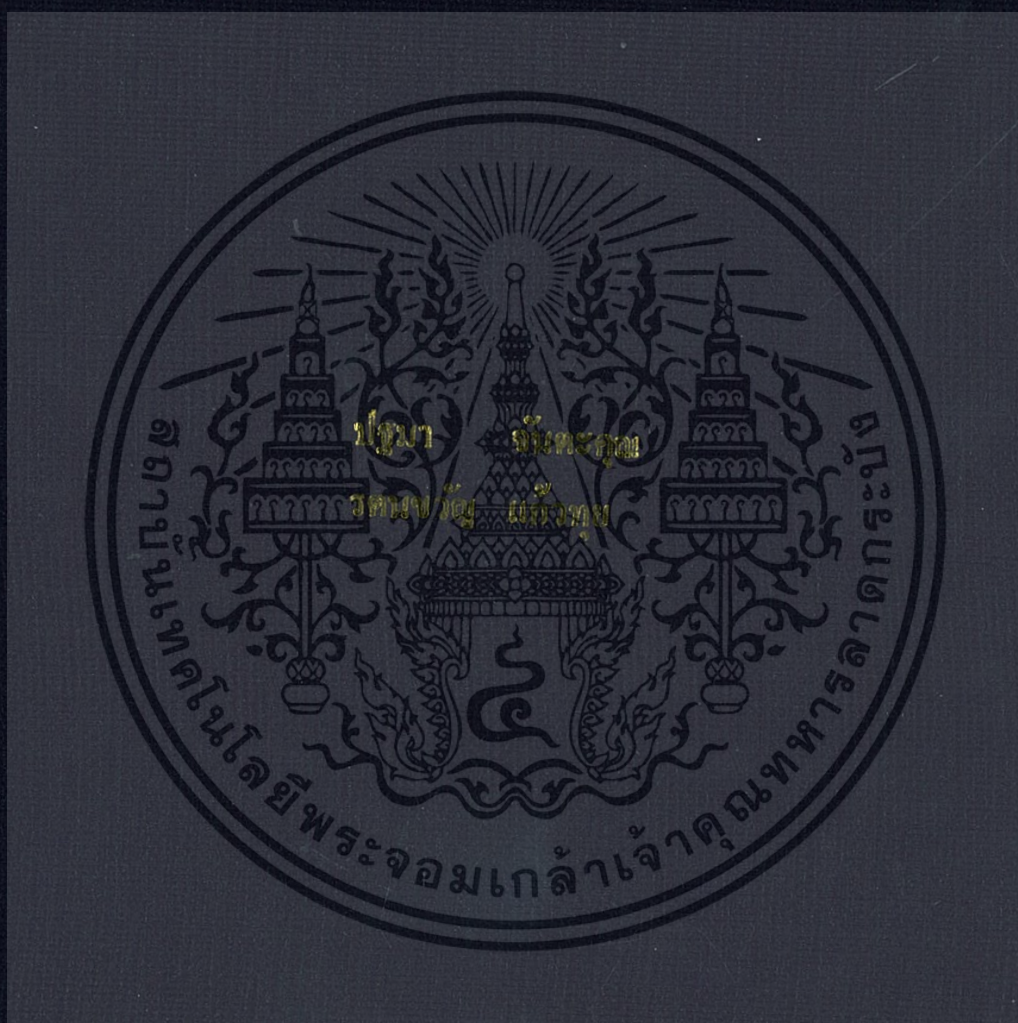


น้ำมันเอสเทอร์สำหรับถ่ายเทความร้อนในหม้อแปลงไฟฟ้า
ESTER OIL AS HEAT TRANSFER FLUID IN ELECTRIC
TRANSFORMERS



ปริญญาโท เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๕๘

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

น้ำมันเอสเทอร์สำหรับถ่ายเทความร้อนในหม้อแปลงไฟฟ้า

ESTER OIL AS HEAT TRANSFER FLUID IN ELECTRIC
TRANSFORMERS



T144398



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 144398
วันเดือนปี 24 พ.ย. 2559

b. 12818534
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ESTER OIL AS HEAT TRANSFER FLUID IN ELECTRIC TRANSFORMERS



