สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาอัตราการเกิดผลึกในน้ำมันดีเซลชีวภาพ

A STUDY OF RATE OF CRYSTALLIZATION IN BIODIESEL

นิภาพร พรมลี

สุวรรณา มาตราแสง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72249
วัน,เดือน,ปี 12 มิ.ย. 2550

.b 11765707
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF RATE OF CRYSTALLIZATION IN BIODIESEL

NIPAPORN PROMLEE

SUWANNA MATTRASANG

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาอัตราการเกิดผลึกน้ำมันดีเซลชีวภาพ

จัดทำโดย นางสาว นิภาพร พรมลี เลขประจำตัว 47015538
นางสาว สุวรรณา มาตราแสง เลขประจำตัว 47015557
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ
(รศ.ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาอัตราการเกิดผลึกน้ำมันดีเซลชีวภาพ
จัดทำโดย นางสาว นิภาพร พรมลี เลขประจำตัว 47015538
นางสาว สุวรรณา มาตราแสง เลขประจำตัว 47015557
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ศึกษาอัตราการเกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพพร้อมทั้งศึกษาจลนพลศาสตร์ของอัตราการเกิดผลึก โดยทำให้เกิดผลึกน้ำมันดีเซลชีวภาพในช่วงอุณหภูมิ 2 ช่วง ในเวลา 30 นาที คือช่วงอุณหภูมิ 15 ถึง 20 องศาเซลเซียสและช่วงอุณหภูมิ 20 ถึง 25 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าอุณหภูมิช่วง 15 ถึง 20 องศาเซลเซียสเป็นช่วงอุณหภูมิที่ทำให้น้ำมันดีเซลชีวภาพเกิดผลึก เมื่อทำการทดลองเพื่อหาอัตราการเกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ ใช้เวลาในการทดลอง 30 นาที อุณหภูมิที่เลือกใช้ในการทดลองคือ 15 16 และ17 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นสภาวะที่ให้ผลการทดลองชัดเจน ผลการทดลองที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่าอัตราการเกิดผลึกมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ จากการวิเคราะห์ผลการทดลองอัตราการเกิดผลึกแปรผันกับความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์รวม (C_{ME}) ในสารละลาย โดยอัตราการเกิดผลึกจะมีค่าคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์รวมมีค่าคงที่ตลอดเวลาในการตกผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	A Study of Rate of Crystallization in Biodiesel	
By	Miss Nipaporn Promlee	ID.NO. 47015538
	Miss Suwanna Mattrasang	ID.NO. 47015557
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Prakob Kitchaiya	
Report for	Bachelor Degree of Engineering (Chemical Engineering)	
	Department of Chemical Engineering	
	Faculty of Engineering	
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	

Abstract

This project aims to study a rate of crystallization in two ranges of temperature at 15 to 20 and 20 to 25°C. Crystal growth was found at temperature range of 15 to 20°C within 30 minutes. The rate of crystallization of biodiesel were selectively studied at temperature of 15 , 16 and 17°C. It was found that constant rates of crystallization taking place these temperatures. Rates of crystallization depended on total methyl ester concentration (C_{ME}) ,could successfully represent crystallization rate where total methyl ester concentration was constant.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่าย ซึ่งคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์เกี่ยวกับสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ และ อาจารย์รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐคณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำ รวมทั้งการตรวจสอบและแก้ไขปริญญานิพนธ์

ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องตกผลึกแบบกะที่ใช้ในการทดลองตลอดการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ ตลอดจนการให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิดตลอดการทำงานวิจัย

ทั้งนี้หากรายงานนี้มีข้อผิดพลาดประการใดคณะผู้จัดทำขอน้อมรับ และขออภัยมา ณ โอกาสนี้

นิภาพร พรมลี

สุวรรณา มาตราแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
สัญลักษณ์	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 น้ำมันดีเซลชีวภาพ	3
2.2 การตกผลึก	9
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 การทดลอง	18
3.1 การทดลองขั้นต้นเพื่อหาสภาวะในการตกผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ	18
3.2 การทดลองเพื่อหาอัตราการเกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ	18
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	21
4.1 ผลการทดลอง	21
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	23
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	24
5.1 สรุปผลการทดลอง	24
5.2 ข้อเสนอแนะ	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	26
ภาคผนวก	28
ภาคผนวก ก	29
ภาคผนวก ข	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 กรดไขมันของน้ำมันปาล์ม	7
ตารางที่ 2.2 สมบัติบางประการของเมทิลเอสเทอร์	8
ตารางที่ 2.3 จุดหลอมเหลว ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันต่างๆ	12
ตารางที่ ข.1 น้ำหนักผลึกที่เวลาต่างๆที่ได้จากการทดลอง	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชหรือสัตว์	4
รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (R_1,R_2,R_3คือสารประกอบไฮโดรคาร์บอน)	5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมัน	6
รูปที่ 2.4 กรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว	7
รูปที่ 2.5 การเปรียบเทียบโครงสร้างโมเลกุลของกลีเซอไรด์อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว	9
รูปที่ 2.6 แสดงสถานะต่างๆของกลไกการเกิดผลึก	10
รูปที่ 2.7 การดกผลึกที่ตัวถูกละลายเคลื่อนที่โดยวิธีการแพร่ผ่านฟิล์มที่อยู่รอบผิวก้อนผลึก	14
รูปที่ 3.1 แสดงวิธีการหาน้ำหนักผลึก	20
รูปที่ 4.1 แสดงการแยกชั้นของของเหลวใสและผลึกที่เกิดขึ้น	21
รูปที่4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักผลึกกับเวลาที่อุณหภูมิต่างๆ	22
รูปที่ ก.1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	29
รูปที่ ก.2 แสดงเครื่องตกผลึกแบบกะ	30
รูปที่ ก.3 แสดงเครื่องชั่งที่ในการทดลอง	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

a	พื้นที่ผิวของการถ่ายเทมวลในสารละลาย	ตารางมิลลิเมตร/มิลลิลิตร
C_{ME}	ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์รวมในสารละลาย	กรัม/มิลลิลิตร
C_{SME}	ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวในสารละลาย	กรัม/มิลลิลิตร
C_{SME_0}	ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวในสารละลาย ที่เวลาเริ่มต้น	กรัม/มิลลิลิตร
$C_{SME\,s}$	ความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวบริเวณผิวผลึก	กรัม/มิลลิลิตร
$\frac{dm_c}{dt}$	อัตราการเกิดผลึก	กรัม/นาที
k	ค่าคงที่อัตราเร็วการเกิดผลึกรวม	มิลลิลิตร/นาที
k_c	ค่าคงที่อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาเป็นผลึกในสารละลาย	มิลลิลิตร/นาที
$k_c^{'}$	ค่าคงที่การถ่ายเทมวล	เมตร/นาที
k_s	ค่าคงที่อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาเป็นผลึกที่พื้นผิวผลึก	มิลลิลิตร/นาที
m_c	น้ำหนักผลึก	กรัม
N_{SME}	ฟลักซ์เชิงโมลของเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัว	กรัม/นาที-ตารางเมตร
V	ปริมาตรสารละลายที่เวลาใดๆ	มิลลิลิตร
V_c	ปริมาตรของผลึก	มิลลิลิตร
V_0	ปริมาตรสารละลายเริ่มต้น	มิลลิลิตร
ρ_c	ความหนาแน่นของผลึก	กรัม/มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์ [1-4]

ในปัจจุบันมีความต้องการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก และเนื่องจากสภาวะพลังงานเชื้อเพลิงที่ลดน้อยลงไปทุกที จึงมีการคิดหาแหล่งพลังงานทดแทนอื่นเข้ามาทดแทน น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Biodiesel) เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความเหมาะสม เพราะผลิตจากน้ำมันพืชที่สามารถผลิตขึ้นใหม่ได้ น้ำมันดีเซลชีวภาพจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากสิ่งมีชีวิตจำพวกพืชและสัตว์ ได้นำมาใช้กับเครื่องยนต์ซึ่งจะเป็นผลดีในการนำมาใช้แทนน้ำมันดีเซลที่มีปริมาณจำกัด

การทำน้ำมันดีเซลชีวภาพโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เป็นการนำน้ำมันมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ เอสเทอร์และกลีเซอรีน โดยการผลิตนี้เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดเนื่องจากมีสมบัติของน้ำมันใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด น้ำมันซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งความอิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวของกรดอินทรีย์ในโมเลกุลของน้ำมันนี้ มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน น้ำมันที่มีความไม่อิ่มตัวมากจะมีจุดหลอมเหลวต่ำ ยิ่งมีความไม่อิ่มตัวมากเท่าใดยิ่งจะมีจุดหลอมเหลวต่ำลงมากเท่านั้น จึงปรากฏเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนน้ำมันที่ส่วนใหญ่มีความอิ่มตัว จะมีจุดหลอมเหลวสูง จึงปรากฏเป็นของแข็ง กรดไขมันอิ่มตัวมีโครงสร้างแบบซิกแซกโดยตลอด ทำให้โมเลกุลซ้อนทับกันได้สนิทดี และเกิดแรงดึงดูดแบบแวนเดอร์วาลส์อย่างแรง ดังนั้นจึงเกิดเป็นไขมันหรือของแข็ง ด้วยคุณสมบัตินี้ของน้ำมัน จึงทำให้เกิดปัญหาของน้ำมันดีเซลชีวภาพคือเมื่อมีการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำน้ำมันจะเกิดการจับตัวกันเป็นผลึก จึงเกิดปัญหาในการใช้งาน เช่น การสันดาปไม่สมบูรณ์ เครื่องสะดุด มีผลต่อลูกสูบและวาล์ว ทำให้เครื่องยนต์ไม่ติด

