ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางที่สภาวะกึ่งวิกฤติ

วรเมธ พงษ์ศิริ
เอกนันต์ ปกป้อง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มด้วย
สารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางที่สภาวะกึ่งวิกฤติ

นาย วรเมธ พงษ์ศิริ
นาย เอกอนันต์ ปกป้อง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HYDROLYSIS OF PALM OIL IN SUBCRITICAL DILUTE SOLUTION OF SULFURIC ACID

WORRAMET PONGSIRI
AEKANAN POKPONG

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางที่สภาวะกึ่งวิกฤติ
โดย	นาย วรเมธ พงษ์ศิริ
	นาย เอกอนันต์ ปกป้อง
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

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

.....กรรมการ
(ดร. พรสวรรค์ อัศวแสงรัตน์)

.....กรรมการ
(ผศ. ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางที่สภาวะกึ่งวิกฤติ
โดย	นาย วรเมธ พงษ์ศิริ
	นาย เอกอนันต์ ปกป้อง
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางในสภาวะกึ่งวิกฤต โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ เพื่อหาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยา ซึ่งตัวแปรที่จะศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น และอัตราส่วนของสารละลายตั้งต้นส่วนน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 175, 200 และ 225 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 15, 30 และ 60 นาที ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น 25 และ 43 % โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนของสารละลายตั้งต้นต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางเป็น 1:1 และ 1:3 จากการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าตัวแปรที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาจากมากไปน้อยคือ อุณหภูมิ เวลา ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น และอัตราส่วนของสารละลายตั้งต้นต่อสารละลายกรดเจือจาง ตามลำดับ เมื่อทำการทดลองไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มด้วยน้ำเทียบกับการเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง พบว่าสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางส่งผลน้อยมากต่อการเกิดปฏิกิริยา และปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นจะเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้เกิดได้ดี เมื่อเติมกรดเบนโซอิกที่สามารถละลายในน้ำมันได้ดีเทียบกับสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง พบว่ากรดเบนโซอิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ดีกว่าสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Hydrolysis of palm oil in subcritical dilute sulfuric acid solution
By	Mister Worramet Pongsiri
	Mister Aekanan Pokpong
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2013
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Prakob Kitchaiya

ABSTRACT

This project proposes a study of hydrolysis of palm oil in subcritical diluted sulfuric acid solution in a batch reactor. Factors that affect hydrolysis were chosen as following: temperature at 175, 200 and 225 °C, 25 and 43% by weight initial free fatty acid, residence time of 15, 30 and 60 minutes, and volumetric ratio of diluted sulfuric acid solution to lipid at 1:1 and 1:3. Experimental results were analyzed by a statistical analysis program, namely, Minitab. Factors that resulted most free fatty acid production were arranged as temperature, reaction time, initial free fatty acid and diluted sulfuric acid solution to lipid ratio, respectively. Experiments of palm oil hydrolysis in water disclosed that diluted sulfuric acid solution has a small affect on the reaction comparing with the added free fatty acid. Benzoic acid, a compound soluble in oil, was tested for its catalytic activity in oil hydrolysis and it was able to produce more fatty acid than the diluted sulfuric acid catalyst solution.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถประสบความสำเร็จและลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคลเหล่านี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ในตัวโครงงานวิจัย รวมถึงการอบรมและให้ข้อคิดในการทำโครงงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยช่วยเหลือ ซ่อมแซม รวมทั้งคำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทำการทดลองในโครงงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำภาควิศวกรรมเคมีทุกท่าน อาจารย์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่คอยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในแขนงต่างๆให้นักศึกษาได้ทำการค้นคว้าโครงงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาและพี่ๆ น้องๆ ที่คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษาและคอยอยู่เคียงข้างตลอดการทำโครงงานวิจัย

ประโยชน์ต่างๆและความรู้ที่ได้จากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวถึง หากมีข้อผิดพลาดหรือข้อเสนอแนะสิ่งใดในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำโครงงานวิจัยขอน้อมรับ และขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

วรเมธ พงษ์ศิริ
เอกอนันต์ ปกป้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญรูป VIII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
บทที่ 2 ทฤษฎี 3
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น 3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14
บทที่ 3 การเลือกค่าของตัวแปรที่ศึกษา 16
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย 18
4.1 ส่วนประกอบเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ 18
4.2 วิธีการดำเนินการทดลอง 19
บทที่ 5 ผลการทดลอง 21
5.1 ผลการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส 21
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส 25
5.3 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่ากรดไขมันอิสระโดยใช้โปรแกรม Minitab 26
5.4 วิจารณ์ผลการทดลอง 29
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองการทดลอง 30
เอกสารอ้างอิง 31
ภาคผนวก 33
ภาคผนวก ก 34
ภาคผนวก ข 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 กรดไขมันที่พบมากในธรรมชาติ 3
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 5
ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแสดงในค่าของกรดไขมันอิสระและ
ค่าการแปลงผันของไตรกลีเซอร์ไรด์ ที่สภาวะต่าง 21
ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแสดงในค่าของกรดไขมันอิสระและ
ค่าการแปลงผันของไตรกลีเซอร์ไรด์ที่สภาวะต่างๆ(ต่อ) 22
ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างน้ำมันพืชโอเลอินกับสารละลาย
กรดซัลฟิวริกเจือจางและน้ำ 25
ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างกรดเบนโซอิกในน้ำมันและน้ำ 25
ตารางที่ 5.4 ผลกระทบของตัวแปรหลักและตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมกันของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส 26
ตารางที่ 5.4 ผลกระทบของตัวแปรหลักและตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมกัน
ของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ต่อ) 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส(hydrolysis)ของไตรกลีเซอไรด์ 4
รูปที่ 2.2 Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) 7
รูปที่ 2.3 กระบวนการ Fat splitting แบบไหลสวนทาง [16] 10
รูปที่ 2.4 กราฟแสดงช่วงการเกิดน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ (Subcritical water) ที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ 11
รูปที่ 4.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะและส่วนให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์ 18
รูปที่ 4.2 กล่องควบคุมอุณหภูมิในการให้ความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ 18
รูปที่ 4.3 น้ำมันปาล์ม และ PFAD ที่ใช้เตรียมสารตั้งต้นส่วนน้ำมัน 19
รูปที่ 4.4 ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ 20
รูปที่ 4.5 ไขมันผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส 20
รูปที่ 5.1 กรดไขมันอิสระที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ อัตราส่วนสารละลายน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก 1:3 โดยปริมาตรและค่ากรดไขมันอิสระเริ่มต้น 43 % โดยน้ำหนัก 23
รูปที่ 5.2 กรดไขมันอิสระที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ อัตราส่วนสารละลายน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก 1:1 โดยปริมาตร และค่ากรดไขมันอิสระเริ่มต้น 43 % โดยน้ำหนัก 23
รูปที่ 5.3 กรดไขมันอิสระที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ อัตราส่วนสารละลายน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก 1:3 โดยปริมาตร และค่ากรดไขมันอิสระเริ่มต้น 25 % โดยน้ำหนัก 24
รูปที่ 5.4 กรดไขมันอิสระที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ อัตราส่วนสารละลายน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก 1:1 โดยปริมาตร และค่ากรดไขมันอิสระเริ่มต้น 25 % โดยน้ำหนัก 24
รูปที่ 5.5 ผลกระทบของตัวแปรหลักทั้ง 4 ค่า ที่มีอิทธิพลต่อค่ากรดไขมันอิสระ 27
รูปที่ 5.6 ผลกระทบของตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมกัน 2 ตัวแปรที่มีต่อค่ากรดไขมันอิสระ 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

กรดไขมันอิสระ (free fatty acid, FFA) เป็นสารตั้งต้นที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ใช้ผสมลงในอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง สามารถใช้ในการผลิตสบู่คุณภาพสูง สารซักล้าง (detergent) จาระบี (grease) เป็นสารทำให้ผ้านุ่ม (textile softerner) เป็นสารตั้งต้นของน้ำมันไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่น กรดไขมันอิสระบางตัวยังเป็นกรดไขมันจำเป็นสำหรับร่างกาย จึงถูกนำมาผลิตเป็นอาหารเสริม เช่น Linoleic acid (18:2(n-6)) ซึ่งพบมากในน้ำมันดอกคำฝอย กรดไขมันอิสระส่วนใหญ่ได้มาจากได้มาจากไขมันและน้ำมันธรรมชาติเกือบทั้งหมด และเป็นที่ต้องการในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย

ปัจจุบันประเทศไทยมีการปลูกปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก [1] เนื่องมาจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงกว่าพืชน้ำมันทุกชนิด และยังเป็นพืชที่มีต้นทุนการผลิตน้ำมันต่ำกว่าพืชชนิดอื่น สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ และนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง จึงมีการส่งเสริมให้มีการปลูกปาล์มเป็นจำนวนมาก แต่ปริมาณการผลิตที่มากอาจทำให้เกษตรกรประสบปัญหาราคาน้ำมันปาล์มตกต่ำ การนำน้ำมันปาล์มมาเพิ่มมูลค่านั้นทำได้หลายแบบ ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้น้ำมันปาล์มในการศึกษา เพราะหาง่าย ราคาถูก และนำมาเพิ่มมูลค่าโดยวิธีการไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์ม เพื่อให้ได้เป็นกรดไขมัน ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในอุสาหกรรมต่างๆ

ดั้งนั้นกรดไขมันอิสระจึงมีความจำเป็นในอุตสหกรรมหลายด้าน ทำให้มีความต้องการกรดไขมันอิสระมากขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการผลิตกรดไขมันอิสระด้วยการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) น้ำมันปาล์ม โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกและกรดไขมันปาล์ม (palm fatty acid distillate, PFAD) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดลองที่น้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ ซึ่งวิธีนี้จะทำให้น้ำกับน้ำมันเกิดการผสมกันได้ดีขึ้น ผลิตภัณฑ์กรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น ยังแสดงคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยตัวเอง (auto-catalytic) นอกจากนี้การใส่สารละลายกรดซัลฟิวริกซึ่งเป็นกรดแก่ ทำให้มีตัวเร่งปฏิกิริยาเริ่มต้นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งคาดว่าจะส่งผลให้ได้ผลผลิตเป็นกรดไขมันปาล์มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และอัตราส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อสารตั้งต้น ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์ม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ (175, 200 และ 225 องศาเซลเซียส) ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น (25 และ 43 % โดยน้ำหนัก) เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (15, 30 และ 60 นาที) และอัตราส่วนของสารตั้งต้นต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก (1:1 และ 1:3)

1.3.2 เปรียบเทียบ หาแนวโน้ม วิเคราะห์ผล เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น

2.1.1 กรดไขมัน (fatty acid) [5]

กรดไขมัน (fatty acid) คือ เป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งโมเลกุลของกรดไขมันประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) แสดงความเป็นกรดต่ออยู่กับสายของไฮโดรคาร์บอน กรดไขมันในอาหารมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ ประมาณ 4-24 อะตอม ในธรรมชาติมักไม่พบกรดไขมันในรูปของกรดไขมันอิสระ(Free fatty acid) แต่พบกรดไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) หรือไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) อยู่ในน้ำมัน (oil) และไขมัน (fat) พบทั้งในพืชและสัตว์ กรดไขมันพบได้ทั้งแบบอิ่มตัว (saturated) และแบบไม่อิ่มตัว (unsaturated)

กรดไขมันมีมากกว่า 1000 ชนิด แต่ที่พบมากมีอยู่ประมาณ 20 ชนิด โดยเฉพาะ C_{16} ถึง C_{22} โดยมีรายละเอียดของกรดไขมันอิสระตามตารางที่ 2.1

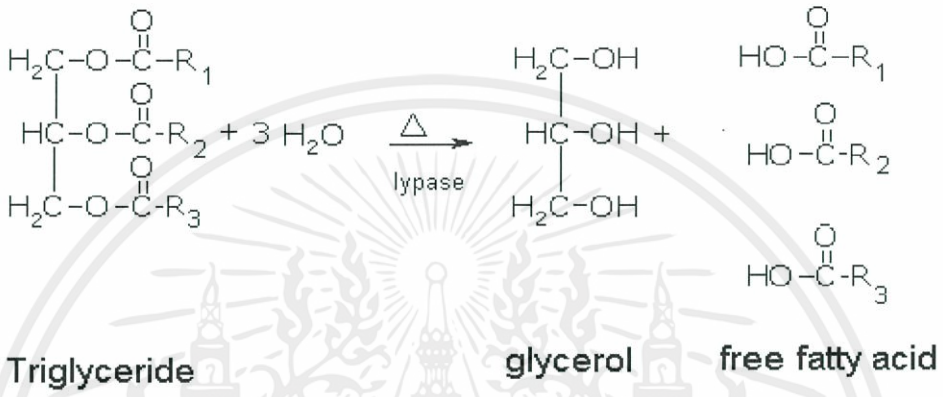
ตารางที่ 2.1 กรดไขมันที่พบมากในธรรมชาติ [1]