A REPORT 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 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง น้ำมันเอสเทอร์สำหรับถ่ายเทความร้อนในหม้อแปลงไฟฟ้า
โดย นางสาวปฐมา จันตะคุณ รหัสนักศึกษา 55010696
นางสาวรัตนขวัญ แก้วทวย รหัสนักศึกษา 55011018
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา
ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	น้ำมันเอสเทอร์สำหรับถ่ายเทความร้อนในหม้อแปลงไฟฟ้า
โดย	นางสาวปฐมมา จันตะคุณ นางสาวรัตนขวัญ แก้วทวย
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์น้ำมันเอสเทอร์จากธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้โดยนำมาใช้เป็นน้ำมันถ่ายเทความร้อนในหม้อแปลงไฟฟ้าและศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดลอริก (LA) กับแอลกอฮอล์สองชนิด คือ 2-เอทิลเฮกซานอล (EH) และออกทานอล (OC) เพื่อหาสมการกฏอัตราของปฏิกิริยานี้ โดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความดัน 4 เซนติเมตรปรอท (สัมบูรณ์) โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาดังนี้ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันอิสระต่อแอลกอฮอล์เป็น 1:1 1:1.5 และ 1.5:1 ปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักของกรดลอริก และสมมติว่ามีแต่ปฏิกิริยาไปข้างหน้า ผลการทดลองพบว่าแนวโน้มของการเกิดปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์ชนิดออกทานอลเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่า 2-เอทิลเฮกซานอล โดยอธิบายจากอันดับของอัตราการเกิดปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์ชนิด ออกทานอลและ 2-เอทิลเฮกซานอล ได้ด้วยสมการอัตราปฏิกิริยาซึ่งสามารถเขียนสมการอัตราได้คือ $-r_{LA} = k_{OC} * C_{LA}^{0.47} C_{OC}^{1.1}$ กรัมโมลกรดไขมันอิสระ/ลิตร นาที เมื่อ $k_{OC} = 0.693e^{\frac{11397.98}{RT}}$ และ $-r_{LA} = k_{EH} * C_{LA}^{0.74} C_{EH}^{0.26}$ กรัมโมลกรดไขมันอิสระ/ลิตร นาที เมื่อ $k_{EH} = 0.603e^{\frac{12594.56}{RT}}$ ตามลำดับ และเมื่อนำน้ำมันเอสเทอร์มาทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าพบว่าน้ำมันออกทิลลอเรต (OL) มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานเป็นน้ำมันถ่ายเทความร้อนในหม้อแปลงไฟฟ้ามากกว่าน้ำมัน 2-เอทิลเฮกซิลลอเรต (EL)

คำสำคัญ: น้ำมันเอสเทอร์; ของเหลวถ่ายเทความร้อน; ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน; กรดลอริก; 2-เอทิล-เฮกซานอล; ออกทานอล

Report Title Ester Oil as Heat transfer fluid in Electric Transformers
By Miss Patama Juntakoon
Miss Ratanakhwan Kaewtui
Degree Bachelor of Engineering
Program Chemical Engineering
Academic Year 2015
Advisor Assoc. Prof. Dr. Prakob Kitchaiya

ABSTRACT

This research is study about the synthesis of biodegradable ester oil which can be used it as heat-transfer fluid in electric transformers. Chemical kinetics of the esterification reaction between lauric acid (LA) and two types of alcohol, namely 2-ethylhexanol (EH) and octanol (OC), were investigated. 0.1% sulfuric acid was used as a catalyst at 60, 70 and 80 degree Celsius under the pressure of 4 cmHg(abs). Molar ratio of free fatty acid and alcohol was 1:1, 1:1.5, and 1.5:1. It was assumed that there is only the forward reaction. Esterification of octanol is faster than 2-ethylhexanol and can be represented by $-r_{LA} = k_{OC} * C_{LA}^{0.47} C_{OC}^{1.1}$ gram mol/(litre-minute) where $k_{OC} = 0.693e^{\left(\frac{11397.98}{RT}\right)}$ and $-r_{LA} = k_{EH} * C_{LA}^{0.74} C_{EH}^{0.26}$ gram/(litre-minute) when $k_{EH} = 0.603e^{\left(\frac{12594.56}{RT}\right)}$, respectively. Electrical properties of the ester oils were characterized.

Keywords: Ester Oil; Heat-transfer fluid; Esterification; Lauric acid; 2-Ethylhexanol; Octanol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา ที่กรุณาให้คำปรึกษา ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง อีกทั้งยังจัดหาเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้ ความเอาใจใส่ ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ตลอดจนประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับงานวิจัยนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. นรเศรษฐ พัฒนเดช อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ ในการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางไฟฟ้า คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆ รายวิชาที่ศึกษา เพื่อเป็นพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วง ตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาท่านต่างๆ ที่ให้คำแนะนำอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ สุนทรชัชเวช ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการทำงานวิจัย รวมถึงให้ความรู้ตลอดระยะเวลาที่ได้ ศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมเคมีนี้ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักรยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจ ในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