ปริญญานิพนธ์นี้มุ่งหวังที่จะทำการศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้น้ำมันดีเซลชีวภาพเกิดผลึก สภาวะที่เกิดผลึก และองค์ประกอบต่างๆ ที่ทำให้เกิดการแข็งตัว รวมไปถึงอัตราการเกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ โดยจะทำการทดลองหาสภาวะที่น้ำมันเกิดผลึกในขั้นแรก ด้วยการตกผลึกโดยควบคุมอุณหภูมิให้เย็นลง แล้วสังเกตถึงช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึก เพื่อศึกษาช่วงอุณหภูมิที่เกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่เป็นปัญหาในเรื่องของน้ำมันเป็นไขหรือแข็งตัวเมื่อนำไปใช้ที่อุณหภูมิต่ำ และในส่วนของการศึกษาอัตราการเกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ ผลการทดลองที่ได้สามารถนำข้อมูลไปศึกษาและพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่เป็นปัญหาเนื่องจากการแข็งตัวของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่อุณหภูมิต่ำ โดยนำหลักการและทฤษฎีไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการตกผลึกไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง และมีปริมาณน้อยออกจากน้ำมัน ทำให้น้ำมันมีความใสป้องกันการเกิดผลึกเมื่อใช้ที่อุณหภูมิต่ำ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวจะสามารถเก็บในที่อุณหภูมิต่ำได้โดยไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดผลึก ซึ่งน้ำมันที่มีไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงเป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำมันปาล์ม หรือ น้ำมันรำข้าวที่มีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ เมื่อมีการตกผลึกน้ำมันเหล่านี้เพื่อแยกไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงและมีปริมาณน้อยออกจากน้ำมัน จะทำให้น้ำมันมีความใสป้องกันการเกิดผลึกได้เมื่อใช้ที่อุณหภูมิต่ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1.2.1 ศึกษาสาเหตุของการเกิดผลึกในน้ำมันดีเซลชีวภาพ

1.2.2 ทำการทดลองเพื่อหาอัตราการเกิดผลึกของน้ำมัน ดีเซลชีวภาพ

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1.3.1 ศึกษาข้อมูลของการเกิดผลึกในน้ำมันดีเซลชีวภาพ

1.3.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดผลึกในน้ำมันดีเซลชีวภาพ

1.3.3 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของอัตราการเกิดผลึก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงสาเหตุที่ทำให้น้ำมันดีเซลชีวภาพแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำ

1.4.2 ทราบถึงอัตราการเกิดผลึกรวมทั้งปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันดีเซลชีวภาพ[1-5]

2.1.1 ความหมายของน้ำมันดีเซลชีวภาพ [1-4]

ไบโอดีเซล หรือ น้ำมันดีเซลชีวภาพ คือ น้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์ ที่สามารถนำมาใช้หรือ ทำการปรับเปลี่ยนสภาพ ก่อนนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ในทางวิชาการตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing Materails) และการใช้งานในต่างประเทศทั้งสหรัฐอเมริกา และกลุ่มประเทศยุโรป ไบโอดีเซล หมายถึง สารประเภทโมโนแอลคิลเอสเทอร์ (Mono alkyl ester) ของกรดไขมัน ซึ่งผลิตได้จากน้ำมันพืช หรือ ไขมันจากสัตว์ ซึ่งถือเป็นแหล่งพลังงานไม่รู้หมด โดยมีคุณสมบัติเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทดีเซลเช่นเดียวกับน้ำมันปิโตรเลียม

ไบโอดีเซลผลิตขึ้นโดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า " ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน" โดยนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ มาผ่านการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล (Methanol) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดหรือด่าง เช่น โซเดียมหรือโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (Sodium/Potassium Hydroxide) ซึ่งจะทำให้สารไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นสารประเภทแอลคิลเอสเทอร์ (Alkyl ester) และ กลีเซอรีน (Glycerin) เมื่อแยกกลีเซอรีนออก สารที่เหลืออยู่จะมีคุณสมบัติคล้ายกับน้ำมันดีเซลแต่จะต่างกันที่โมเลกุลของน้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นกลุ่มของไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ที่ปลอดจากกำมะถัน หรือองค์ประกอบอื่นๆ แต่จะมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ10 โดยน้ำหนัก จึงช่วยให้การสันดาปดีขึ้น ลดมลพิษจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และ ฝุ่นละออง เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากน้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นตัวทำละลายที่ดี จึงอาจทำให้ท่อทางเดินน้ำมันของรถยนต์ ซึ่งทำจากยางและพลาสติกบวมและรั่วได้ ดังนั้นการใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพกับรถยนต์จะต้องคำนึงถึงท่อทางเดินน้ำมันว่าสามารถใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงได้หรือไม่

น้ำมันพืชชนิดต่างๆที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพได้นั้นสามารถสกัดได้จากพืชหลายชนิด เช่น ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว เมล็ดยางพารา เมล็ดฝ้าย ละหุ่ง ถั่วลิสง ป่าน ปอ ทานตะวัน ดอกคำฝอย ฯลฯ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตพืชในแต่ละท้องถิ่น ซึ่งมีมากน้อยแตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ประเภทของน้ำมันดีเซลชีวภาพ [1-5]

น้ำมันดีเซลชีวภาพสามารถแบ่งตามการผลิตได้ 4 ประเภท คือ

2.1.2.1 การนำมาใช้โดยตรง (Direct use)

การนำมาใช้โดยตรง เป็นการนำน้ำมันพืชหรือสัตว์ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยไม่ผสมหรือเติมสารเคมีใดๆ เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน แต่เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันพืชเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล และเกิดเป็นไขที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการป้อนเชื้อเพลิง และการใช้งานในบางพื้นที่ในช่วงฤดูที่มีอุณหภูมิต่ำ จุดระเบิดได้ช้า เมื่อป้อนเข้าสู่ห้วงการเผาไหม้จะเกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ และมีกากคาร์บอนหลงเหลือหลังการเผาไหม้สูง

น้ำมันจากพืชหรือสัตว์ —ทำให้บริสุทธิ์→ ไบโอดีเซล

รูปที่ 2.1 การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันพืชหรือสัตว์ [1]

จากปัญหาและข้อจำกัดต่างๆ ของน้ำมันพืชที่นำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลปกติ จึงมีการดัดแปลงในส่วนของลูกสูบ ระบบหัวฉีด และห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ให้มีความเหมาะสมกับการใช้พลังงานจากน้ำมันพืช เช่นเครื่องยนต์ของ DMS Dieselmotorenund Geratebau GmbH (Moussa 1995) และ ELSBETT Technology (Elsbett G and Elsbett K. 1995) ที่มีการออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับใช้กับน้ำมันพืชโดยตรง เพื่อขจัดปัญหาด้านคุณสมบัติของน้ำมันพืช

2.1.2.2 การทำไมโครอิมัลชัน (Micro emulsion)

ไมโครอิมัลชัน หรือ พลังงานผสม (Hybrid Fucls) เป็นการกระจายอนุภาคของของเหลวที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ให้สามารถแขวนลอยในตัวของของเหลวอีกชนิดหนึ่ง องค์ประกอบของไมโครอิมัลชัน คือ น้ำมันพืช น้ำมันดีเซล และน้ำมันก๊าด ซึ่งสารแขวนลอยที่เสถียรจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1/4 ของความยาวคลื่นแสง

วัตถุประสงค์ของวิธีการนี้ เพื่อแก้ปัญหาเรื่องความหนืดของน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เพื่อให้น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด เช่น

โคโคดีเซล (Coco-Diesel) ที่อำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เป็นการผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 20 ต่อ 1 โดยปริมาตร

ปาล์มดีเซล (Palm-Diesel) จังหวัดสุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันก๊าดในอัตราส่วน 40 ต่อ 60 ต่อ 7 โดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม น้ำมันดีเซลชีวภาพประเภทนี้ยังมีปัญหาเนื่องจากเครื่องยนต์เดินไม่สะดวก ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส จึงอาจต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ น้ำมันดีเซลชีวภาพชนิดนี้ให้เหมาะสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ หรือเครื่องจักรกลเกษตร

2.1.2.3 การแยกสลายน้ำมันพืชโดยความร้อน (Thermal cracking or Pyrolysis)

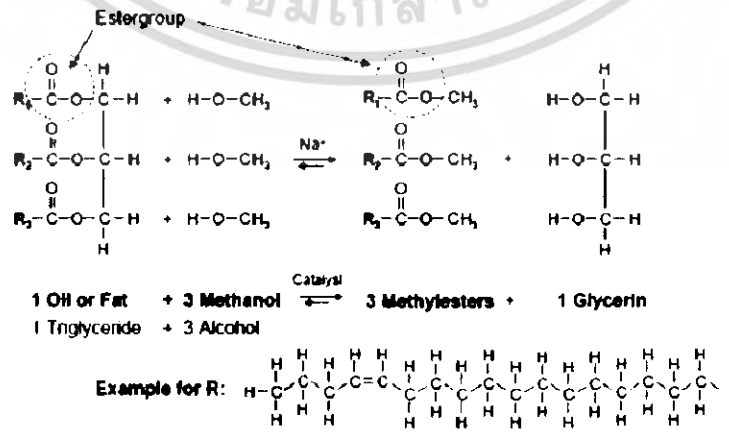
การแยกสลายโดยความร้อน คือ การเปลี่ยนสารจากชนิดหนึ่งไปเป็นสารอื่นโดยใช้ความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นการสลายโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมันด้วยความร้อนให้เป็นสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว สารไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว และสารที่มีการเติมออกซิเจน (Oxygenate) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ซีโอไลต์ (Zeolite) และ โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate : Na_2CO_3)