Fatty acid	Common name	Formula
4:0	butyric	$CH_3(CH_2)_2CO_2H$
6:0	caproic	$CH_3(CH2)_4CO_2H$
8:0	caprylic	$CH_3(CH2)_6CO_2H$
10:0	capric	$CH_3(CH2)_8CO_2H$
12:0	lauric	$CH_3(CH_2)_{10}CO_2H$
14:0	myristic	$CH_3(CH_2)_{12}CO_2H$
16:0	palmitic	$CH_3(CH_2)_{14}CO_2H$
18:0	stearic	$CH_3(CH_2)_{16}CO_2H$
18:1 9c	oleic	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7CO_2H$
18:2 9c12c	linoleic	$CH_3(CH2)_4(CH=CHCH_2)_2(CH2)_6CO_2H$
18:3 9c12c15c	a-linolenic	$CH_3CH_2(CH=CHCH_2)_3(CH_2)_6CO_2H$
22:1 13c	erucic	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_{11}CO_2H$
20:5 5c 8c11c14c17c	EPA	$CH_3CH_2(CH=CHCH_2)_5(CH_2)_2CO_2H$
22:6 4c7c10c13c16c19c	DHA	$CH_3CH_2(CH=CHCH_2)_6CH_2CO_2H$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) [5]

หมายถึง กรดไขมัน (fatty acid) ที่ไม่ได้รวมอยู่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) โดยปกติ กรดไขมันซึ่งจัดเป็นลิพิด (lipid) มักพบอยู่ในน้ำมันและไขมันที่ใช้ปรุงอาหารบริโภค โดยจะรวมกันในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) สามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ได้ไขมันอิสระและกลีเซอรอลดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของไตรกลีเซอไรด์

2.1.3 น้ำมันปาล์มและกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม [2]

น้ำมันปาล์ม (palm oil) สกัดจากปาล์มน้ำมัน เป็นพืชน้ำมันที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงถึง 0.6 ถึง 0.8 ตันต่อไร่ต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ และนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากน้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูง ทำให้เกิดสารก่อมะเร็งได้น้อย น้ำมันปาล์มมีราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น นอกจากนี้ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ปลอดจากสารตัดแต่งพันธุกรรม (GMOs) น้ำมันปาล์มผลิตได้เองในประเทศ การใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมันจะก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มและรายได้โดยรวมของประเทศ โดยทั่วไป น้ำมันปาล์มดิบมีองค์ประกอบคือ

1) Triglycerides ประมาณ 95%

2) Fatty acids ประมาณ 3-5%

3) Minor & Trace component ประมาณ 1%

ซึ่งประกอบไปด้วยPhytonutrient ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและสารอื่นๆ เช่น Carotenoid, Tocopherols, Tocotrienols, Sterols, Triterperpene Alcohols, Phospholipids, Glycolipids, Terpenic hydrocarbons, Waxes และสิ่งเจือปนจากกระบวนการสกัดปาล์มน้ำมัน น้ำมันปาล์มมีค่าไดอิเล็กทริกประมาณ 3 [5] น้ำมันปาล์มตามวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดเป็น 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ ซึ่งมีองค์ประกอบกรดไขมันที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม [3]

กรดไขมัน	น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil)	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (palm kernel oil)
กรดไขมันอิ่มตัว	50%	82%
C6:0 (caproic acid)	-	0.1 - 0.5
C8:0 (capryliic acid)	-	3.4 - 5.9
C10:0 (capric acid)	-	3.3 - 4.4
C12:0 (lauric aid)	0.1 - 0.4	46.3 - 51.1'
C14:0 (myristic acid)	1.0 - 1.4	14.3 - 16.8
C16:0 (palmitic acid)	40.9 - 47.5	6.5 - 8.9
C18:0 (stearic acid)	3.8 - 4.8	1.6 - 2.6
C20:0 (arachidic acid)	0 - 0.8	-
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	50%	18%
C16:1 (palmitoleic acid)	0 - 0.6	
C18:1 (oleic acid)	36.4 - 41.2	13.2 - 16.4
C18:2 (linoleic acid)	9.2 - 11.6	2.2 - 3.4
C18:3 (linolenic acid)	0 - 0.5	-
Others	-	tr – 0.9

น้ำมันปาล์มสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย และแบ่งกลุ่มการนำไปใช้ประโยชน์ได้ 2 กลุ่มหลักคือ

- อุตสาหกรรมด้านอาหาร น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ประมาณ 80% นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภท เช่น น้ำมันทอด น้ำมันปรุงอาหาร มาการีน วานาสปาติ ไอศครีม ครีมเทียม นมเทียม เนยขาว เนยโกโก้ ขนมเค้ก ขนมปัง ฯลฯ รวมถึงผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ เช่น วิตามินอี วิตามินเอ

- อุตสาหกรรมโอลิโอเคมิคอล น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ประมาณ 20% นำไปใช้ประโยชน์ในการผลิต สินค้าอุปโภค โดยผ่านกระบวนการทางเคมี ดังนี้ การผลิตกรดไขมันประเภทต่างๆ ทั้งกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว เพื่อ นำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น

1) กรดลอริก ใช้ทำเป็นเรซินในอุตสาหกรรมสี

2) กรดปาล์มมิติก ใช้ในการเลี้ยงเชื้อราเพื่อสกัดเป็นยาปฏิชีวะนะ ผสมกับกรดสเตียติคเพื่อทำเทียนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กรดโอเลอิก ใช้ในอุสาหกรรมสิ่งทอ

4) กรดสเตียริก ใช้ในการผลิตเครื่องสำอาง สบู่เด็ก ผสมกับกรดปาล์มมิติกเพื่อทำเทียนไข

5) กรดลิโนเลอิก ใช้เป็นยาฉีดสำหรับลดไขมันในเส้นเลือด

6) การผลิตเมทิลเอสเทอร์ เป็นสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยาเคมี ระหว่างน้ำมันปาล์ม และเมทิลอัลกอฮอล์ โดยใช้โซเดียม ไฮดรอกไซด์ หรือโซดาไฟเป็นสารเร่งปฏิกิริยา และมีผลพลอยได้ที่สำคัญและมีมูลค่าสูงคือ กลีเซอรอล เมทิลเอสเทอร์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทั้งในด้านพลังงาน (ไบโอดีเซล) หรือใช้เป็นสารสำหรับผลิตอนุพันธ์ของกรดไขมันประเภทต่างๆ

7) Fatty Alcohol ใช้ประโยชน์ในการผลิต Sodium Alkyl Sulphates และ Surfactant ที่ใช้ผลิตผงซักฟอก

8) Fatty Acid Amides มีคุณสมบัติช่วยกันน้ำ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ การผลิตกระดาษ ไม้อัด โลหะ ยางฯ

9) Fatty Amines ที่มีความสำคัญนิยมใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ การผลิตพลาสติก น้ำมันหล่อลื่น สารควบคุมเชื้อราและ แบคทีเรียฯ

2.1.4 ผลผลิตจากปาล์มน้ำมัน [8]

ปาล์มน้ำมันสามารถนำมาแปรรูปเป็นสินค้าอุตสาหกรรมต่างๆเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย เช่น

- น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil, CPO)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสกัดผลปาล์มสด(Fresh Fruit Bunch) เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มดิบ มีลักษณะข้น สีส้มขุ่น ณ อุณหภูมิปกติ คุณสมบัติ ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์ม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องอื่น ๆ

- น้ำมันปาล์มเมล็ดในดิบ (crude palm kernel oil, CPKO)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดเมล็ดในปาล์ม(Kernel) เพื่อให้ได้น้ำมันเมล็ดในปาล์ม มีลักษณะกึ่งของเหลว สีเหลืองอบน้ำตาล ณ อุณหภูมิปกติ คุณสมบัติ ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการกลั่นน้ำมันเมล็ดในปาล์ม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องอื่น ๆ

- น้ำมันปาล์มเมล็ดในบริสุทธิ์ (refined palm kernel oil, RPKO)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (KO) เพื่อให้ได้น้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ มีลักษณะกึ่งของเหลว สีเหลืองอ่อน ณ อุณหภูมิปกติ คุณสมบัติ ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ อุตสาหกรรมอาหาร เช่น นมข้นหวาน ไอศกรีม เนยขา ฯลฯ

- น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (refine palm oil, RPO)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ มีลักษณะกึ่งของเหลว สีเหลืองอ่อน ณ อุณหภูมิปกติ คุณสมบัติ ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น อุตสาหกรรมการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เนยเทียม ไอศกรีม นมข้นหวาน สบู่ เป็นต้น

- น้ำมันปาล์มโอเลอีน (refined palm olein, ROL)

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ต้องได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

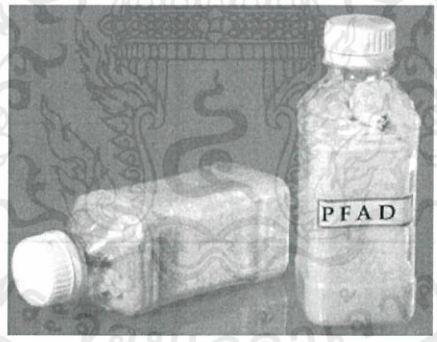
เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกไขปาล์มบริสุทธิ์ออกจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์(RPO) เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มโอเลอิน มีลักษณะใส สีเหลือง ณ อุณหภูมิปกติ และไม่มีสิ่งเจือปน คุณสมบัติ ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารที่เกี่ยวกับการทอดทุกชนิด เช่น ขนมขบเคี้ยว อาหารทอดสำเร็จรูป ฯลฯ รวมถึงการนำไปใช้ประกอบอาหารภายในครัวเรือน

- ปาล์มสเตียรีน (refined palm stearin, RPST)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกไขปาล์มบริสุทธิ์ออกจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์(RPO) เพื่อให้ได้ปาล์มบริสุทธิ์ มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ณ อุณหภูมิปกติ คุณสมบัติ ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น อุตสาหกรรมการผลิตเนยเทียม เนยขาว ครีมฉาบหน้าขนม ฯลฯ รวมถึงอุตสาหกรรมผลิตสบู่โอลีโอเคมีคอล ฯลฯ

- กรดไขมันปาล์ม (palm fatty acid distilled, PFAD)

เป็นส่วนที่ได้มาขั้นตอนสุดท้ายของการกลั่นบริสุทธิ์แบบกายภาพ มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงประมาณร้อยละ 95 เป็นผลิตผลพลอยได้ที่ได้หลังจากการกลั่นน้ำมันปาล์มดิบ(CPO)มีลักษณะเป็นของแข็งสีน้ำตาลอ่อน ณ อุณหภูมิปกติถ้าหากนำไปแยกส่วนเป็นกรดต่างๆ ออกมาได้จะสามารถนำไปใช้อุตสาหกรรมได้หลากหลายชนิด เช่นอุตสาหกรรมโอลีโอเคมีคอล อุตสาหกรรมการผลิตสบู่ การผลิตวิตามินE รวมถึงอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซล ส่วนของการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ในครั้งนี้จึงนำกรดไขมันปาล์มมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย เนื่องจากมีความเข้มข้นของกรดสูง



รูปที่ 2.2 palm fatty acid distillate (PFAD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) น้ำมัน [14]

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมัน เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับน้ำ โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง อันดับปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ไตรกลีเซอไรด์ 1 โมเลกุล จะทำปฏิกิริยาได้กรดไขมันอิสระ 3 โมเลกุล และกลีเซอรอล 1 โมเลกุล ชนิดของกรดไขมันอิสระที่ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะสายโซ่คาร์บอนของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดของน้ำมัน

$$C_3H_5(OOCR)_3 + H_2O \underset{k_2}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} C_3H_5(OH)\cdot(OOCR)_2 + RCOOH$$

