคม 2523
สถานที่เกิด	ศรีสะเกษ
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนส่วนตัว