การเปลี่ยนแปลงนี้มีความซับซ้อน และเกิดสารหลายชนิดขึ้นพร้อมกัน ทำให้ต้องมีหน่วยแยกสารเพื่อแยกสารที่ต้องการใช้งานออกจากสารชนิดอื่นๆ

2.1.2.4 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน [6-7]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน คือ ปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์และแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผลิตภัณฑ์ที่ได้คือเอสเทอและกลีเซอรีน ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งเอสเทอที่ได้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้การใช้แอลกอฮอล์มากเกินพอจะช่วยให้เกิดผลิตภัณฑ์ได้ดี แต่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต้องไม่มีน้ำเนื่องจากจะเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Sponification) หรือการเกิดสบู่แทน ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเอสเทอร์ลดลง และการแยกกลีเซอรีนออกจากเอสเทอร์ทำได้ยากมากขึ้น

แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ในการผลิตได้แก่เมทานอล เพราะมีราคาถูก ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กันในปัจจุบันเป็นเบส เนื่องจากให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่ากรด สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำ ได้ผลิตภัณฑ์มาก ผลข้างเคียงและเวลาการผลิตน้อย สามารถเกิดปฏิกิริยาโดยไม่ต้องใช้กระบวนการอื่น โดยจะเรียกชนิดของน้ำมันดีเซลชีวภาพตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา



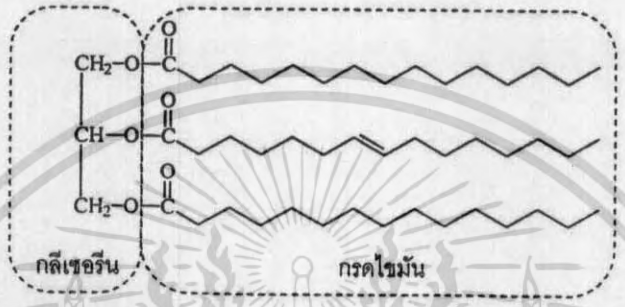
รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (R_1,R_2,R_3คือสารประกอบไฮโดรคาร์บอน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 น้ำมันพืชที่ใช้ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ [3]

2.1.3.1 ลักษณะและโครงสร้างของน้ำมัน

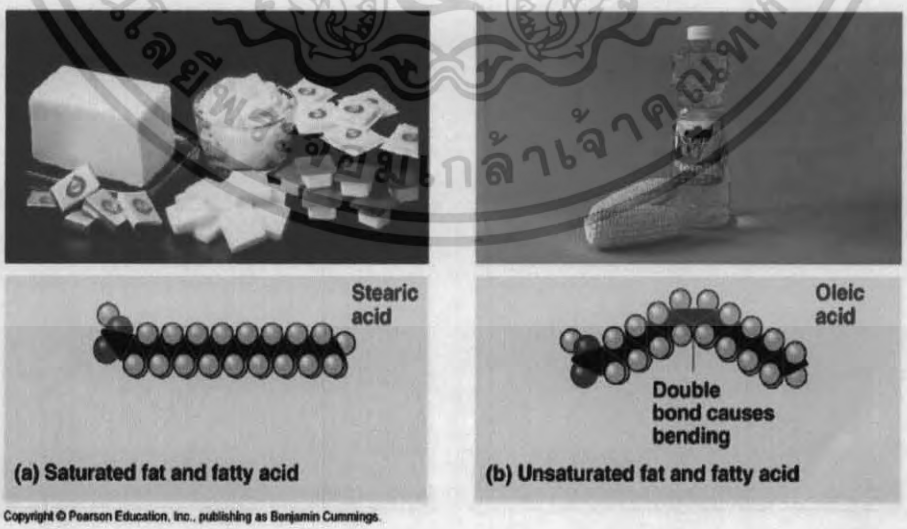
น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขสัตว์เป็นประเภทไตรกลีเซอไรด์ที่มีโครงสร้างเชื่อมต่อกับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 อะตอม ดังรูปที่ 2.3 โดยปริมาณกรดไขมันคิดเป็นร้อยละ 94 ถึง 96 ของน้ำหนักโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งคุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันตามคุณสมบัติของกรดไขมันนั้นๆ



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของน้ำมัน

2.1.3.2 กรดไขมัน (Fatty acid)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ประเภทหนึ่งที่มีหมู่คาร์บอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชันเหมือนกรดอินทรีย์ทั่วๆไป แต่ในโมเลกุลของกรดไขมันมีหมู่คาร์บอกซิลเพียง 1 หมู่ต่ออยู่กับสารของไฮโดรคาร์บอนแบบไม่มีกิ่งที่อิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวก็ได้ กรดไขมันจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ กรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไขมันอิ่มตัว คือกรดไขมันที่ในโมเลกุลมีจำนวนไฮโดรเจนอะตอมอยู่เต็มที่ หรือพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด กรดไขมันชนิดนี้มีสูตรทั่วไปคือ $C_nH_{2n+1}COOH$ เมื่อ n คือเลขจำนวนเต็มใดๆ ที่มีค่ามากและเป็นเลขคี่ (แต่จำนวนคาร์บอนทั้งหมดเป็นเลขคู่) เช่น11,13,15,17... ตัวอย่างกรดไขมันอิ่มตัวเช่น กรดลอริก ($C_{11}H_{23}COOH$) กรดปาล์มมิติก ($C_{15}H_{31}COOH$) กรดสเตียริก ($C_{17}H_{35}COOH$) เป็นต้น

กรดไขมันไม่อิ่มตัว คือกรดไขมันที่โซ่ไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วยพันธะคู่ตั้งแต่ 1 พันธะขึ้นไป และตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป ตัวอย่างของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น กรดโอเลอิก ($CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$) เป็นต้น

กรดไขมันที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ คือประมาณ 14-22 อะตอม แต่ที่พบมากเป็นกรดไขมันที่มีคาร์บอน 16 หรือ 18 อะตอม กรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุดคือปาล์มมิติก รองลงมาคือกรดสเตียริก ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุดคือกรดโอเลอิก ไขมันซึ่งเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เช่น ไขวัว เป็นเอสเทอร์ที่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ส่วนน้ำมันซึ่งเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เช่น น้ำนมถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว เป็นเอสเทอร์ที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

โดยปาล์มเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่คนส่วนใหญ่นิยมนำมาแปรรูปเป็นน้ำมันดีเซลชีวภาพในปัจจุบัน โดยพบว่าในน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบ ดังตารางที่ 2.1

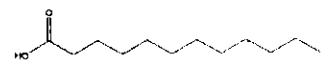
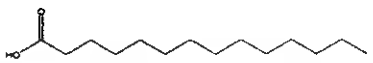
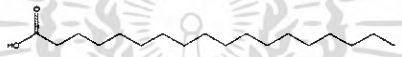
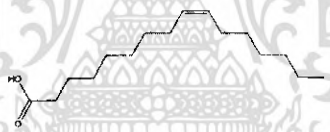
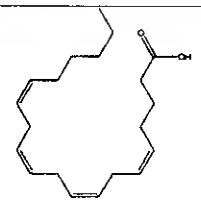
ตารางที่ 2.1 กรดไขมันของน้ำมันปาล์ม [9]

กรดไขมัน	จำนวนคาร์บอน	ปริมาณที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม (%)
กรดไขมันอิ่มตัว		
กรดไมริสติก (Myristic acid)	14	2
กรดปาล์มมิติก (Plamitic acid)	16	43
กรดสเตียริก (Stearic acid)	18	7
กรดไขมันไม่อิ่มตัว		
กรดโอเลอิก (Oleic acid)	18	39
กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid)	18	9
กรดไลโนเลนิก (Linolenic acid)	18	เล็กน้อย

เมื่อนำกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มมาทำปฏิกิริยากับเมทานอลเกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติบางประการของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน[16]

Systematic Name Trivial name	**Formula**	**Double bonds**	**Structure**	**Mol. Weight** [g/mol]	**Melting Point** [°C]	**Boiling Point**[a] [°C]
Dodecanoic acid Lauric acid	$C_{12}H_{24}O_2$	C6:0		214.35	5	148[24]
Tetradecanoic acid Myristic acid	$C_{14}H_{28}O_2$	C8:0		242.41	18.5	295[1000]
Hexadecanoic acid Palmitic acid	$C_{16}H_{32}O_2$	C10:0		270.46	30.5	416.5[996]
Octadecanoic acid Stearic acid	$C_{18}H_{36}O_2$	C18:0		298.51	39.1	442.5[996]
Eicosanoic acid Arachidic acid	$C_{20}H_{40}O_2$	C20:0		326.57	54.5	223[13]
cis-9- Hexadecenoic acid Palmitoleic acid	$C_{16}H_{30}O_2$	C16:1		268.45	-42	110[0.7]
cis-9- Octadecenoic acid Oleic acid	$C_{18}H_{34}O_2$	C18:1		296.49	-20	218.5[27]
cis-9-,cis-12- Octadecadi-enoic acid Linoleic acid	$C_{18}H_{32}O_2$	C18:2		294.48	-35	215[27]
cis-9-,cis-12-, cis-11,cis-14- Eicosatetra-enoic acid Arachidonic acid	$C_{20}H_{32}O_2$	C20:5		318.50		200-210[93]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดประกอบด้วยกลีเซอรีนเหมือนกัน แต่กรดไขมันแตกต่างกัน คุณสมบัติของไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดจึงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ เช่น กรดไขมันชนิดอิ่มตัว มีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว หรือกรดไขมันที่มีมวลโมเลกุลมากกว่ามีจุดหลอมเหลวสูงกว่า จึงทำให้ไขมันมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าน้ำมัน หรือไขมันและน้ำมันใดประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในเปอร์เซ็นต์สูงหรือประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนมาก (มวลโมเลกุลมาก) จะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าไขมัน และน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในเปอร์เซ็นต์สูงหรือประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนน้อย (มวลโมเลกุลน้อย) กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เกิดในธรรมชาติมีโครงสร้างแบบที่มีพันธะคู่เป็นแบบซิส ซึ่งทำให้ส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมันไม่สามารถซ้อนทับกันได้สนิทดังรูปที่ 2.5 ทำให้มีจุดหลอมเหลวต่ำ ดังนั้นกรดไขมันที่มีพันธะคู่มากๆจึงเป็นน้ำมัน ส่วนกรดไขมันอิ่มตัวสามารถซ้อนกันได้สนิทดี และเกิดแรงดึงดูดแบบแวนเดอร์วาลส์อย่างแรง ดังนั้นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวจึงเป็นไขมันและเป็นของแข็ง