Triglyceride water diglyceride free fatty acid

$$C_3H_5(OH)\cdot(OOCR)_2 + H_2O \underset{k_2}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} C_3H_5(OH)_2\cdot(OOCR) + RCOOH$$

diglyceride water monoglyceride free fatty acid

$$C_3H_5(OH)\cdot(OOCR) + H_2O \underset{k_2}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} C_3H_5(OH)_3 + RCOOH$$

monoglyceride water glycerol free fatty acid

ไตรกลีเซอไรด์โมเลกุลหนึ่งๆ สายโซ่อาจมีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันได้ โดยส่วนใหญ่ ไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์มจะได้กรดไขมันอิสระพวก Palmitic acid, Oleic acid, Linoleic acid เป็นผลิตภัณฑ์ ในการแตกไตรกลีเซอไรด์ด้วยน้ำนั้นสามารถใช้ได้ทั้งกรดโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) การใช้ด่างโดยปฏิกิริยาสปอนิฟิเคชั่น (saponification) การใช้เอนไซม์ (enzymatic hydrolysis) และการใช้ไอน้ำความดันสูง (fat splitting)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นปฏิกิริยาที่ต้องอาศัยตัวเร่งกรด หรือด่างจึงจะเกิดได้ดี ในส่วนปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไตรกลีเซอไรด์นั้น จะเกิดกรดไขมันอิสระขึ้น กรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นนี้จะแสดงสมบัติเป็นตัวเร่งด้วยตัวของมันเอง ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันจึงถือเป็นปฏิกิริยา Auto-catalytic ทำให้ช่วงเริ่มต้นปฏิกิริยาจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำ แต่เมื่อทำปฏิกิริยาไปผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นตัวเร่ง(Auto-catalytic) อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงขึ้น

2.1.6 ปฏิกิริยาผันกลับได้ (Reversible reaction) [10]

ในการทำปฏิกิริยาทางเคมี เมื่อสารตั้งต้นเข้าทำปฏิกิริยากันได้ผลิตภัณฑ์ออกมา เรียกว่าปฏิกิริยาไปข้างหน้าและเมื่อผลิตภัณฑ์ทำปฏิกิริยากันแล้วได้สารตั้งต้นออกมาเรียกว่าปฏิกิริยาย้อนกลับ ในส่วนของปฏิกิริยาผันกับได้นั้นเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่ทำการทดลองสามารถเปลี่ยนแปลงแบบไปข้างหน้าและย้อนกลับได้ ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ต่างกัน

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาไปข้างหน้า Reactant $\longrightarrow$ Product

ปฏิกิริยาย้อนกลับ Reactant $\longleftarrow$ Product

ปฏิกิริยาผันกลับได้ Reactant $\rightleftharpoons$ Product

ปฏิกิริยาที่ผันกลับได้นั้นมีอยู่มากมาย อาจเกิดได้จากหลายๆปัจจัยด้วยกัน การที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อสมดุลเคมีด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น การไฮโดรไลซิสของน้ำมันปาล์ม

$$C_3H_5(OOCR)_3 + H_2O \rightleftharpoons C_3H_5(OH) + 3RCOOH$$

Triglyceride water glycerol free fatty acid

การเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าหรือย้อนกลับนั้นเกิดได้จากหลายปัจจัยเช่น

2.1.6.1 ความเข้มข้นของสารกับสภาวะสมดุล

ความเข้มข้นถือเป็นปัจจัยที่ส่งต่อสมดุลเคมี หากเรารบกวนสมดุลเคมี จะส่งผลทำให้ปฏิกิริยาเคมีเข้าสู่สมดุลใหม่ขึ้น เช่นถ้าหากใส่น้ำซึ่งเป็นสารตั้งต้นไปในปฏิกิริยา จะส่งผลให้ปฏิกิริยาผันไปข้างหน้าเพิ่มขึ้น

2.1.6.2 อุณหภูมิกับสภาวะสมดุล

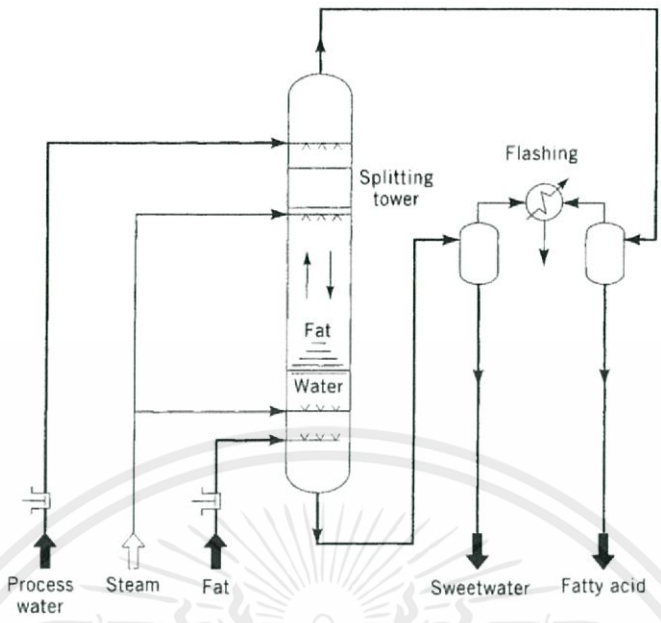
สมดุลเคมีของปฏิกิริยาดูดหรือคายความร้อนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบจะมีผลต่อสภาวะสมดุลของระบบ จากสมการไฮโดรไลซิสของน้ำมันปาล์ม เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ทำให้เมื่อเพิ่มความร้อนจนถึงระดับที่เกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยาก็จะผันไปข้างหน้า

2.1.7 วิธีการผลิตกรดไขมันอิสระ [1]

2.1.7.1 การผลิตกรดไขมันอิสระด้วยวิธี Fat Splitting

เป็นกระบวนการผลิตกรดไขมันอิสระในระดับอุตสาหกรรม ใช้ในการผลิตกรดไขมันอิสระในระดับอุตสาหกรรม โดยใช้ไอน้ำทำปฏิกิริยากับน้ำมันโดยให้ไหลสวนทางกัน ที่ช่วงอุณหภูมิ 250 ถึง 260°C ปฏิกิริยาจะเกิดได้อย่างรวดเร็วในช่วงความดัน 20 ถึง 60 บาร์ เกิดปฏิกิริยาได้โดยไม่ต้องใช้ตัวเร่ง และตัวทำละลาย แต่หากใช้ตัวเร่งประเภทออกไซด์ของโลหะจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น กลีเซอรอลจะละลายอยู่ในน้ำ และถูกนำออกทางด้านล้างของหอ กระบวนการนี้ใช้เวลา 2 ถึง 3 ชั่วโมง และให้ค่าการแปลงผันถึง 99% แต่เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูง กรดไขมันอิสระที่ได้อาจมีสีเปลี่ยนไป ข้อเสียของปฏิกิริยานี้คือไม่สามารถใช้ผลิตกรดไขมันอิสระที่สลายทางความร้อนตัวได้ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมากกับไอน้ำที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กระบวนการ Fat splitting แบบไหลสวนทาง [16]

2.1.7.2 การผลิตกรดไขมันอิสระโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่ง (lipase catalyzed hydrolysis) [14]

วิธีการผลิตกรดไขมันอิสระโดยใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งวิธีที่ใช้พลังงานในการผลิตต่ำ เกิดที่อุณหภูมิที่ไม่สูง ทำให้วิธีนี้สามารถผลิตกรดไขมันอิสระที่สลายตัวทางความร้อนได้ง่าย ได้กรดไขมันอิสระที่มีความบริสุทธิ์สูงเนื่องจากมีปฏิกิริยาข้างเคียงน้อย ลักษณะเหมือนการใช้เอนไซม์ไลเปสในการย่อยสลายเพื่อให้เกิดการแตกตัว เนื่องจากไขมันและน้ำมันสามารถ แต่วิธีนี้ยังอยู่ในขั้นการศึกษาวิจัยเนื่องจากยังไม่มีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์ด้วยเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ยาวนาน เอนไซม์มีราคาแพง และมีอายุการใช้งานสั้น

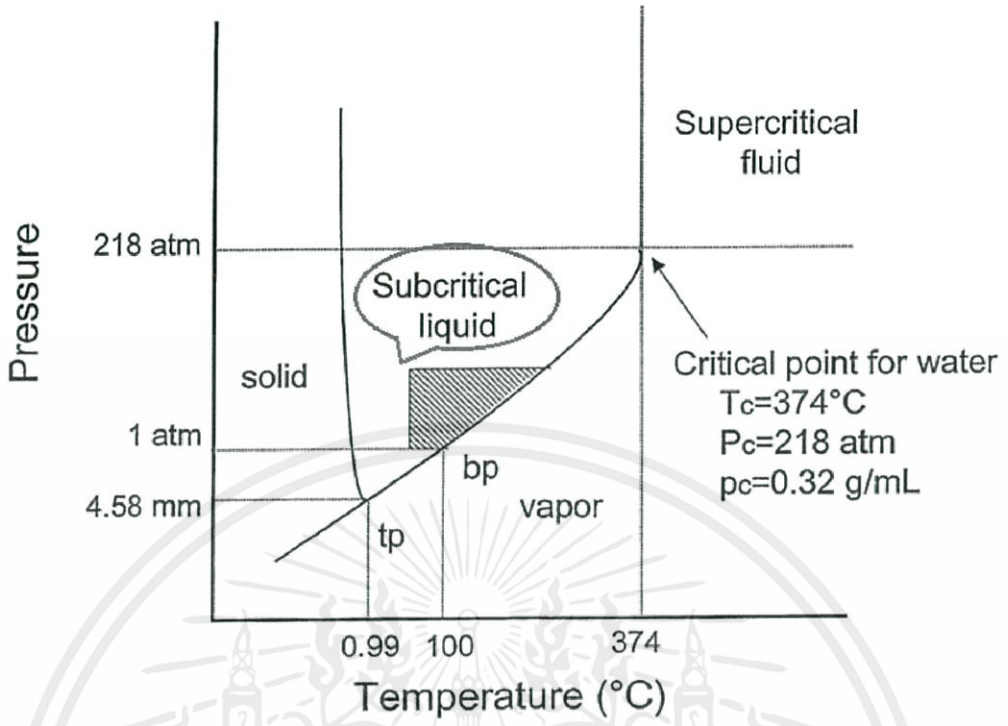
2.1.7.3 ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ (crude palm oil, CPO)

กรดไขมันที่ได้คือกรดไขมันปาล์ม (PFAD) เป็นกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธ์ เพื่อแยกองค์ประกอบของน้ำมันเป็นชนิดต่างๆ ในส่วนของกรดไขมันปาล์มเป็นผลพลอยได้ จากการกลั่นน้ำมันปาล์ดิบ วิธีนี้ทำให้ได้กรดไขมันอิสระถึง 95%

2.1.8 น้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ (subcritical water) [7]

น้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ (subcritical water) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า น้ำร้อนที่สภาวะความดันสูง (pressurized hot water) หมายถึง น้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดวิกฤตแต่ยังคงสูงกว่าจุดเดือด (นั่นคือน้ำที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100 ถึง 374 องศาเซลเซียส) แสดงดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงช่วงการเกิดน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ (subcritical water) ที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ

เมื่อน้ำได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โมเลกุลของน้ำจะได้รับพลังงานความร้อนและเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวของพันธะไฮโดรเจนได้ ทำให้คุณสมบัติบางอย่างของน้ำเปลี่ยนไป คุณสมบัติที่เปลี่ยนไปอย่างชัดเจนมีสองประการ คือ

2.1.8.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant)

เป็นค่าที่แสดงความเป็นขั้วของโมเลกุล เมื่อน้ำได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 100°C ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) ของน้ำจะลดลง เช่น ความเป็นขั้วของโมเลกุลลดลงจาก 79.0 ที่อุณหภูมิ 25 °C เหลือเพียง 35.5ที่อุณหภูมิ 200 °C และเหลือเพียง 20.7 ที่อุณหภูมิ 300 °C ที่ 200°C ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำจะมีค่าเท่ากับค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของเมทานอลที่อุณหภูมิห้อง และที่ 297°C เบนซีนจะสามารถละลายใน น้ำได้อย่างสมบูรณ์หรือเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้น น้ำสภาวะกึ่งวิกฤติจึงเป็นตัวทำละลายที่ดีมากสำหรับสารอินทรีย์ที่ไม่ชอบละลายน้ำ (hydrophobic organics) ในสภาวะปกติ

2.1.8.2 น้ำจะมีไอออนในความเข้มข้นที่สูงขึ้น [18]

เมื่ออุณหภูมิสูงน้ำจะเกิดการแตกตัวเป็นไอออนสูงขึ้น ได้แก่ ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังนั้นน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติจึงมีคุณสมบัติเหมือนตัวเร่งปฏิกิริยากรดหรือเบส (acid or base catalyst) ณ อุณหภูมิที่สูงกว่า 200°C น้ำอาจจะแสดงประพฤติตัวเป็นตัวเร่งกรดหรือตัวเร่งด่าง เนื่องจากความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ที่มีมากกว่าน้ำในสภาวะปกติ ดังนั้น น้ำสภาวะกึ่งวิกฤติจึงสามารถประพฤติตัวเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเร่งได้ด้วยตัวเอง (autocatalysis or autocatalytic) สำหรับปฏิกิริยาที่ปกติแล้วต้องมีการเติมตัวเร่งกรดหรือตัวเร่งด่าง เนื่องจากปฏิกิริยาที่ใช้น้ำ เช่น ตัวทำละลายอินทรีย์ ดังนั้นจึงค่อนข้างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความปลอดภัย ราคาถูก หาง่าย ไม่เป็นพิษและไม่ก่อให้เกิดของเสียอีกด้วย จึงมีการนำน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เช่น การย่อยสลายไฮโดรไลซิส(Hydrolysis) รำข้าวหรือถั่วเหลืองด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ การไฮโดรไลซิสน้ำมันเมล็ดทานตะวันด้วยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ เป็นต้น

2.1.9 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (batch reactor) [9]

เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (batch reactor) เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่มักถูกนำมาใช้เมื่อต้องการผลิตสารเป็นปริมาณน้อยๆ (small-scale operation) เช่น ในขั้นทดสอบเบื้องต้นระหว่างการพัฒนากระบวนการใหม่ และการผลิตสารราคาแพง นอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้ในกระบวนการที่ไม่สามารถปรับปรุงให้ดำเนินการแบบต่อเนื่องได้

การดุลมวลของสาร j ของเครื่องปฏิกรณ์ทั่วไปสามารถเขียนได้ดังนี้

กำหนดให้ Fj0 = อัตราการไหลเชิงโมลขาเข้าถังปฏิกรณ์ (mol/time)

Fj = อัตราการไหลเชิงโมลขาออกถังปฏิกรณ์ (mol/time)

Gj = การเกิดของสาร j ในถังปฏิกรณ์

Nj = จำนวนโมลของสาร j ที่อยู่ในระบบที่เวลา t ใดๆ

อัตราการเกิดของสาร j ในระบบ (Gj) จึงสามารถเขียนได้เป็น

$$G_j = \int_0^V r_j V \qquad (2.1)$$

rj = อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสาร j

V = ปริมาตรของถังปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการดุลโมลสำหรับการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมีทั่วไป คือ

$$F_{j0} - F_j + \int_0^V r_j V = \frac{dN_j}{dt} \quad (2.2)$$

ในกรณีที่คุณสมบัติภายในระบบมีความสม่ำเสมอเหมือนกันทุกตำแหน่ง(well-mixed condition) สมการสมดุลโมลสามารถเขียนอยู่ในรูปอย่างง่าย คือ

$$F_{j0} - F_j + r_j V = \frac{dN_j}{dt} \quad (2.3)$$

เครื่องปฏิกรณ์แบบกะเป็นเครื่องปฏิกรณ์ ไม่มีสารป้อนเข้าและออกจากระบบอย่างต่อเนื่องในระหว่างการดำเนินการ ดังนั้น ($F_{j0}=F_j=0$) ดังนั้น ถ้าสมมติฐานว่าสารที่อยู่ในถังปฏิกรณ์เคมีมีการผสมกันเป็นเนื้อเดียวกันอย่างทั่วถึง สมการสำหรับการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\frac{dN_j}{dt} = r_j V \quad (2.4)$$

2.1.9.1 การดำเนินงานเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่ปริมาตรคงที่ [11]

ในกรณีนี้เป็นการเกิดปฏิกิริยาของของเหลว และมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นน้อยมาก หรือการเกิดปฏิกิริยาในของวัฏภาคแก๊สแต่อยู่ในภาชนะที่ปริมาตรคงที่ เป็นต้น

$$r_j = \frac{1}{V}\frac{dN_j}{dt} \quad (2.5)$$

$$r_j = \frac{d(N_j/V)}{dt} = \frac{dC_j}{dt} \quad (2.6)$$

2.1.9.2 การดำเนินงานเครื่องปฏิกรณ์แบบกะที่ปริมาตรไม่คงที่

ในกรณีนี้เป็นการเกิดปฏิกิริยาของวัฏภาคแก๊สและความดันคงที่โดยจำนวนโมลของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไม่เท่ากับจำนวนโมลของสารตั้งต้นที่ถูกใช้

$$r_j = \frac{1}{V}\frac{dN_j}{dt} = \frac{1}{V}\frac{d(C_j V)}{dt} = \frac{dC_j}{dt} + \frac{C_j}{V}\frac{dV}{dt}$$

$$r_j = \frac{dC_j}{dt} + C_j \frac{d\ln V}{dt} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.9.3 ค่าคอนเวอร์ชัน (conversion, X_A หรือ X)

ในการพิจารณาค่าคอนเวอร์ชัน ที่ใช้พิจารณาจะต้องเลือกสารตั้งต้นขึ้นมาเพื่อใช้เป็นบรรทัดฐาน ซึ่งโดยทั่วไป ควรเลือกสารตั้งต้นที่ถูกใช้หมด หรือเรียกว่า สารตั้งต้นที่กำหนดปฏิกิริยา (Limiting Reactant) ตัวอย่างสูตรปฏิกิริยาเคมี เช่น

$$aA + bB \rightarrow cC + dD$$

ให้สารA เป็นสารที่ใช้พิจารณา คือจะคำนวณค่าต่างๆเทียบกับสารA ที่ถูกใช้ทำปฏิกิริยาไป 1 โมลแสดงดังสมการข้างล่าง

$$A + \frac{b}{a}B \rightarrow \frac{c}{a}C + \frac{d}{a}D$$

กำหนดให้จำนวนโมลของสารตั้งต้น A ตอนเริ่มต้น (t=0) มีค่าเท่ากับ N_{A0} จะได้ว่า จำนวนโมลของสาร A ที่ถูกใช้ไปในการทำปฏิกิริยาเมื่อเวลาผ่านไป t มีค่าเท่ากับ $N_{A0}X$ ดังสมการ

$$[\text{moles of A consumed}] = [\text{moles of A fed}] \cdot \left[\frac{\text{moles of A reacted}}{\text{moles of A fed}}\right]$$

$$N_{A0} - N_A = [N_{A0}] \cdot [X]$$

$$N_A = N_{A0} - N_{A0}X$$

$$N_A = N_{A0}(1 - X) \qquad (2.8)$$

จำนวนโมลของสาร A ที่เราพิจารณานั้น ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันปาล์มที่ใช้ จะพิจารณาจาก ปริมาณของไตรกลีเซอร์ไลด์เริ่มต้น เพื่อดูค่าการแปรผันว่าจะสามารถเกิดกรดไขมันได้ปริมาณเท่าไร ในสภาวะต่างๆ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Natee T.P.S. และคณะ [19] ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิลน้ำมันปาล์มกับน้ำสภาวะกึ่งวิกฤต โดยใช้กรดไขมันอิสระเป็นตัวเร่ง ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ อุณหภูมิ 200 ถึง 230°C เวลา 30 ถึง 60 นาที ได้ผลผลิตเป็นกรดไขมันอิสระ 84.62% ค่าการแปลงผันทางเคมี 70.06% โดยตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ อุณหภูมิ เวลา อัตราส่วนน้ำต่อสารตั้งต้นส่วนน้ำมัน ตามลำดับ

Khuwijitjaru P. และคณะ [25] ได้ศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเอสเทอร์ของกรดไขมันกับน้ำ ที่น้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ อุณหภูมิ 210 ถึง 270°C โดยความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นของเอสเทอร์ต่ำมากจนสามารถสมมติได้ว่าเป็นปฏิกิริยาเอกพันธุ์ในทุกๆ ช่วงอุณหภูมิ พบว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเอสเทอร์ดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งทุกๆ อุณหภูมิ

Holliday R.L. และคณะ [21] ได้ศึกษาการไฮโดรไลซิสน้ำมันชนิดต่างๆ ที่น้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ โดยใช้น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันลินซีด และน้ำมันมะพร้าวในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกลายเป็นกรดไขมันอิสระ โดยน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติที่ใช้มีความหนาแน่น 0.7 กรัมต่อมิลลิลิตร และอุณหภูมิ 260 ถึง 280 $^{\circ}C$ ภายใต้สภาวะดังกล่าว น้ำสภาวะกึ่งวิกฤติจะมีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย และเป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยาสามารถเกิดได้เร็ว มีค่าการแปลงผันทางเคมีที่สูงกว่า 97% ที่เวลา 15 ถึง 20 นาที

Pinto J.S. และ Lançας F.M. [20] ได้ศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันข้าวโพดกับน้ำ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ให้ความร้อนด้วยเตาอบ ที่น้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ ช่วงอุณหภูมิ 150 ถึง 280°C ในอัตราส่วนน้ำมันข้าวโพดต่อน้ำ 85:15 เป็นปฏิกิริยาเอกพันธุ์อันดับ 1 ที่เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากัน อุณหภูมิต่ำจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยา และผลผลิตต่ำ แต่ไม่ระบุรายงานผลที่ได้ ที่อุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาได้ดี ที่ 280°Cได้ผลผลิตถึง 100%

Minami E. และ Saka S. [27] ได้ศึกษาจลนศาสตร์ของการไฮโดรไลซิส และปฏิกิริยาเมทิลเอสเทอริฟิเคชั่นของกรดไขมัน เพื่อผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้สารละลายเมทานอลยิ่งยวด พบว่าสำหรับการไฮโดรไลซิส อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะค่อนข้างต่ำในช่วงแรก และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น สามารถอธิบายได้ว่ากรดไขมันอิสระประพฤติตัวเป็นตัวเร่งกรด (acid catalyst) ในส่วนปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่น พบว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นจากการกระตุ้นการไฮโดรไลซิสด้วยตัวเอง (auto-catalytic) ของกรดไขมันอิสระ ในสารละลายเมทานอลยิ่งยวด

King J.W. และคณะ [26] ได้ศึกษาการไฮโดรไลซิสน้ำมันถั่วเหลืองกับน้ำเป็นกรดไขมันอิสระ ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบไหลต่อเนื่อง ที่สภาวะน้ำสภาวะกึ่งวิกฤติ ที่เวลา 10 ถึง 15 นาที อุณหภูมิระหว่าง 330 ถึง 340°C มีค่าการแปลงผันทางเคมี 97% โดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา หรือสารทำอิมัลชันเลย

Lascaray (1949) รายงานการทดลองไฮโดรไลซิสน้ำมันพืชด้วยน้ำในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ที่อุณหภูมิ 180 ถึง 230°C ความดัน 1000 ถึง 3000 กิโลปาสคาล พบว่าโดยทั่วไปสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ 90% และสามารถเกิดปฏิกิริยาได้มากถึง 96% เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของน้ำต่อน้ำมัน

Sturzenegger and Sturn (1951) มีการรายงานผลการทดลองไฮโดรไลซิสน้ำมันในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ พบว่าปฏิกิริยาแสดงพฤติกรรม Auto-catalytic และอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด ณ สมดุล ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อน้ำมันเพียงอย่างเดียว Lascaray (1952) จากการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทมวลไปด้วยพร้อมๆ กันกับการเกิดปฏิกิริยา ในระบบวิวิธพันธุ์ (heterogeneous system) น้ำและ กลีเซอรอลสามารถกระจายตัวอยู่ระหว่างวัฏภาคน้ำ (aqueous phase) และวัฏภาคน้ำมัน (oil phase) ค่าความเป็นกรด ณ สมดุล (equilibrium acid value) จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อน้ำมันในตอนเริ่มต้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่สภาวะสมดุลขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำกับน้ำมันในตอนเริ่มต้น และอุณหภูมิ

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณี ...