รูปที่ 2.5 การเปรียบเทียบโครงสร้างโมเลกุลของกลีเซอไรด์อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว [10]

2.2 การตกผลึก

2.2.1 กลไกการเกิดผลึก[11]

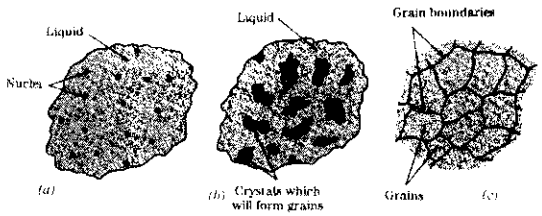
โดยทั่วไปกลไกการเกิดผลึกแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอนดังนี้คือ

2.2.1.1 การเกิดนิวคลีเอชัน (Nucleation) ซึ่งเป็นขั้นตอนการเกิดนิวคลีไอ (Nuclei) ที่อยู่ในตัวสารละลาย

2.2.1.2 การเติบโตของนิวคลีไอไปเป็นผลึกและเกิดเป็นโครงสร้างของเกรน (Grains) โดยนิวคลีไอเล็กๆในสารละลายจะค่อยๆเติบโตขึ้นเป็นผลึกจนกระทั่งผลึกเหล่านี้จะต่อกันเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของเกรน บริเวณที่สัมผัสระหว่างเกรนจะถูกเรียกว่า ขอบเขตของเกรน (Grain boundaries)



รูปที่ 2.6 แสดงสถานะต่างๆของกลไกการเกิดผลึก

(a) การเกิดนิวคลีไอ (b) การโตขึ้นของนิวคลีไอเป็นผลึก

(c) การเชื่อมต่อกันของผลึกเป็นเกรนและมีเส้นแบ่งบริเวณของเกรน

2.2.2 กลไกการเกิดนิวคลีไอ (Nucleation)

กลไกของการเกิดนิวคลีไอซึ่งเป็นอนุภาคของแข็งเล็กๆที่อยู่ในสารละลายมี 2 กลไกดังนี้คือ

2.2.2.1 กลไกการเกิดนิวคลีไอแบบเอกพันธ์ (Homogeneous nucleation)

เป็นกลไกที่เกิดขึ้นแบบง่ายๆที่มักจะถูกนำมาพิจารณาก่อน กล่าวคือ อนุภาคหรือโมเลกุลจะเข้ามาจับตัวกันเกิดเป็นนิวคลีไอ ที่มีเพียงหนึ่งโมเลกุลหรือมากกว่า จนกระทั่งได้ขนาดที่อยู่ตัว เรียกว่า ขนาดวิกฤติ (Critical size) ซึ่งสามารถที่จะเติบโตเป็นผลึกต่อไป นิวคลีไอที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดวิกฤตินี้เรียกว่า เอมบริโอ (Embryo) ซึ่งจะไม่อยู่ตัวอาจจะเกิดการแตกตัวและแยกกลับไปเป็นโมเลกุลเดี่ยวๆอีก แต่ถ้านิวคลีไอมีขนาดใหญ่กว่าขนาดวิกฤตินี้จะเรียกว่า นิวเคลียส (Nucleus) ซึ่งจะอยู่ตัวและเกิดเป็นผลึกต่อไป

2.2.2.2 กลไกการเกิดนิวคลีไอแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous nucleation) เป็นการเกิดผลึกในลักษณะอื่นโดยมีอนุภาคของแข็งของสารอื่นทำให้เกิดนิวคลีไอและกระตุ้นทำให้อัตราการเกิดนิวคลีไอเพิ่มขึ้น โดยปกติแล้วที่ภาวะอิ่มตัวยิ่งยวดจะเกิดนิวคลีไอแบบวิวิธพันธ์ได้เองแต่ต้องใช้ระยะเวลาช่วงหนึ่ง

การเกิดผลึกของน้ำมันนับว่ามีความสำคัญมากต่อลักษณะและสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลชีวภาพ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของการใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพลดลงโดยเฉพาะการใช้งานในที่อุณหภูมิต่ำๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไขของน้ำมัน [11-12]

ในระยะเริ่มต้นน้ำมันจะเกิดผลึกขึ้นและผลึกเหล่านี้จะเป็นตัวที่เหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวเพิ่มปริมาณขึ้น และเห็นเป็นไขในที่สุด ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดผลึกไขมันมีดังนี้

2.2.3.1 องค์ประกอบและประเภทของน้ำมัน

Hard oil หมายถึง น้ำมันพืชที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ น้ำมันประเภทนี้ จะแข็งตัวและเป็นไขได้ง่าย เมื่อมีอุณหภูมิห้อง เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว

Soft oil หมายถึง น้ำมันพืชที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ น้ำมันประเภทนี้ มักจะอยู่ในสภาพของเหลวที่อุณหภูมิห้อง โดยจะไม่เป็นไขแม้อยู่ในตู้เย็น เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว น้ำมันเมล็ดนุ่น น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดฝ้าย

โดยชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมัน มีผลโดยตรงต่อ จุดหลอมเหลว และจุดแข็งตัวของน้ำมันหรือไขมัน ดังนี้

จุดหลอมเหลว (Melting point, mp) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้ไขมันเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลว เนื่องจากไขมันหรือน้ำมันมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์หลายชนิด ไขมันส่วนใหญ่จึงมีจุดหลอมเหลวเป็นช่วงอุณหภูมิ เช่น น้ำมันถั่วเหลืองมีจุดหลอมเหลว -8 ถึง –18 องศาเซลเซียส น้ำมันปาล์มมีจุดหลอมเหลว 27 ถึง 50 องศาเซลเซียส เป็นต้น

จุดหลอมเหลวสูงหรือต่ำขึ้นกับกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ และจะมีช่วงอุณหภูมินี้กว้างหรือแคบขึ้นกับชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ เช่น ไขมันที่มีไตรกลีเซอไรด์ชนิดเดียวกันทั้งหมดเป็นองค์ประกอบจะมีช่วงการหลอมเหลวแคบ ซึ่งจุดหลอมเหลวของกรดไขมันเพิ่มขึ้น เมื่อมีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลกรดไขมันเพิ่มขึ้น และจุดหลอมเหลวของกรดไขมันลดต่ำลง เมื่อมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลกรดไขมันสูงขึ้น ซึ่งหมายความว่าน้ำมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมสูง และเป็นกรดประเภทอิ่มตัวจะมีจุดหลอมเหลวของน้ำมันสูง ดังนั้นน้ำมันมีกรดไขมันปาล์มิติก เป็นองค์ประกอบจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าน้ำมันที่มีกรดไขมันไลโนเลอิคองค์ประกอบ และจากตารางที่ 2.1 จะพบว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันปาล์มคือกรดไขมันปาล์มิติก และน้ำมัน ถั่วเหลืองคือไลโนเลอิค ทำให้น้ำมันปาล์มมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าน้ำมันถั่วเหลือง และเกิดไขได้ง่ายกว่า น้ำมันถั่วเหลือง

จุดแข็งตัว (Solidifying point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้น้ำมันเริ่มแข็งตัวกลายเป็นของแข็งซึ่งอุณหภูมินี้มักต่ำกว่าจุดหลอมเหลว 2 ถึง 3 องศาเซลเซียส โดยมีช่วงการแข็งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นช่วงกว้างเช่นเดียวกับจุดหลอมเหลว ดังนั้นอุณหภูมิที่ทำให้น้ำมันปาล์มเกิดไขจะต่ำกว่า 27 องศาเซลเซียส สำหรับน้ำมันปาล์มที่ได้จากเมล็ดปาล์ม (Palm kernel oil) อุณหภูมิที่ทำให้เกิดไขจะต่ำกว่า 24 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่จะทำให้น้ำมันถั่วเหลืองเกิดไขได้จะต่ำกว่า - 8 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.3 จุดหลอมเหลว ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันต่างๆ [11]