บทที่ 3

การเลือกค่าของตัวแปรที่ศึกษา

3.1 อุณหภูมิ

จากการศึกษาพบว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ทำให้ปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันโดยการใช้น้ำไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนมากจะใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 270°C ขึ้นไปจึงจะเกิดปฏิกิริยาได้ดี และมีการวิจัยว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 180°C ปฏิกิริยาจะเกิดได้ไม่ดี จึงจะทำการศึกษาว่าการเติมกรดไขมันอิสระและการใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นต่ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสตั้งแต่เริ่มจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ จึงทำให้เลือกศึกษาที่อุณหภูมิ 175, 200 และ 225°C

3.2 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันพืชเป็นปฏิกิริยาที่สามารถย้อนกลับได้ในการทดลองแบบกะ ซึ่งจะมีช่วงเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา เมื่อมีผลิตภัณฑ์สะสมในระบบมากขึ้น และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เกินพอจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ทำให้กรดไขมันอิสระและกลีเซอรอลในน้ำมันจะทำปฏิกิริยากลับเป็นไตรกลีเซอไรด์และน้ำ ทำให้ได้ปริมาณกรดไขมันอิสระน้อย จากการทดลองพบว่าเวลาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับคือหลังจาก 60 นาที จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้เลือกศึกษาความน่าจะเป็นไปได้ของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันที่เวลาต่างๆ ดังนั้นจึงเลือกศึกษาที่ 15, 30 และ 60 นาที

3.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น

กรดไขมันอิสระเริ่มต้นที่มีอยู่ในน้ำมันจะเป็นตัวเร่งในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ดี จึงเลือกทำการทดลองที่ปริมาณเริ่มต้นของกรดไขมันอิสระในน้ำมันเริ่มต้นที่ 25 และ 43 % โดยน้ำหนัก จากการศึกษาปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีเมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นเพิ่มขึ้น แต่ในการทำปฏิกิริยาแต่ละกะ ถ้าใช้ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นเกิน 50% โดยน้ำหนัก จะมีส่วนของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นน้อย ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้อย

3.4 อัตราส่วนสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางต่อสารตั้งต้นส่วนน้ำมัน

อัตราส่วนน้ำต่อน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันมีค่าประมาณ 1:17 โดยปริมาตร การใส่น้ำซึ่งเป็นสารตั้งต้นในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น จึงทำการศึกษาในสภาวะที่มีน้ำมากเกินพอ แต่ในการทดลองได้เปลี่ยนสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางมาใช้แทนที่น้ำ การทดลองจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางกับน้ำมันผสมที่มีกรดไขมันอิสระเริ่มต้น ที่อุณหภูมิต่างๆ อัตราส่วนสารตั้งต้นส่วนน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง เป็น 1:1 และ 1:3 โดยปริมาตรเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม

3.5 ตัวเร่งสารละลายกรดซัลฟิวริก

ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสต้องอาศัยสารละลายกรดเจือจางเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้ง่ายขึ้นและเกิดได้มากขึ้น การใช้สารละลายกรดเจือจางที่มีความเข้มข้นมากขึ้นจะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ถ้าใช้กรดที่มีความเข้มข้นมาก อาจจะกัดกร่อนเครื่องปฏิกรณ์ได้ ทำให้จึงเลือกศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการดำเนินงาน

4.1 ส่วนประกอบเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

1. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ แสดงดังรูปที่ 4.1
2. ส่วนให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์ (Heater) แสดงดังรูปที่ 4.1
3. กล่องควบคุมอุณหภูมิในการให้ความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ แสดงดังรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะและส่วนให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์

รูปที่ 4.2 กล่องควบคุมอุณหภูมิในการให้ความร้อนเครื่องปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

4.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำมันพืช แสดงดังรูปที่ 4.3
2. Palm fatty acid distillate (PFAD) แสดงดังรูปที่ 4.3
3. สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.06% โดยน้ำหนัก

รูปที่ 4.3 น้ำมันปาล์ม และ PFAD ที่ใช้เตรียมสารตั้งต้นส่วนน้ำมัน

4.2.2 การเตรียมสารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง

1. เตรียมสารตั้งต้นส่วนน้ำมันให้มีกรดไขมันอิสระประมาณ 25% และ 43% โดยปริมาตร โดยการละลาย PFAD และผสมกับน้ำมันปาล์ม

2. วิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระในสารตั้งต้นส่วนน้ำมัน ด้วยวิธีการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อหาจุดยุติแล้ววิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น

4.2.3 การทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

1. นำสารตั้งต้นส่วนน้ำมันมาอุ่นด้วย Hot plate จนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากที่อุณหภูมิห้องสารตั้งต้นมีลักษณะเป็นของแข็ง

2. นำสารตั้งต้นส่วนน้ำมัน และสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.06% โดยน้ำหนัก บรรจุลงในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารตั้งต้นส่วนน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกเป็น 1:1 และ 1:3 โดยปริมาตร ผสมให้ได้ปริมาตรรวม 40 มิลลิลิตร สำหรับอัตราส่วน 1:1 จะใช้สารตั้งต้นส่วนน้ำมันปริมาตร 20 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายกรดซัลฟิวริก 20 มิลลิลิตร ส่วนอัตราส่วน 1:3 จะใช้สารตั้งต้นส่วนน้ำมันปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายกรดซัลฟิวริก 30 มิลลิลิตร ซึ่งใช้กระบอกตวงในการวัดปริมาตร

3. ปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์ ตรวจสอบเครื่องปฏิกรณ์ว่ายังอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน หมุนปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์ด้านนอกจนสุดเกลียว และทำการขันน็อตด้านบนทั้ง 6 ตัวจนสุด โดยระวังไม่ให้สายเทอร์โมคัปเปิลสัมผัสแหล่งความร้อนและพันกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรและไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

4. นำเครื่องปฏิกรณ์ใส่ลงในส่วนให้ความร้อน ต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับกล่องควบคุมอุณหภูมิแสดงดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

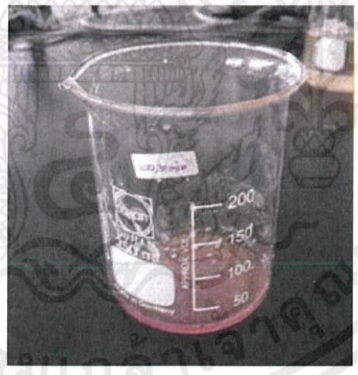
รูปที่ 4.4 ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

5. เสียบปลั๊กและเปิดสวิทช์เครื่องทำความร้อน ทำการตั้งค่า Set point ไว้ที่อุณหภูมิที่ต้องการศึกษา โดยจะศึกษาผลของอุณหภูมิที่ 175 °C รอจนอุณหภูมิถึงค่า Set point

6. เริ่มจับเวลาเมื่อถึงอุณหภูมิที่ต้องการศึกษาโดยจับเวลาที่ 15 นาที

7. เมื่อครบกำหนดเวลา ยกเครื่องปฏิกรณ์ออกจากเครื่องทำความร้อน ใช้พัดลมช่วยเป่าเพื่อทำให้เย็นเร็วขึ้น ถอกปลั๊กและปิดตัวควบคุมอุณหภูมิเมื่อถึงอุณหภูมิ 70 °C ถึง 80°C

8. เทผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อทิ้งให้เย็นจะเกิดการแยกชั้นของน้ำผสมกลีเซอรีนซึ่งอยู่ด้านล่าง และชั้นของไขมันซึ่งอยู่ด้านบน นำชั้นของไขมันดังรูปที่ 4.5 มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ



รูปที่ 4.5 ไขมันผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

9. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 200 °C และ 225 °C และจับเวลาเพิ่มเป็น 30 และ 60 นาทีในแต่ละการทดลองตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองไฮโดรไลซิส การวิเคราะห์ผลการทดลอง ผลกระทบของตัวแปรหลัก และตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมกันของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยใช้โปรแกรม Minitab และการวิจารณ์ผลการทดลอง ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 ผลการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ผลการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไตรกลีเซอร์ไรด์ ที่สภาวะการทดลองต่างๆ แสดงในตารางที่ 5.1 -5.3 และ รูปที่ 5.1 – 5.4 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไตรกลีเซอร์ไรด์ และค่าผลได้ (Yield) ของกรดไขมันอิสระที่สภาวะต่างๆ

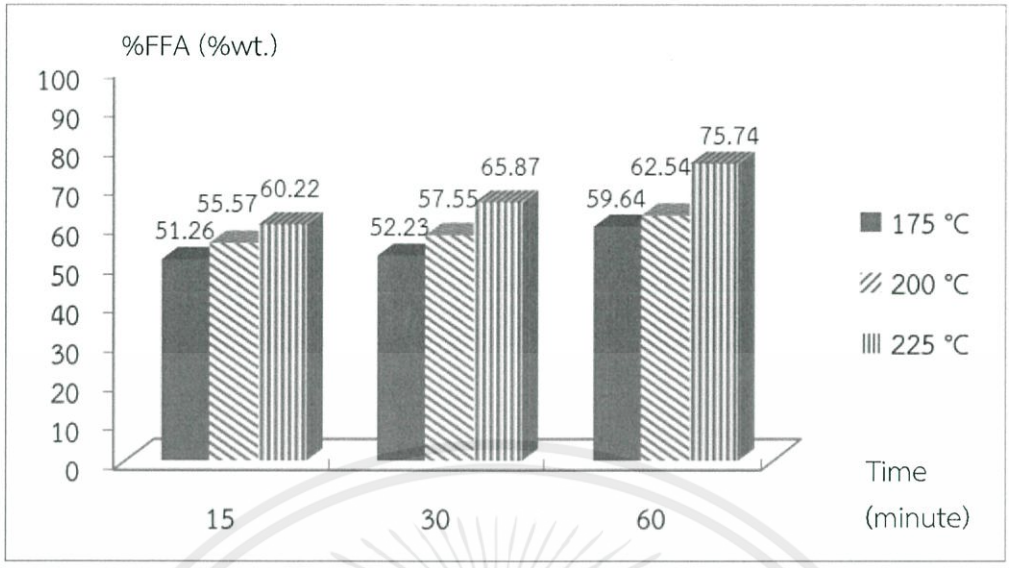
Temperature (°C)	Time (min)	Acid : Oil Ratio (by volume)	Initial FFA (%wt.)	Final FFA (%wt.)	% Yield of FFA
175	15	1:1	25	32.92	10.61
175	30	1:1	25	34.70	12.98
175	60	1:1	25	44.44	25.96
200	15	1:1	25	40.81	21.12
200	30	1:1	25	44.97	26.67
200	60	1:1	25	61.75	49.03
225	15	1:1	25	57.35	43.16
225	30	1:1	25	62.06	49.44
225	60	1:1	25	73.89	65.21
175	15	1:1	43	45.92	5.07
175	30	1:1	43	47.76	8.30
175	60	1:1	43	59.92	29.65
200	15	1:1	43	53.78	18.87
200	30	1:1	43	66.12	40.53
200	60	1:1	43	76.10	58.05
225	15	1:1	43	68.53	44.76
225	30	1:1	43	82.99	70.14
225	60	1:1	43	84.97	73.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

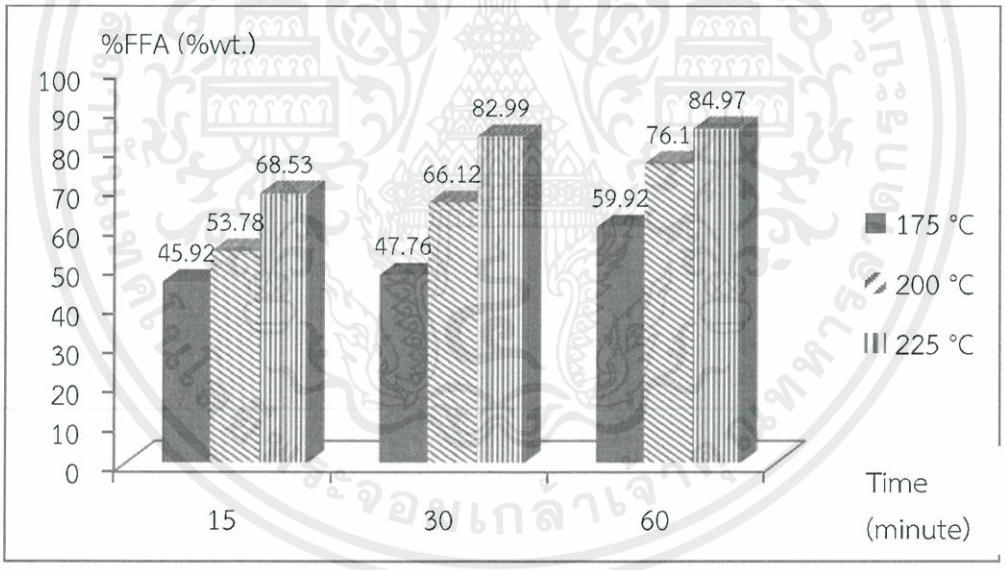
ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไตรกลีเซอร์ไรด์ และค่าผลได้ (Yield) ของกรดไขมันอิสระที่สภาวะต่างๆ (ต่อ)