กรดไขมัน	ไขมันวัว	น้ำมันหมู	น้ำมันมะพร้าว	น้ำมันเมล็ดฝ้าย	น้ำมันปาล์ม (kernel)	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันถั่วเหลือง
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	2.0	0.1
Myristoleic C14:1	0.4	0.2	-	-	-	-	-
Palmitic C16:0	29.1	26.2	8.0	25.0	8.7	43.0	10.5
Palmitoleic C16:1	34.0	4.0	1.0	0.7	-	0.1	-
Stearic C18:0	18.9	13.5	3.4	2.8	1.9	7.0	3.2
Oleic C18:1	44.0	42.9	5.0	17.1	14.6	39.0	22.3
Linoleic C18:2	0.3	9.0	2.5	52.7	1.2	9.0	54.5
Linolenic C18:3	-	0.3	-	-	-	-	8.3
จุดหลอมเหลว (C^{O})	40-48	33-46	23-28	-2 ถึง 2	24-28	27-50	-8 ถึง -18

2.2.3.2 การจัดเก็บรักษา

1. อุณหภูมิ

อุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษามีผลต่อการเกิดไขของน้ำมัน หากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของน้ำมันนั้นๆในกรณีของน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 27 ถึง 50 องศาเซลเซียส โดยธรรมชาติการเก็บน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิสูงกว่า 27 องศาเซลเซียส น้ำมันปาล์มจะไม่เกิดไข แต่ถ้าเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้จะเกิดไขขึ้นได้

2. ระยะเวลา

เป็นปัจจัยที่เหนี่ยวนำให้เกิดการก่อตัวของผลึกไขมันขึ้น ในกรณีที่เก็บน้ำมันไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกจะยังไม่เกิดไขทันที แต่หากเก็บไว้ 1 ถึง 2 วันสามารถเกิดไขได้เช่นกันเนื่องจากในน้ำมันถั่วเหลืองเองก็มีไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิ่มเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกัน ถึงแม้จะมีปริมาณน้อย ไตรกลีเซอไรด์นี้สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันขึ้นได้เมื่อเก็บที่อุณหภูมิดังกล่าวและเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลานาน ผลึกไขมันเหล่านี้จะเป็นตัวที่เหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวเพิ่มปริมาณขึ้น และเห็นเป็นไขในที่สุด

ดังนั้นทั้งองค์ประกอบของน้ำมัน และอุณหภูมิในการเก็บรักษาจึงเป็นปัจจัยที่ทำให้น้ำมันเกิดผลึกได้ เช่น น้ำมันปาล์มที่มีกรดไขมันอิ่มตัวปาล์มิติกเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 43 จึงทำให้น้ำมันปาล์มมีจุดหลอมเหลวสูง (27 ถึง 50 องศาเซลเซียส) จึงเกิดไขได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลือง แม้เก็บที่อุณหภูมิห้อง

2.2.4 กระบวนการ winterization

กระบวนการ winterization เป็นกระบวนการดกผลึกไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง และมีปริมาณน้อยออกจากน้ำมัน ทำให้น้ำมันมีความใสป้องกันการเกิดผลึกไขมันแข็งเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวจะสามารถเก็บในที่อุณหภูมิต่ำได้โดยไม่เกิดไข ซึ่งน้ำมันที่มีไดรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงเป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันรำข้าวที่มีแว็กซ์เป็นองค์ประกอบจะมีการทำ winterization กับน้ำมันเหล่านี้เพื่อตกผลึกแยกไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงและมีปริมาณน้อยออกจากน้ำมัน ทำให้น้ำมันมีความใสป้องกันการเกิดผลึกไขมันแข็งเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำ แต่ถ้ากระบวนการดังกล่าวนี้กำจัดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงไม่สมบูรณ์เมื่อนำมาเก็บที่อุณหภูมิต่ำก็สามารถทำให้น้ำมันเกิดผลึกไขมันได้เช่นกัน

2.2.5 อัตราการเกิดผลึก [13]

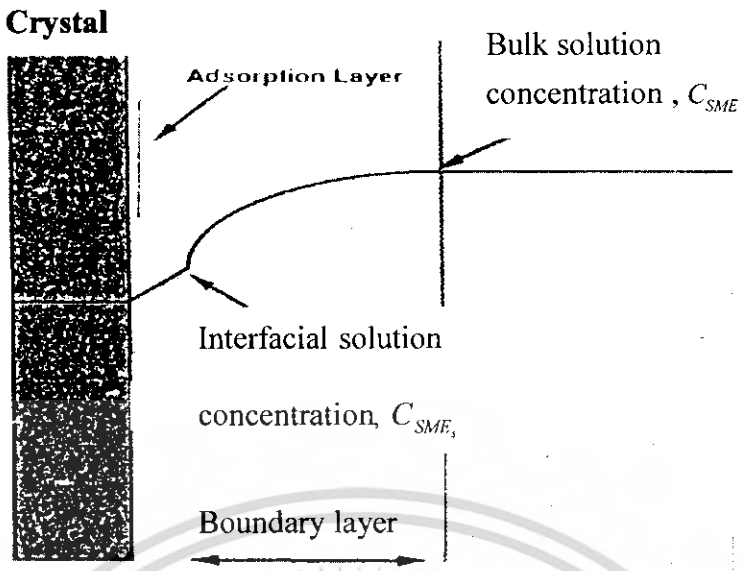
กระบวนการดกผลึกประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญคือ ขั้นตอนที่1ตัวถูกละลายเคลื่อนที่โดยวิธีการแพร่ผ่านฟิล์มที่อยู่รอบผิวก้อนผลึก (Boundary layer) และขั้นตอน2 ที่ตัวถูกละลายเกาะติดกับผิวของก้อนผลึกเกิดเป็นผลึกขนาดใหญ่ขึ้น (Adsorption layer) ดังรูปที่ 2.7

ในการเกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ เมื่อพิจารณาค่าจุดหลอมเหลวของเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม ดังแสดงในตารางที่ 2.1และ2.2 จะพิจารณาแบ่งเมทิลเอสเทอร์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีจุดหลอมเหลวสูง (Saturated Methyl Ester (SME)) และกลุ่มที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ (Unsaturated Methyl Ester (UNE)) โดยจะสมมติให้เฉพาะ SME เป็นเมทิลเอสเทอร์ที่สามารถเกิดเป็นผลึกได้ในช่วงอุณหภูมิ 15 ถึง 20 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อพิจารณา

ขั้นตอนที่1 ตัวถูกละลายเคลื่อนที่โดยวิธีการแพร่ผ่านฟิล์มที่อยู่รอบผิวผลึก โดยอัตราการเกิดผลึกสามารถแสดงได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{dm_c}{dt} = N_{SME} aV \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การตกผลึกที่ตัวถูกละลายเคลื่อนที่โดยวิธีการแพร่ผ่านฟิล์มที่อยู่รอบผิวก้อนผลึก

โดยในขั้นตอนนี้ฟลักซ์เชิงโมลของเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัว (N_{SME}) จะอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (k_c') จาก Bulk solution ผ่าน Boundary layer ไปที่บริเวณผิวผลึก และความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวในสารละลาย (C_{SME}) กับความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวบริเวณผิวผลึก (C_{SME_s}) ในหน่วยกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เขียนเป็นสมการได้คือ

$$N_{SME} = k_c'\left(C_{SME} - C_{SME_s}\right) \tag{2.2}$$

นำสมการที่ (2.2) แทนลงในสมการที่ (2.1) จะได้สมการเพื่อหาอัตราการเกิดผลึกได้ดังนี้

$$\frac{dm_c}{dt} = k'_c\left(C_{SME} - C_{SME_s}\right)aV = k_c\left(C_{SME} - C_{SME_S}\right) \tag{2.3}$$

<u>ขั้นตอนที่2</u> ตัวถูกละลายเกาะติดกับ ผิวของก้อนผลึกเกิดเป็นผลึกขนาดใหญ่ โดยการเกิดผลึกสามารถ แสดงได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{dm_c}{dt} = k_s C_{SME_S} \tag{2.4}$$

เมื่อ k_s คือ ค่าคงที่อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาเป็นผลึกที่พื้นผิวผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.3) และสมการที่ (2.4) อัตราการเกิดผลึกทั้งสองจะต้องเท่ากันเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมใน Boundary layer

$$k_s C_{SME_s} = k_c \left(C_{SME} - C_{SME_s} \right) \tag{2.5}$$

จัดรูปสมการที่ (2.5) จะได้

$$C_{SME_s} = \frac{k_c C_{SME}}{k_s + k_c} \tag{2.6}$$

นำสมการที่ (2.6) แทน ในสมการที่ (2.3) จะได้สมการเพื่อหาอัตราการเกิดผลึกได้ดังนี้

$$\frac{dm_c}{dt} = k_c \left(C_{SME} - \frac{k_c C_{SME}}{k_s + k_c} \right) \tag{2.7}$$

จัดรูปสมการที่ (2.7) จะได้

$$\frac{dm_c}{dt} = \frac{k_c (k_s)}{k_s + k_c} C_{SME} \tag{2.8}$$

และ

$$\frac{dm_c}{dt} = \frac{C_{SME}}{\frac{1}{k_c} + \frac{1}{k_s}} \tag{2.9}$$

ดังนั้นจะได้

$$\frac{dm_c}{dt} = k C_{SME} \quad \text{เมื่อ} \quad k = \frac{1}{\frac{1}{k_c} + \frac{1}{k_s}} \tag{2.10}$$

ความเข้มข้นของ C_{SME} อาจเขียนได้ในรูปความสัมพันธ์กับน้ำหนักผลึกได้ดังนี้

เมื่อพิจารณาว่า

น้ำหนักผลึก = น้ำหนักเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวเริ่มต้น – น้ำหนักเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวที่เหลือในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m_c = \left(C_{SME_0} V_0\right) - \left(C_{SME} V\right) \tag{2.11}$$