Temperature (°C)	Time (min)	Acid : Lipid Ratio (by volume)	Initial FFA (%wt.)	Final FFA (%wt.)	%Yield of FFA
175	15	1:3	25	31.87	9.21
175	30	1:3	25	33.24	11.03
175	60	1:3	25	43.97	25.33
200	15	1:3	25	47.80	30.44
200	30	1:3	25	53.19	37.62
200	60	1:3	25	58.73	45.00
225	15	1:3	25	56.46	41.98
225	30	1:3	25	62.23	49.67
225	60	1:3	25	77.18	69.59
175	15	1:3	43	51.26	14.45
175	30	1:3	43	52.23	16.15
175	60	1:3	43	59.64	29.16
200	15	1:3	43	55.57	22.01
200	30	1:3	43	57.55	25.49
200	60	1:3	43	62.54	34.25
225	15	1:3	43	60.22	30.17
225	30	1:3	43	65.87	40.09
225	60	1:3	43	75.74	57.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

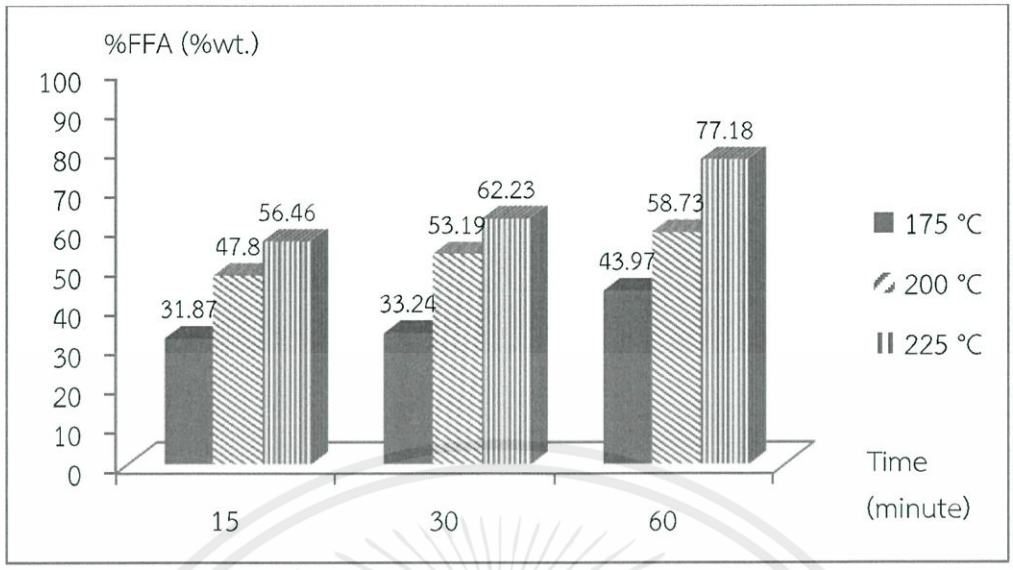


รูปที่ 5.1 แสดงค่ากรดไขมันอิสระที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ อัตราส่วนสารละลายน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก 1:3 โดยปริมาตร และค่ากรดไขมันอิสระเริ่มต้น 43 % โดยน้ำหนัก

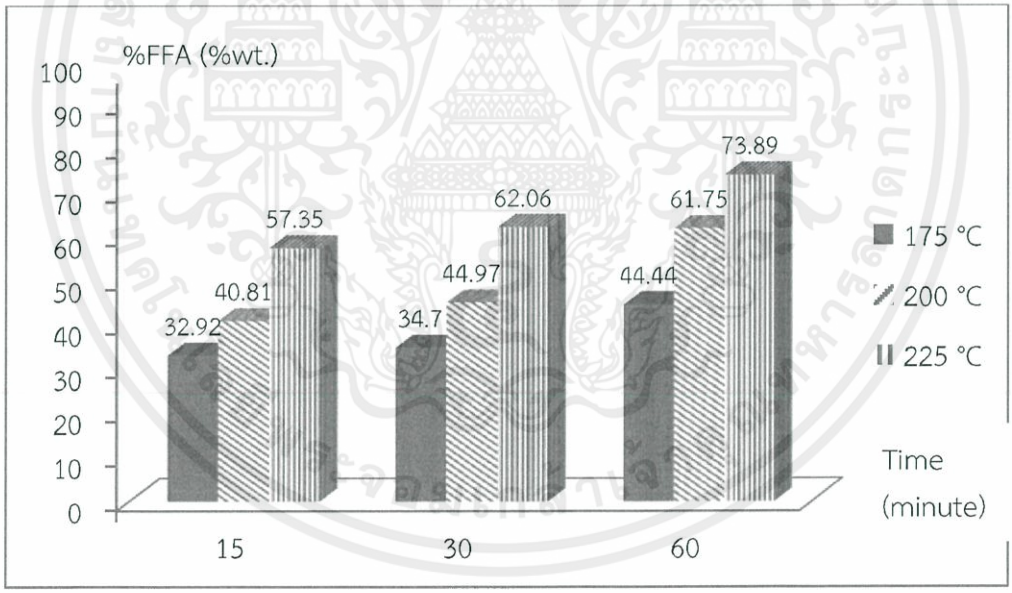


รูปที่ 5.2 แสดงค่ากรดไขมันอิสระที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ อัตราส่วนสารละลายน้ำมันต่อสารละลายกรด ซัลฟิวริก 1:1โดยปริมาตร และค่ากรดไขมันอิสระเริ่มต้น 43% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แสดงค่ากรดไขมันอิสระที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ อัตราส่วนสารละลายน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก 1:3 โดยปริมาตร และค่ากรดไขมันอิสระเริ่มต้น 25% โดยน้ำหนัก



รูปที่ 5.4 แสดงค่ากรดไขมันอิสระที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ อัตราส่วนสารละลายน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริก 1:1 โดยปริมาตร และค่ากรดไขมันอิสระเริ่มต้น 25% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางหรือน้ำกับน้ำมันพืชโอเลอิน

Reactant	Time (Minute)	Temperature (°C)	Initial FFA (%wt.)	Final FFA (%wt.)
น้ำมันพืช : น้ำ	15	225	น้อยมาก	2.27
น้ำมันพืช : สารละลายกรด	15	225	น้อยมาก	2.89
น้ำมันพืช : น้ำ	60	225	น้อยมาก	13.86
น้ำมันพืช : สารละลายกรด	60	225	น้อยมาก	16.41

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสระหว่างกรดเบนโซอิกในน้ำมันและน้ำ

Concentration Of benzoic acid (%wt.)	Time (Minute)	Temperature (°C)	Initial FFA (%wt.)	Final FFA (%wt.)
1	60	225	น้อยมาก	38.43
0.1	60	225	น้อยมาก	26.12

5.2 วิเคราะห์ผลการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

จากการทดลองทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางที่สภาวะต่างๆ พบว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ากรดไขมันอิสระ ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา อัตราส่วนระหว่างกรดซัลฟิวริกเจือจางต่อสารละลายตั้งต้นส่วนน้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองที่แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา จะเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจากปริมาณเริ่มต้น เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิปริมาณกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สังเกตได้จากกราฟแท่งรูปที่ 5.1 ถึง 5.4 ซึ่งปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มได้ดีในช่วง 200 ถึง 225 °C และเมื่อเปรียบเทียบกราฟแท่งเป็นกลุ่มจากด้านซ้ายไปขวา จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มที่เพิ่ม ส่งผลมาจากเวลาที่ใช้ในการปฏิกิริยามากขึ้น ในส่วนของปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น ที่ใช้เป็นตัวเร่งในการเกิดปฏิกิริยานั้น จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า ที่สภาวะอุณหภูมิกับเวลาเดียวกัน ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น 25% โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มผลได้ร้อยละ (%yield) ที่มากกว่าปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น 43% โดยน้ำหนัก เนื่องจากปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น 25% โดยน้ำหนักมีปริมาณไตรกลีเซอร์ไรด์เริ่มต้นมากกว่า และปฏิกิริยาเป็นแบบผันกลับได้ ทำให้มีค่าการแปลงผันทางเคมีของไตรกลีเซอร์ไรด์หรือผลได้ร้อยละที่มากกว่าในสภาวะเดียวกัน ในส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางที่ใช้ทำปฏิกิริยากับสารละลายตั้งต้นส่วนน้ำมัน เมื่อพิจารณาตารางที่ 5.3 ปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรไลซิสระหว่างน้ำมันพืชกับสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางหรือน้ำ ผลการทดลอง ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ได้นั้น มีผลแตกต่างกันเล็กน้อย จึงสันนิษฐานได้ว่าสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางส่งผลต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันน้อยมาก และในส่วนของอัตราส่วนของสารละลายตั้งต้นส่วนน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง ทำการพิจารณา 2 อัตราส่วนคือ 1:1 และ 1:3 โดยปริมาตร จะพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นของอัตราส่วน 1:1 มีแนวโน้มมากกว่าอัตราส่วน 1:3 อาจเนื่องมาจากค่าไดอิเล็ก ทริกของน้ำ จากทฤษฎีเรื่องสภาวะกึ่งวิกฤตในบทที่ 2 ค่าไดอิเล็กทริกของน้ำจะยิ่งลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าไดอิเล็กทริกของน้ำมีค่าใกล้เคียงกับค่าไดอิเล็กทริกของน้ำมันมากยิ่งขึ้น ทำให้เมื่อเกิดการผสมกันแล้วระหว่างสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง(น้ำ)กับส่วนของน้ำมันได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งในอัตราส่วน 1:1 จะมีปริมาณความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระที่ใช้เป็นตัวเร่งมากกว่าอัตราส่วนน้ำมันต่อส่วนน้ำที่ 1:3 โดยปริมาตร อีกทั้งสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางยังส่งผลต่อปฏิกิริยาน้อยมาก ส่งผลให้ที่สภาวะอัตราส่วนน้ำต่อน้ำมัน 1:1 โดยปริมาตร มีแนวโน้มค่าการแปลงผันทางเคมีมากกว่า และจากผลการทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในตารางที่ 5.3 ระหว่างกรดเบนโซอิกในน้ำมันพืชและน้ำ พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระมีปริมาณมากกว่าการไฮโดรไลซิสน้ำมันพืชโอเลอินกับสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางที่สภาวะเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรดเบนโซอิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เพราะการที่กรดเบนโซอิกจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดี ต้องละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันหรืออยู่ในเฟสเดียวกัน ซึ่งกรดเบนโซอิกสามารถละลายได้ในน้ำมัน แตกต่างกับการใช้กรดซัลฟิวริกที่ละลายอยู่ในชั้นน้ำ อาจกล่าวได้ว่ากรดที่สามารถละลายได้ดีในน้ำมัน ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่ดีกว่า

5.3 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่ากรดไขมันอิสระโดยใช้โปรแกรม Minitab