V คือ ปริมาตรของเหลวที่เวลาใดๆและให้คำนวณปริมาตรของเหลวได้จากผลต่างของปริมาตรของเหลวเริ่มต้นและปริมาตรของผลึก $\left(V_c\right)$

เมื่อ $$V = V_0 - V_c \tag{2.12}$$

และปริมาตรของผลึกอาจคำนวณได้จาก

$$V_c = m_c / \rho_c \tag{2.13}$$

เมื่อ ρ_c คือความหนาแน่นของผลึก

นำสมการที่ (2.12) และสมการที่ (2.13) แทนค่าในสมการที่ (2.11) จะได้

$$m_c = \left(C_{SME_0} V_0\right) - C_{SME}\left(V_0 - \frac{m_c}{\rho_c}\right) \tag{2.14}$$

จัดรูปสมการที่ (2.14)

$$m_c + C_{SME}\left(V_0 - \frac{m_c}{\rho_c}\right) = C_{SME_0} V_0 \tag{2.15}$$

ดังนั้นจะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวในสารละลาย (C_{SME}) กับมวลของผลึก คือ

$$C_{SME} = \rho_c\left(\frac{C_{SME_0} V_0 - m_c}{\rho_c V_0 - m_c}\right) \tag{2.16}$$

นำสมการที่ (2.16) แทนในสมการที่ (2.10) จะได้สมการเพื่อหาอัตราการเกิดผลึก ดังนี้

$$\frac{dm_c}{dt} = k\rho_c\left(\frac{C_{SME_0} V_0 - m_c}{\rho_c V_0 - m_c}\right) \tag{2.17}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การพัฒนาเทคโนโลยีการแยกส่วนน้ำมันปาล์ม[14]

สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะได้ศึกษาเกี่ยวกับอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มโอลีนในประเทศไทย และทำการทดลองแยกส่วนน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ด้วยวิธี dry fractionation และ detergent fractionation โดยการทำให้เย็นลงถึง 18 องศาเซลเซียส อย่างช้าๆ แล้วกรองด้วย filter press ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์มโอลีน และปาล์มสเตียรินเฉลี่ยร้อยละ 61 และ 39 ตามลำดับ จากการสำรวจพบว่าน้ำมันปาล์มโอลีนใช้เป็นน้ำมันพืชบริโภค ส่วนปาล์มสเตียรินนอกจากใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเนยเทียม ไขมันผสมและสบู่แล้วยังอาจใช้เพื่อผลิตสารเคมี เทียนไข และเรซินอีกด้วย

2.3.2 การทำกรดγ-ไลโนเลนิกจากน้ำมันเมล็ด Borago officinalis และ Echium fastuosum ให้เข้มข้นขึ้นโดยใช้ตัวทำละลาย และตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำ[15]

Juan Carlos Lopez-Martinez และคณะได้ศึกษากระบวนการตกผลึกกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดพืชโดยใช้ตัวทำละลาย ทำให้ได้กรด γ-ไลโนเลนิกที่มีความเข้มข้นมากขึ้น ซึ่งเมล็ดพืชที่ใช้ในการทดลองคือ Borago officinalis และ Echium fastuosum ทดลองที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ ร้อยละ 10, 20 และ 40 โดยน้ำหนัก โดยทำการตกผลึกที่อุณหภูมิ 4, -24 และ -70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ตัวทำละลายที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ เฮกเซน อะซิโตน ไดเอทิลอีเทอร์ ไอโซบิวทานอล และเอทานอล ผลที่ได้คือ กรด γ-ไลโนเลนิกจาก Borago officinalis ที่ใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายความเข้มข้นมากสุดอยู่ที่ร้อยละ 58.8 ส่วนกรด γ-ไลโนเลนิกจาก Echium fastuosum ที่ใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายเช่นกันมีความเข้มข้นมากสุดคือร้อยละ 39.9 โดยน้ำหนัก

72249

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 การทดลองขั้นต้นเพื่อหาสภาวะในการตกผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
2. ขวดแก้วใสสำหรับทดลอง 2 ขวด
3. บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
4. กระบอกตวง ขนาด 50 มิลลิลิตร
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. สายยาง
8. ลวดเส้นเล็ก

3.1.2 สารเคมี

1. ตัวอย่างน้ำมันดีเซลชีวภาพ

3.1.3 วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ แล้วตั้งอุณหภูมิให้มีค่าตามที่กำหนด รอจนอุณหภูมิคงที่ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 และ25 องศาเซลเซียส ในแต่ละอุณหภูมิจะใช้เวลาในการทดลอง 30 นาที

2. ใช้กระบอกตวง ตวงน้ำมันดีเซลชีวภาพจำนวน 35 มิลลิลิตร เทลงในขวดแก้วใสทั้ง 2 ขวด

3. นำขวดที่ใส่น้ำมันแล้ว แช่ลงไปในอ่างควบคุมอุณหภูมิทีละขวด โดยใช้ลวดห้อยขวดให้ลอยอยู่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ พร้อมทั้งจับเวลา

4. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำขวดตัวอย่างน้ำมันดีเซลชีวภาพออกมาสังเกตสิ่งที่เกิดขึ้นพร้อมบันทึกผลการทดลอง

3.2 การทดลองเพื่อหาอัตราการเกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
2. เครื่องตกผลึกแบบกะขนาด 50 มิลลิลิตร
3. บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมแท่งกวนแม่เหล็ก

5. กระบอกตวง ขนาด 50 มิลลิลิตร

6. ตะแกรงลวดขนาด 250 mesh

7. ขาตั้งพร้อมที่จับ

8. นาฬิกาจับเวลา

9. เทอร์โมมิเตอร์

10. กรวยกรอง

11. สายยาง

12. แผ่นฟิล์มพลาสติก

3.2.2 สารเคมี

1. ตัวอย่างน้ำมันดีเซลชีวภาพ

3.2.3 วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ ก.1

2. เปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ แล้วตั้งอุณหภูมิให้มีค่าตามที่กำหนด รอจนอุณหภูมิคงที่

3. เตรียมน้ำมันดีเซลชีวภาพ สำหรับใช้ในการทดลอง โดยใช้กระบอกตวง ตวงให้ได้ปริมาตร 35 มิลลิลิตร

4. เทตัวอย่างน้ำมันดีเซลชีวภาพลงในเครื่องตกผลึกแบบกะ

5. ใส่แท่งกวนแม่เหล็กลงในเครื่องตกผลึกแบบกะแล้วกวนของผสมเพื่อให้อุณหภูมิกระจายตัวอย่างทั่วถึงทั้งเครื่องปฏิกรณ์ โดยสังเกตจากเทอร์โมมิเตอร์ที่จุ่มอยู่ในตัวอย่างน้ำมันดีเซลชีวภาพ ว่าได้อุณหภูมิที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าได้แล้วให้เริ่มจับเวลา

6. ใช้แผ่นฟิล์มพลาสติกปิดปากเครื่องตกผลึกแบบกะไว้ขณะทำการทดลอง

7. รอให้ได้ตามเวลาที่กำหนดไว้ จึงนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักผลึกที่เกิดขึ้นพร้อมบันทึกผล

สภาวะที่กำหนดใช้ในการทดลอง

การทดลองนี้กำหนดปัจจัยทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ

- อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง 15 16 และ17 องศาเซลเซียส
- เวลาที่ใช้ในการทดลอง 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที

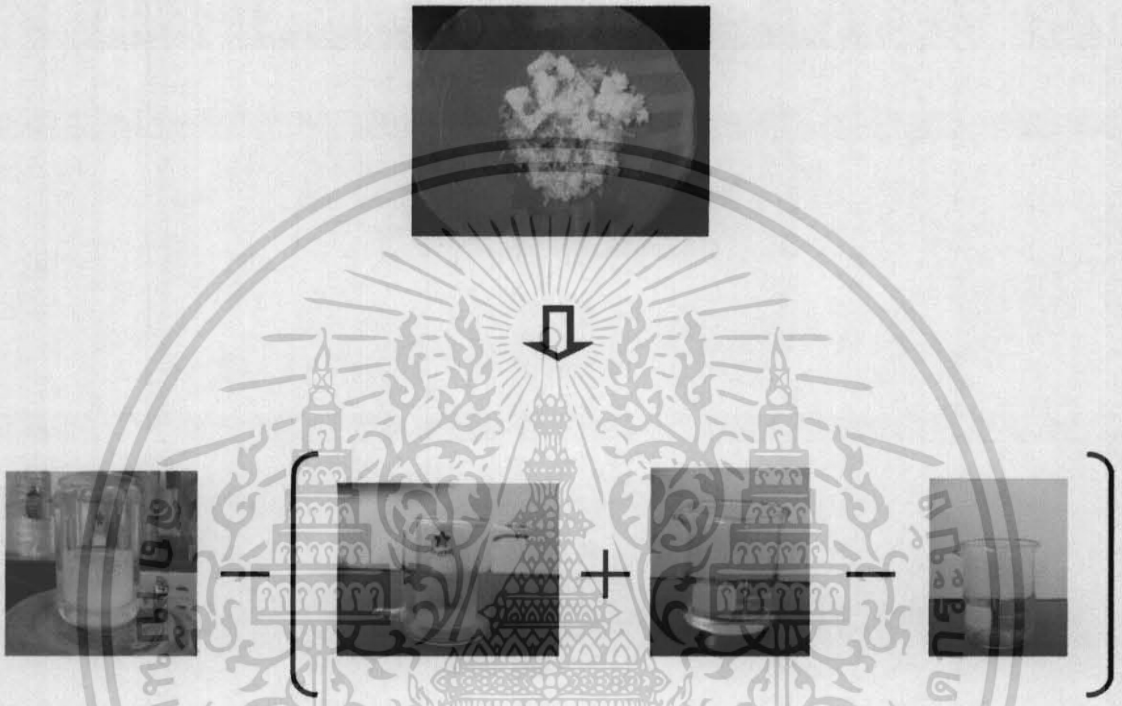
การชั่งน้ำหนักผลึกที่เกิดขึ้น

- เมื่อตกผลึกได้ในเวลาที่กำหนดแล้ว ถอดเครื่องตกผลึกแบบกะออกมาชั่งน้ำหนัก
- กรองน้ำมันด้วยการเทน้ำมันออกจากเครื่องตกผลึกแบบกะ โดยใช้บีกเกอร์รองไว้ แล้วนำน้ำมันที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักผลึกที่เกิดขึ้นหาได้จาก