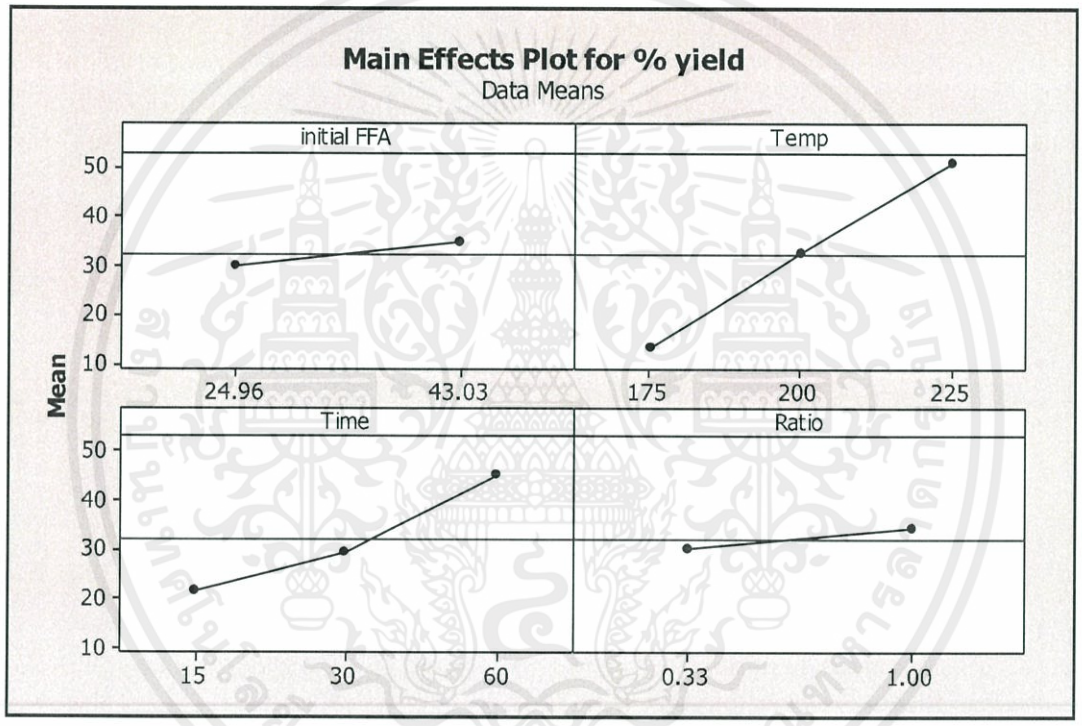
ตารางที่ 5.4 ผลกระทบของตัวแปรหลักและตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมกันของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Initial FFA	1	665.2	665.2	665.2	51.93	0.000
Temperature	2	25049.2	25049.2	12524.6	992.59	0.000
Time	2	10263.9	10263.9	5132.0	406.72	0.000
Ratio	1	472.4	472.4	472.4	37.44	0.000
Initial FFA *Temp	2	63.2	63.2	31.6	2.51	0.089
Initial FFA *Time	2	147.0	147.0	73.5	64.16	0.005
Initial FFA *Ratio	1	809.6	809.6	809.6	7.64	0.000
Temp*Time	4	385.8	385.8	96.5	29.48	0.000
Temp*Ratio	2	743.9	743.9	371.9	15.59	0.000
Time*Ratio	2	393.4	393.4	196.7	3.40	0.000
Initial FFA *Temp*Time	4	171.5	171.5	42.9	0.89	0.013
Initial FFA *Temp*Ratio	2	1058.9	1058.9	529.5	41.96	0.000

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

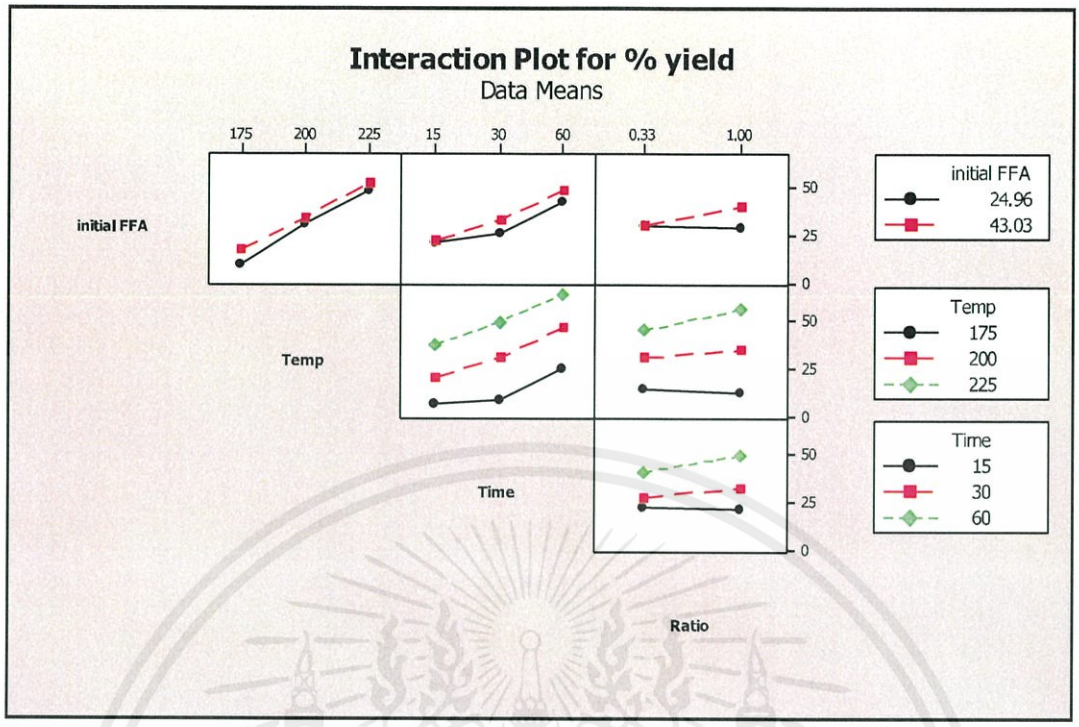
ตารางที่ 5.4 ผลกระทบของตัวแปรหลักและตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมกันของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ต่อ)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Initial FFA *Time*Ratio	2	210.7	210.7	105.3	8.35	0.001
Temp*Time*Ratio	4	785.3	785.3	196.3	15.56	0.000
Initial FFA *Temp*Time*Ratio	4	128.0	128.0	32.0	2.54	0.047
Error	72	908.5	908.5	12.6		
Total	107					



รูปที่ 5.5 ผลกระทบของตัวแปรหลักทั้ง 4 ค่า ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 ผลกระทบของตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมกัน 2 ตัวแปรที่มีต่อปริมาณกรดไขมันอิสระ

จากตารางที่ 5.4 เป็นตารางที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองผ่านโปรแกรม Minitab พิจารณาค่า P – value ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของตัวแปรหลักได้แก่ ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนสารตั้งต้นส่วนน้ำมันกับสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง พบว่าทั้ง 4 ตัวแปรหลัก ค่า P – value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ทำให้ทั้งสี่ตัวแปรหลักมีนัยสำคัญต่อผลการทดลอง กล่าวคือทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้น โดยดูจากรูปที่ 5.5 เห็นได้ว่า อัตราส่วนสารละลายตั้งต้นส่วนน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางจะส่งผลต่อค่ากรดไขมันอิสระหรือผลการทดลองน้อยที่สุดในทั้ง 4 ตัวแปรหลัก เพราะกราฟมีความชันน้อยที่สุด แต่เมื่อนำตัวแปรหลักมา interaction กันคือ มีอิทธิพลร่วมกันทั้งสองตัวแปร มีค่า P – value มากกว่า 0.05 สามค่าได้แก่ ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นกับเวลา อุณหภูมิกับเวลา และเวลากับอัตราส่วนสารละลายตั้งต้นส่วนน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง โดยทั้ง 3 ปัจจัยอาจจะไม่ส่งผลหรือส่งผลน้อยต่อผลการทดลอง รูปที่ 5.5 แสดงกราฟของตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมกันทั้งหมด ตัวแปรร่วมที่มีนัยสำคัญต่อผลการทดลองมากที่สุดคือ ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นกับอุณหภูมิ เพราะกราฟมีความชันมากที่สุด แต่ตัวแปรร่วมทั้งสาม ที่ P – value มีค่าน้อยกว่า 0.05 นั้น สังเกตจากรูปกราฟพบว่า กราฟมีความชันน้อย แสดงว่าตัวแปรร่วมทั้งสามนี้ส่งผลต่อค่าผลการทดลองน้อยกว่า ตัวแปรร่วมตัวอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เนื่องจากการทดลองต้องใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะและต้องทำการทดลองภายใต้อุณหภูมิสูง การทดลองที่เวลานาน เมื่อครบกำหนดเวลาที่ทำปฏิกิริยา ตัวเครื่องปฏิกรณ์ควรมีการลดอุณหภูมิให้รวดเร็วกว่าการลดตัวลงเองของอุณหภูมิ เพราะเมื่อครบกำหนดเวลาที่ทำการทดลองอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์จะไม่ลดลงอย่างทันที จึงทำให้การดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสยังคงมีอยู่ ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ รวมถึงการควบคุมอุณหภูมิระหว่างการทดลองของเครื่องปฏิกรณ์ เพราะว่าเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบ 2 ตำแหน่ง (ON-OFF controller) จะเกิดการโอเวอร์ชูทของอุณหภูมิได้ง่าย ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นมาจากค่า set point ที่ได้กำหนดไว้ จึงต้อง set ค่าอุณหภูมิให้ต่ำกว่าค่าที่ต้องการ แล้วค่อยเพิ่มไปให้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการเมื่ออุณหภูมิเริ่มลดลง โดยอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์จะเกิดการเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกัน ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนจากผลการทดลองที่ถูกต้อง จึงต้องมีการปรับ set point ที่ดีเพื่อที่จะลดความเบี่ยงเบนของผลการทดลอง

ชุดเครื่องปฏิกรณ์แบบกะในการทดลอง มีเทอร์โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งเทอร์โมคัปเปิลจะเกิดการวัดอุณหภูมิได้มากกว่าอุณหภูมิปกติ เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการวัดอุณหภูมิที่แท้จริงของตัวเทอร์โมคัปเปิล โดยการวัดน้ำมันที่อุณหภูมิ 200 $^{\circ}$C แล้วใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดเทียบกับเทอร์โมคัปเปิล จากการทดลองค่าอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลมีค่ามากกว่าค่าของเทอร์โมมิเตอร์ประมาณ 25 $^{\circ}$C จึงทำให้ต้องทำการ set อุณหภูมิให้ต่ำกว่าที่ต้องการประมาณ 25 $^{\circ}$C เพื่อป้องกันแรงระเบิดจากความดันภายในตัวเครื่องปฏิกรณ์และอุณหภูมิที่สูงเกินความเป็นจริง

จากการทดลองในงานวิจัยต่างๆ การหาปริมาณกรดไขมันอิสระสามารถได้จากการอุปกรณ์และเครื่องมือที่มีราคาแพงเพื่อที่จะให้ผลการทดลองที่แน่นอน และมีความละเอียดและถูกต้องสูง เช่น High Performance Liquid Chromatography (HPLC), Gas Chromatography (GC) เป็นต้น ในการทดลองนี้เพื่อความสะดวกรวดเร็วและประหยัด จะใช้การไทเทรตด้วยมือโดยใช้อินดิเคเตอร์เพื่อหาจุดยุติ แต่การทดสอบแบบดูด้วยสายตานี้ค่อนข้างมีความคลาดเคลื่อนอาจทำให้ผลการทดลองมีบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง ที่สภาวะต่างๆ พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระมีผลตามตัวแปรหลัก 4 ตัวคือ อุณหภูมิ เวลา ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น และอัตราส่วนระหว่างสารละลายตั้งต้นส่วนน้ำมันและสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง โดยสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทุกค่าของตัวแปร สังเกตได้จากค่าแปลงผันทางเคมีของไตรกลีเซอร์ไรด์หรือผลผลิตร้อยละที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามตัวแปรทั้งสี่ตัว เมื่อพิจารณาจากกราฟผลกระทบของตัวแปรหลัก ที่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระมากที่สุดก็คือ อุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน และปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น 25% โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มค่าการแปลงฝันทางเคมีของไตรกลีเซอร์ไรด์หรือผลได้ร้อยละที่มากกว่า 43%โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีปริมาณไตรกลีเซอร์ไรด์ที่ใช้ในการแปรผันเริ่มต้นที่มากกว่า จากผลการวิเคราะห์ตัวแปรอิทธิพลร่วม 2 ตัวแปรมีผลต่อการเกิดกรดไขมันมากที่สุด คือ ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นกับเวลา ส่วนในส่วนตัวแปรร่วมตัวอื่นๆ คือ อุณหภูมิกับเวลา อุณหภูมิกับอัตราส่วนน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้นกับอัตราส่วนน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง เวลากับอัตราส่วนน้ำมันต่อสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจาง กรดไขมันอิสระเริ่มต้นกับอุณหภูมิ มีผลต่อผลการทดลองน้อยลงมาตามลำดับ ในการทดลองได้ทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกกับน้ำในการไฮโดรไลซิสน้ำมัน สารละลายกรดซัลฟิวริกมีผลต่อผลการทดลองน้อยมากหรือแทบไม่มีผลต่อการทดลองเลยเมื่อเทียบกับน้ำ และจากการทดลองโดยใช้กรดเบนโซอิกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ละลายอยู่ในชั้นน้ำมัน พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากกว่า การใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งที่ละลายอยู่ในชั้นน้ำ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นได้ดี เมื่อตัวเร่งปฏิกิริยาละลายเข้ากันได้ดีกับน้ำมัน

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองควรคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้เครื่องปฏิกรณ์ เพราะการทดลองอยู่ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง ไม่ควรละเลยการปิดกล่องควบคุมอุณหภูมิทุกครั้งหลังใช้ อาจทำให้ตัวอลูมิเนียมภายใน heater ละลาย จะทำให้เมื่อทำการทดลอง อลูมิเนียมจะแข็งตัวกับตัวเครื่องปฏิกรณ์เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง

2. การไทเทรตเพื่อหาปริมาณกรดไขมันอิสระของผลิตภัณฑ์ ควรชั่งน้ำหนักตัวอย่างอย่างละเอียด เพราะน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ไทเทรตมีผลต่อค่าปริมาณกรดไขมันอิสระมาก หรืออาจใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความเที่ยงตรงและเชื่อถือได้

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ห้ามดัดแปลง ห้ามการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] THAILAND FOOD INDUSTRY PROFILES. **ผลิตภัณฑ์น้ำมันปาล์ม**. [Online]. Available: http://www.fic.nfi.or.th/food/upload/doc/12_Five-force-model.doc 2013.