น้ำหนักผลึกที่เกิดขึ้น = (น้ำหนักของเครื่องตกผลึกแบบกะที่มีผลึกและน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการกรอง) - (น้ำหนักเครื่องตกผลึกแบบกะเปล่า + น้ำหนักน้ำมันที่ผ่านการกรองแล้ว- น้ำหนักบีกเกอร์เปล่า)



รูปที่ 3.1 แสดงวิธีการหาน้ำหนักผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 การทดลองขั้นต้นเพื่อหาสภาวะในการตกผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

จากการทดลองเพื่อหาสภาวะในการตกผลึกของน้ำมัน พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ตัวอย่างน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ควบคุมอุณหภูมิในช่วง 15 ถึง 20 องศาเซลเซียส เริ่มมีการตกผลึกเกิดขึ้นและเมื่อควบคุมอุณหภูมิต่อไปอีกพบว่า ผลึกมีการแยกชั้นกันอย่างชัดเจน โดยมีส่วนที่เป็นของเหลวอยู่ด้านบนและส่วนที่เป็นผลึกจะอยู่ด้านล่าง ส่วนขวดตัวอย่างน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ควบคุมอุณหภูมิในช่วง 21 ถึง 25 องศาเซลเซียส ไม่เกิดผลึก

รูปที่ 4.1 แสดงการแยกชั้นของของเหลวใสและผลึกที่เกิดขึ้น

ช่วงอุณหภูมิที่ 21 ถึง 25 องศาเซลเซียส ไม่เกิดผลึกเนื่องจากที่สภาวะนี้ยังถือว่าเป็นใกล้เคียงสภาวะปกติทำให้น้ำมันยังไม่ถึงจุดที่จะแข็งตัวเป็นผลึกได้ เป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นว่าน้ำมันจะเกิดผลึกที่สภาวะอากาศเย็นตัวลง ซึ่งมีผลต่อการนำไปใช้ในสถานที่ที่มีสภาพอากาศเย็น

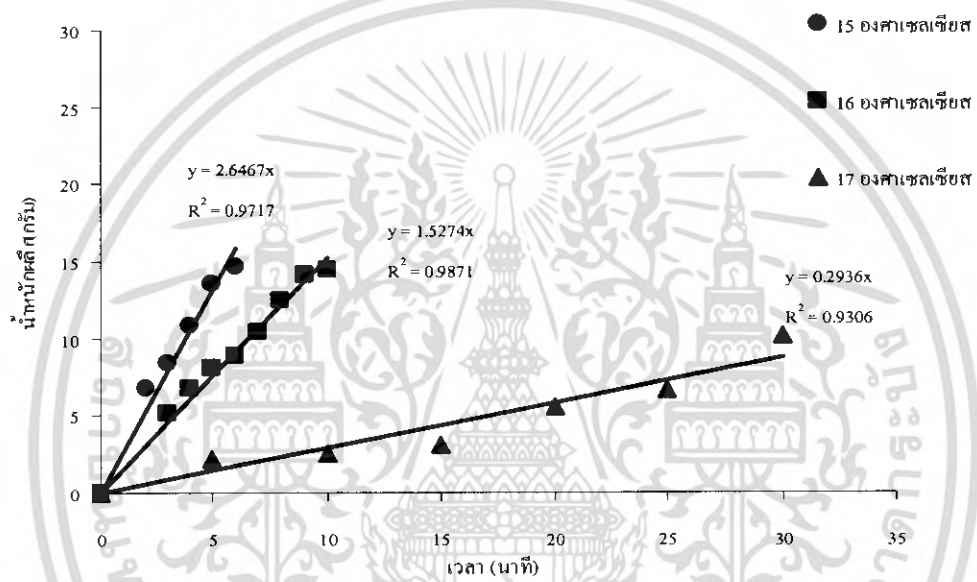
การเกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นผลมาจากองค์ประกอบในน้ำมันซึ่งคุณสมบัติ ของไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันโดยขึ้นกับคุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งประกอบด้วยเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว เมทิลเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวมีโครงสร้างแบบที่มีพันธะคู่ โครงสร้างโค้งงอไม่เป็นระเบียบ ทำให้ส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนของเมทิลเอสเทอร์ไม่สามารถซ้อนทับกันได้สนิท ทำให้จุดหลอมเหลวต่ำ ดังนั้นเมทิลเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวจึงเป็นน้ำมัน และในส่วนของเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวมีโครงสร้างแบบพันธะเดี่ยว โครงสร้างมีความเป็นระเบียบ จึงทำให้ส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนของเมทิลเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์สามารถซ้อนทับกันได้สนิท มีจุดหลอมเหลวสูง จึงอาจอนุมานได้ว่าส่วนที่เป็นของเหลวที่อยู่ในตัวอย่างน้ำมันดีเซลชีวภาพคือเมทิลเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว ส่วนที่เป็นผลึกของแข็งที่เกิดขึ้นในตัวอย่างน้ำมันดีเซลชีวภาพคือเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัว

4.1.2 การทดลองเพื่อหาอัตราการเกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

จากการทดลองเพื่อหาอัตราการเกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ โดยการชั่งน้ำหนักผลึกที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักผลึกกับเวลาที่อุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักผลึกกับเวลาที่อุณหภูมิต่างๆ

จากกราฟแสดงผลการทดลองปริมาณผลึกที่เกิดขึ้นกับเวลา ณ อุณหภูมิใดๆเป็นสมการเส้นตรง มีความชันที่อุณหภูมิ 15, 16 และ 17 องศาเซลเซียส เท่ากับ 2.6467 , 1.5274 และ 0.2936 กรัม/นาที ตามลำดับโดยอัตราการตกผลึกนั้นสามารถหาได้จากความชันดังกล่าวซึ่งมีค่าคงที่ แสดงว่าอัตราการเกิดผลึกในน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากการทดลองนั้นคงที่ไม่ขึ้นกับเวลาในการเกิดผลึก แต่เมื่อพิจารณาว่าอัตราการเกิดผลึกขึ้นกับ C_{SME} ดังสมการที่ (2.10) $\left(\frac{dm_c}{dt} = kC_{SME}\right)$ ซึ่งค่า C_{SME} มีค่าลดลงตลอดเวลาที่เกิดผลึก ดังนั้น สมมติฐานที่ว่า อัตราการเกิดผลึกขึ้นกับความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวอาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2.1 การทดลองขั้นต้นเพื่อหาสภาวะในการตกผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

ช่วงอุณหภูมิ 21 ถึง 25 องศาเซลเซียส ไม่เกิดผลึกเนื่องจากที่สภาวะนี้ยังถือว่าเป็นใกล้เคียงสภาวะปกติทำให้น้ำมันยังไม่ถึงจุดที่จะแข็งตัวเป็นผลึกได้ เป็นสิ่งที่ชี้ให้เห็นว่าน้ำมันจะเกิดผลึกที่สภาวะอากาศเย็นตัวลง ซึ่งมีผลต่อการนำไปใช้ในสถานที่ที่มีสภาพอากาศเย็น

การเกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นผลมาจากองค์ประกอบในน้ำมันซึ่งคุณสมบัติของไขมันหรือน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันโดยขึ้นกับคุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่เป็นองค์-ประกอบ ซึ่งประกอบด้วยเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว เมทิลเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวมีโครงสร้างแบบที่มีพันธะคู่ โครงสร้างโค้งงอ (จากตารางที่ 2.2) ทำให้ส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนของเมทิลเอสเทอร์ไม่สามารถซ้อนทับกันได้สนิท ทำให้จุดหลอมเหลวต่ำกว่าเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวที่มีโครงสร้างแบบพันธะเดี่ยวโครงสร้างมีความเป็นระเบียบจึงทำให้ส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนของเมทิลเอสเทอร์สามารถซ้อนทับกันได้สนิทด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงอนุมานว่าของเหลวที่อยู่ในตัวอย่างน้ำมันดีเซลชีวภาพคือเมทิลเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว ส่วนที่เป็นผลึกของแข็งที่เกิดขึ้นในตัวอย่างน้ำมันดีเซลชีวภาพคือเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัว

4.2.2 การทดลองเพื่อหาอัตราการเกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