[2] **ศูนย์บริการองค์ความรู้การเกษตร.ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่อเนื่องน้ำมันปาล์ม**. [Online]. Available: http://www.k-center.doae.go.th/getKnowledge.jsp?id=234 2013.

[3] FOOD NETWORK. **Free fatty acid/กรดไขมันอิสระ**. [Online]. Available: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1537/free-fatty-acid 2012.

[4] DELTACONTROL. **DIELECTRIC CONSTANTS OF VARIOUS MATERIALS**. [Online]. Available: http://www.deltacnt.com/99-00032.htm 2007.

[5] GREENFLUID. **Hot water**. [Online]. Available: http://www.greenfluids.org/html/Techniques/hot_water.html .2013.

[6] วิชาการปาล์มน้ำมัน. **การแปรรูป**. [Online]. Available: http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/usefulness.html 2013.

[7] ดวงกมล ณ ระนอง. **พื้นฐานวิศวกรรมปฏิกิริยาและการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: อักษรสยามการพิมพ์, 2010.

[8] ติวเข้ม.**สมดุลเคมี**. [Online]. Available: http://www.pec9.com/new/pdf/093f65e080a295f8076b1c5722a46aa2.pdf 2013.

[9] FACISNAZI. **เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ**. [Online]. Available: http://facisnazi.tripod.com/main_2.htm 2013.

[10] มหาวิทยาลัยบูรพา. **จลนพลศาสตร์วิศวกรรมเคมีและการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์**. [Online]. Available: http://www.che.buu.ac.th/sites/default/files/users/dangs/class1 (Introduction) + (rate)_0.ppt 2013.

[11] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. **ทบทวนวรรณกรรม**. [Online]. Available: http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2552/phars0952tc_ch2.pdf 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[12] Murty, V.R., Bhat, J. and Muniswaran. P.K.A. **Hydrolysis of Oils by Using Immobilized Lipase Enzyme**: A Review, Biotechnol. Bioprocess Eng., vol. 7; 2002.p. 57-66.

[13] Shahidi F. **BAILEY'S INDUSTRIAL OIL AND FAT PRODUCTS.**, 6th Ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2005.

[14] Yap, S.C. 1995. **Palm oil: Chemistry and technology.** Ph. D Thesis, University of Malaya, Kuala Lumpur, p. 123.

[15] **The Association of Finnish Chemical Societies, Subcritical water.** [Online]. Available: http://www.greenfluids.org/html/Techniques/hot_water.html 2013.

[16] NONGPA-NGA K.S., NATEE T.P.S., THANAPHORN D.C.N. **Hydroysis of Plam Oil in Subcritical Water Free Fatty Acid Catalyzed.**

[17] Pinto, J.S. and Lanças, F.M. **Hydrolysis of Corn Oil Using Subcritical Water.**, J. Braz. Chem. Soc.,\ vol.17, No.1, 2006. p. 85-89.

[18] Holliday, R.L., King, J.W. and List, G.R. **Hydrolysis of Vegetable Oils in Sub- and Supercritical Water.**, INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH, vol.36, No.3, 1997. p. 932-935.

[19] King, J.W., Holliday, R.L. and List, G.R. **Hydrolysis of soybean oil in a subcritical water flow reactor.**, Green Chem. vol.6, No.1 , 1999. pp 261-264.

[20] Minami, E. and Saka, S. **Kinetics of hydrolysis and methyl esterification forbiodiesel production in two-step supercritical methanol process.**", Fuel. vol. 85, 2006. p. 2479-2483.

[21] Khuwijitjaru, P., Fujii, T., Adachi, S., Kimura and Y., Matsuno, R. "**Kinetics on the hydrolysis of fatty acid esters in subcritical water.**, Chemical Engineering Journal. vol.99, 2004. pp 1-4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

บันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 บันทึกผลการทดลองของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มที่สภาวะต่างๆ

No.	T (°C)	Time (min)	Initial FFA (%wt.)	lipid: acid (Ratio volume)	Set 1		Set 2		Set 3	
					Final FFA (%wt.)	%Yield of FFA	Final FFA (%wt.)	%Yield of FFA	Final FFA (%wt.)	%Yield of FFA
1	175	15	25	1:1	31.79	2.60	33.09	4.46	33.88	5.58
2	175	15	25	1:3	32.49	3.60	31.29	1.89	31.82	2.64
3	175	15	43	1:1	46.09	5.37	45.57	4.46	46.09	5.37
4	175	15	43	1:3	50.21	12.60	52.47	16.57	51.10	14.16
5	175	30	25	1:1	34.50	6.47	33.44	4.96	36.17	8.85
6	175	30	25	1:3	34.27	6.14	32.63	3.79	32.82	4.07
7	175	30	43	1:1	47.85	8.46	46.71	6.46	47.28	7.46
8	175	30	43	1:3	52.56	16.73	53.03	17.55	51.10	14.17
9	175	60	25	1:1	44.58	20.86	44.58	20.86	43.76	19.70
10	175	60	25	1:3	42.55	17.96	43.76	19.69	45.76	22.55
11	175	60	43	1:1	58.67	27.45	61.41	32.26	60.34	30.38
12	175	60	43	1:3	59.60	29.09	59.73	29.31	59.60	29.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ ก.1 บันทึกผลการทดลองของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มที่สภาวะต่างๆ(ต่อ)

No.	T (°C)	Time (min)	Initial FFA (%wt.)	lipid: acid (Ratio volume)	Set 1		Set 2		Set 3	
					Final FFA (%wt.)	%Yield of FFA	Final FFA (%wt.)	%Yield of FFA	Final FFA (%wt.)	%Yield of FFA
13	200	15	25	1:1	41.24	16.09	41.18	16.01	40.02	14.35
14	200	15	25	1:3	43.69	19.59	45.09	21.59	54.67	35.27
15	200	15	43	1:1	52.40	16.45	54.93	20.89	54.00	19.26
16	200	15	43	1:3	54.12	19.47	55.07	21.13	57.53	25.45
17	200	30	25	1:1	44.84	21.23	44.74	21.09	45.34	21.95
18	200	30	25	1:3	55.80	36.88	56.00	37.17	52.41	32.04
19	200	30	43	1:1	66.30	40.85	66.83	41.78	65.23	38.97
20	200	30	43	1:3	56.96	24.45	58.72	27.54	56.96	24.45
21	200	60	25	1:1	61.63	45.21	62.78	46.85	60.84	44.08
22	200	60	25	1:3	57.30	39.03	60.16	43.11	58.73	41.07
23	200	60	43	1:1	77.53	60.56	74.85	55.85	75.92	57.73
24	200	60	43	1:3	63.14	35.30	63.02	35.09	61.48	32.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ ก.1 บันทึกผลการทดลองของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำมันปาล์มที่สภาวะต่างๆ(ต่อ)

No.	T (°C)	Time (min)	Initial FFA (%wt.)	lipid : acid (Ratio volume)	Set 1		Set 2		Set 3	
					Final FFA (%wt.)	%Yield of FFA	Final FFA (%wt.)	%Yield of FFA	Final FFA (%wt.)	%Yield of FFA
25	225	15	25	1:1	57.03	38.64	56.05	37.24	58.96	41.40
26	225	15	25	1:3	55.06	35.83	57.28	39.00	57.03	38.64
27	225	15	43	1:1	66.80	41.72	70.95	49.01	67.84	43.55
28	225	15	43	1:3	61.01	31.56	61.01	31.56	58.66	27.44
29	225	30	25	1:1	60.83	44.07	61.78	45.42	65.56	50.82
30	225	30	25	1:3	61.44	44.94	62.01	45.75	63.24	47.51
31	225	30	43	1:1	84.81	73.34	83.17	70.46	81.02	66.68
32	225	30	43	1:3	66.22	40.71	65.70	39.79	65.70	39.79
33	225	60	25	1:1	74.05	62.94	71.94	59.93	74.01	62.89
34	225	60	25	1:3	77.18	67.41	74.54	63.64	74.53	63.63
35	225	60	43	1:1	84.48	72.76	84.97	73.62	85.45	74.46
36	225	60	43	1:3	79.26	63.59	73.80	54.01	74.15	54.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ภาคผนวก ข

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

ข.1 การหาความเข้มข้นที่แท้จริงของโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH)

การหาความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายนั้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อนและทำให้ดูน่าเชื่อถือมากขึ้นในส่วนของสารละลายเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ หาได้จากการไตเตรตกับสารละลายปฐมภูมิ ในที่นี่ใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต(KHP) รู้ความเข้มข้นแน่นอน คำนวนหาความเข้มข้นแท้จริงของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากสมการการ $C_{NaOH}V_{NaOH} = C_{KHP}V_{KHP}$

ข.2 การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระทำได้หลายวิธี การทดลองนี้ทำการหาปริมาณกรดไขมันอิสระโดยใช้วิธีไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำได้ดังนี้

1. อุ่นสารที่จะนำมาไทรเทรต หยดสารลงขวดรูปชมพู ชั่งน้ำหนักสารที่หยดลงไป
2. นำไอโซโพรพานอล (Isopropanol) PH7 เทลงในขวดรูปชมพูที่เตรียมสารไว้ ละลายให้เข้ากัน อาจใช้การอุ่นเพื่อให้ละลายง่ายขึ้น
3. หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 2 ถึง 3 หยด
4. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู

ข.3 วิธีการคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ

การคำนวณหาความปริมาณกรดไขมันอิสระในสารตัวอย่าง ทำได้โดยไทเทรตสารตัวอย่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อหาปริมาณที่โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ ในการวิเคราะห์ทำการไทเทรต 3 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่างสารเพื่อลดค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการไทเทรต จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระต่อสารตัวอย่าง

$$\text{กรดไขมันอิสระ, \%โดยน้ำหนัก} = \frac{V \times N \times 28.2}{M}$$

กำหนดให้ มวลโมเลกุลเฉลี่ยของน้ำมันเท่ากับ 282 g/mol

เมื่อ V = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต(มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (mol/dm^3)

M = น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.4 การคำนวณหาสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้น(Conversion of triglyceride)

คือการหาสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของไตรกลีเซอไรด์จากปริมาณตอนเริ่มต้นว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเพียงใด สามาหารได้จากสูตร

$$N_A = N_{A0}(1 - X) \qquad (2.8)$$

เมื่อ N_{A0} = จำนวนโมลของสารAเริ่มต้น

N_A = จำนวนโมลของสารAที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

X = สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของสาร A (Conversion)

ข.5 การคำนวณผลได้ร้อยละ(% Yield) เป็นการคำนวณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้จากสมการ

$$\text{ผลได้ร้อยละ(\% Yield)} = \frac{\text{ปริมาณ FFA ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา(ผลผลิตจริง)}}{\text{ปริมาณไตรกลีเซอร์ไรด์ที่เริ่มต้น(ผลผลิตตามทฤษฎี)}}$$

ปริมาณFFAที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา = (Final FFA - Initial FFA)

ปริมาณไตรกลีเซอร์ไรด์เริ่มต้น = 100 - Initial FFA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้