1. จากผลการทดลองพบว่าอัตราการเกิดผลึกมีค่าคงที่ ($\frac{dm_c}{dt} = \text{constant}$) ซึ่งต่างจากแบบจำลองในสมการที่ (2.10) คือ $\left(\frac{dm_c}{dt} = kC_{SME}\right)$ ซึ่งอัตราการเกิดผลึกจะขึ้นกับความเข้มข้นของ เมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัว (C_{SME}) ที่ลดลงตลอดเวลา กล่าวคือ อัตราการเกิดผลึกจะลดลงที่เวลาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า สามารถเกิดผลึกได้ปริมาณมากกว่าปริมาณของเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวที่มีในน้ำมันดีเซลชีวภาพ (ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวที่มีในน้ำมันดีเซลชีวภาพมีอยู่ประมาณร้อยละ 52 โดยน้ำหนัก แต่สามารถเกิดผลึกได้อย่างน้อยร้อยละ 90 โดยน้ำหนักของปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพเริ่มต้น) จึงอาจกล่าวได้ว่าผลึกสามารถเกิดได้จากเมทิลเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าอุณหภูมิช่วงที่ทำการทดลอง (15 ถึง 17 องศาเซลเซียส) ค่อนข้างมาก หรืออีกนัยหนึ่งจุดแข็งตัวของของผสมนี้มีค่าอยู่ระหว่างจุดหลอมเหลวของน้ำมันดีเซลชีวภาพอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว

2 . จากเหตุผลที่อธิบายในข้อ 1 เมื่อพิจารณาว่าผลึกสามารถเกิดได้ทั้งจากเมทิลเอสเทอร์ชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว จึงอาจเขียนสมการแสดงอัตราการเกิดผลึกเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังนี้ $\frac{dm_c}{dt} = k' C_{ME}$ เมื่อ C_{ME} คือความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์รวม ซึ่งจะมีค่าคงที่ตลอดเวลาของการเกิดผลึก ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์รวมจะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การทดลองขั้นต้นเพื่อหาสภาวะในการตกผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

จากการทดลองเพื่อหาสภาวะที่น้ำมันดีเซลชีวภาพตกผลึก พบว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพเกิดการตกผลึกเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาทีที่ช่วงอุณหภูมิ 15 ถึง20 องศาเซลเซียส แต่ในช่วงอุณหภูมิ 20 ถึง 25 องศาเซลเซียสไม่เกิดผลึก ทั้งนี้เนื่องจากกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่อยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพ ที่มีจุดหลอมเหลวสูงและมีพันธะเป็นแบบพันธะเดี่ยวโครงสร้างเป็นระเบียบจึงสามารถซ้อนทับกันได้เป็นอย่างดีจึงทำให้มีผลึกเกิดขึ้น

5.1.2 การทดลองเพื่อหาอัตราการเกิดผลึกของน้ำมันดีเซลชีวภาพ

การศึกษาจลนพลศาสตร์ของอัตราการเกิดผลึกในน้ำมันดีเซลชีวภาพ ได้สมการอัตราการเกิดผลึก คือ $\frac{dm_c}{dt} = k' C_{ME}$ เมื่อ C_{ME} คือความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์รวม ซึ่งจะมีค่าคงที่ตลอดเวลาของการเกิดผลึก เมื่อทำการทดลองตกผลึกในอุณหภูมิที่คงที่ อัตราการเกิดผลึกก็จะคงที่ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของเมทิลเอสเทอร์รวมดังกล่าวนั้นมีค่าคงที่ตลอดเวลาการดกผลึกเช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองยังมีตัวแปรหลายอย่างที่ต้องควบคุม คือ

1. ในการตกผลึกเมื่อเทน้ำมันดีเซลชีวภาพลงในเครื่องตกผลึกแบบกะควรใช้เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็กช่วยกวนน้ำมันดีเซลชีวภาพในช่วงแรกเพื่อให้อุณหภูมิสามารถกระจายตัวอย่างทั่วถึงซึ่งจะทำให้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยภายในเครื่องตกผลึกแบบกะเท่ากัน
2. ในการอ่านค่าอุณหภูมิควรใช้เทอร์โมมิเตอร์ จุ่มลงไปในน้ำมันดีเซลชีวภาพเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิจริงของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ใช้ทดลอง เนื่องจากอุณหภูมิที่อ่างควบคุมอุณหภูมิจะคลาดเคลื่อนกับอุณหภูมิจริงของน้ำมันดีเซลชีวภาพที่อยู่ในเครื่องตกผลึกแบบกะ
3. ขณะทำการตกผลึกควรใช้แผ่นฟิล์มพลาสติกปิดปากเครื่องตกผลึกแบบกะไว้ เพื่อป้องกันอุณหภูมิภายนอกรบกวนอุณหภูมิภายในเครื่องตกผลึกแบบกะ และป้องกันสิ่งแปลกปลอม
4. การกรองน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผ่านการดกผลึกแล้วดะแกรงที่ใช้กรองควรชุบน้ำมันก่อนกรองเพื่อป้องกันน้ำมันค้างบนตะแกรงไม่เท่ากัน ซึ่งจะส่งผลให้น้ำหนักของน้ำมันดีเซลชีวภาพหลังกรองมีความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. น้ำมันที่ใช้ชุบตะแกรงก่อนกรองน้ำมันดีเซลชีวภาพ ควรใช้น้ำมันดีเซลชีวภาพเย็นที่มีอุณหภูมิเดียวกับที่ใช้ตกผลึกเพื่อป้องกันผลึกที่หล่นลงบนตะแกรงละลายเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันที่เทลงไปกับอุณหภูมิของตะแกรงเพราะผลึกมีขนาดเล็กและจะละลายที่อุณหภูมิห้องถ้าผลึกละลายลงไปกับน้ำมันที่กรองจะทำให้น้ำหนักของน้ำมันที่ผ่านตะแกรงกรองลงมาคลาดเคลื่อน
6. เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิหนึ่งเสร็จแล้ว ควรล้างเครื่องตกผลึกแบบกะและแท่งแม่เหล็กที่ใช้กวนให้สะอาดและเช็ดให้แห้งเพื่อป้องกันผลึกเดิมติดค้างในเครื่องตกผลึกแบบกะและแท่งแม่เหล็กที่ใช้กวนซึ่งจะทำให้เกิดการล่อผลึกทำให้ผลึกที่เกิดขึ้นมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ป๋วย อุ่นใจ และ สยาม ภพลือชัย. 2544 "ไบโอดีเซล เชื้อเพลิงชีวภาพแห่งยุคสมัย" *Update*. สิงหาคม 2544. 16(168) : 50-56

[2] ศิริวรรณ บุรีคำ. 2546. " ไบโอดีเซลทางเลือกใหม่ทดแทนพลังเชื้อเพลิง" [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://clgc.rdi.ku.ac.th/newsletter/news 16_1/biodiesel.html

[3] พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล. 2544 "ไบโอดีเซล : พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล" วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กันยายน-ธันวาคม 2544. 16(3) : 5-7

[4] กัญจนา บุญเกียรติ และ สุกัญญา มากมี. 2544 "ไบโอดีเซล : พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล" วารสารวิทยาศาสตร์. พฤษภาคม-มิถุนายน 2544. 55(3) : 148-152

[5] Schwab, A.W.et.al. 1987. *Preparation and Properties of Diesel Fuels from Vegetable oils.* Fuel 66. : 1372-1378

[6] Robert T . et.al. *Organic Chemistry*. 3 nd Ed. India : Prentic-Hall. 1976.:682-683

[7] Wikipedia,the free encyclopedia. "Biodiesel." [Online]. Avialable : http://en.wikipedia.org/wiki/Biodiesel.2547

[8] William H.Brown. *ORGANIC CHEMISTRY*. New York : Saunders College Publishing. 1996. 995-1000

[9] วารุณี ยงสกุลโรจน์. 2544. *เคมีอินทรีย์ 1*. พิมพ์ครั้งที่ 5 . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง

[10] วิลเลียม เอฟ. สมิทซ์. 2546. *วัสดุวิศวกรรม*. แปลโดย แม้น อมรสิทธิ์ และสมชัย อัครทิวา. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท้อป

[11] นิธิยา รัตนาปนนท์. 2529. *วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน*. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[12] Chairman, C *et al.* 1999. *Food Fats and Oils*. 8 th Ed. Institute of Shortening and Edible Oils [online] http://www.iseo.org

[13] Christie John Geankoplis. *Transport Processes and Separation Process Principles*. 4 th Ed. Prentice-Hall International, Inc 1993.

[14] สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ. *การพัฒนาเทคโนโลยีการแยกส่วนน้ำมันปาล์ม*.สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] Juan Carlos Lopez-Martinez.2004.*γ-Linolenic acid enrichment from Borago officinalis and Echium fastuosum seed oils and fatty acids by low temperature crystallization.*Journal of Bioscienee and Bioengineering. Spain,2004

[16] Martin Mittelbach ,Claudia Remschmidt.2004.*Biodiesel.*1st Ed.Karl-Franzens-University Graz Heinrichstrasse 28.Austria

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ ก.1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก.2 แสดงเครื่องตกผลึกแบบกะ

รูปที่ ก.3 แสดงเครื่องชั่งที่ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลจากการทดลอง

ตารางที่ ข.1 น้ำหนักผลึกที่เวลาต่างๆที่ได้จากการทดลอง

เวลา (นาที)	น้ำหนักผลึก(กรัม)		
	15 °ซ	16 °ซ	17 °ซ
0	0	0	0
1	0	0	0
2	6.8	0	0
3	8.4	5.2	0
4	10.8	6.8	0
5	13.6	8.1	2.2
6	14.7	8.9	-
7	16.5	10.4	-
8	16.9	12.5	-
9	18.5	14.1	-
10	18.7	14.4	2.5
15	-	-	3.1
20	-	-	5.6
25	-	-	6.7
30	-	-	10.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้