ปฐมา จันตะคุณ
รตนขวัญ แก้วทวย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษาของงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification reaction).....	3
2.1.2 กรดไขมัน	3
2.1.3 แอลกอฮอล์.....	5
2.1.4 จลนพลศาสตร์เคมี (Chemical kinetic)	6
2.1.5 สมการดุลโมลในรูปแบบทั่วไป (General mole balance)	7
2.1.6 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor).....	8
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	9
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	9
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	9
3.3 การเตรียมสาร.....	10
3.4 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	10
3.4.2 วิธีการทดลอง.....	10
3.5 วิธีการทดลอง.....	11
3.6 การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของสารตั้งต้นด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี.....	11
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล	13
4.1 การทดลองทางจลนพลศาสตร์	13
4.1.1 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา.....	13
4.1.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันอิสระต่อแอลกอฮอล์.....	16
4.1.3 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ในสมการอัตรา	19
4.1.4 การวิเคราะห์โดยการประมาณค่าโดยใช้วิธีของออยเลอร์ (Euler's method)...	20
4.1.5 ผลการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี.....	21
4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า	24
4.2.1 Breakdown Voltage Test ตามมาตรฐาน IEC 60156.....	24
4.2.2 Dielectric Dissipation Factor Test ตามมาตรฐาน IEC 60247.....	25
4.2.3 Partial Discharge ตามมาตรฐาน IEC 60270	25
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	29
5.1 สรุปผลการทดลอง	29
5.2 ข้อเสนอแนะ	30
บรรณานุกรม	31
ภาคผนวก	32
ภาคผนวก ก	33
ภาคผนวก ข	36
ภาคผนวก ค	38
ภาคผนวก ง.....	43
ภาคผนวก จ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ตัวอย่างกรดไขมันอิ่มตัวและแหล่งที่พบ	4
2.2 ตัวอย่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวและแหล่งที่พบ	5
2.3 ตัวอย่างไฮโดรคาร์บอนและแอลกอฮอล์.....	6
3.4 สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายมาตรฐาน.....	12
4.1 ค่าพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์	21
4.2 สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารตั้งต้นต่อกรดปาล์มมิติกที่เหลืออยู่ของน้ำมันออกทิลลอเรต	22
4.3 สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารตั้งต้นต่อกรดปาล์มมิติกที่เหลืออยู่ของน้ำมัน2-เอทิลเฮกซิลลอเรต	23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์.....	3
2.2 โครงสร้างของกรดไขมันและการเรียกชื่อกรดไขมัน.....	4
2.3 หมู้อัลคิล.....	6
2.4 การคูณโมลในระบบปริมาตร.....	7
4.1 เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของกรดลอรริกต่อออกทานอลเท่ากันที่อุณหภูมิต่างๆ.....	14
4.2 เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของกรดลอรริกต่อ2-เอทิลเฮกซานอลเท่ากันที่อุณหภูมิต่างๆ.....	15
4.3 เมื่อใช้อัตราส่วนของกรดลอรริกต่อออกทานอลค่าต่างๆ ที่เวลาใดๆ.....	17
4.4 เมื่อใช้อัตราส่วนกรดลอรริกต่อ2-เอทิลเฮกซานอลค่าต่างๆ ที่เวลาใดๆ.....	18
4.5 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	19
4.6 กราฟโครมาโตแกรมของน้ำมันออกทิลลอรเรต.....	22
4.7 กราฟโครมาโตแกรมของน้ำมัน2-เอทิลเฮกซิลลอรเรต.....	23
4.8 ค่าแรงดันแบรกดาวน์เฉลี่ยของน้ำมัน 3 ชนิด.....	24
4.9 ค่าแฟกเตอร์กำลังสูญเสียไดอิเล็กตริกที่อุณหภูมิต่างๆ.....	25
4.10 การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของ OL ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 20 kV.....	26
4.11 การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของ OL ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 22 kV.....	26
4.12 การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของ OL ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 24 kV.....	26
4.13 การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของ EL ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 16 kV.....	27
4.14 การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของ EL ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 18 kV.....	27
4.15 การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของ EL ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 20 kV.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันน้ำมันระบายความร้อนได้เข้ามามีบทบาทในภาคอุตสาหกรรมมากยิ่งขึ้น น้ำมันระบายความร้อนที่ใช้ในงานในหม้อแปลงไฟฟ้ามีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและระบายความร้อนให้กับขดลวดภายในหม้อแปลง โดยทั่วไปน้ำมันระบายความร้อนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ แต่ในปัจจุบันน้ำมันระบายความร้อนเอสเทอร์ได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากสามารถนำมาทดแทนการใช้ น้ำมันแร่ (Mineral oil) ที่ได้มาจากปิโตรเลียมและช่วยยกระดับราคาผลผลิตทางการเกษตรที่มีปริมาณมากเกินความต้องการ ข้อดีของน้ำมันระบายความร้อนเอสเทอร์ คือ มีอัตราการทนต่อความร้อนสูง (Thermal stability) ช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้า มีความเป็นพิษต่ำ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสามารถย่อยสลายได้

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันระบายความร้อนเอสเทอร์โดยการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) ระหว่างกรดลอริก (Lauric acid) ซึ่งพบได้มากในน้ำมันมะพร้าวและแอลกอฮอล์ 2 ชนิด คือ 2-เอทิลเฮกซานอล (2-ethyl hexanol) และออกทานอล (n-octanol) โดยใช้กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid :H₂SO₄) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากปฏิกิริยานี้สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ ตามหลักของเลอชาเตอริเยหากปฏิกิริยาถูกรบกวนสมดุลจะทำให้สารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์เกิดได้มากขึ้น จึงมีการดึงน้ำออกจากระบบเพื่อให้สมดุลไปข้างหน้า ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เอสเทอร์มากขึ้น ด้วยการดำเนินงานที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศที่ 4 เซนติเมตรปรอท (สัมบูรณ์) เพื่อให้ น้ำระเหยออกได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ โดยไม่มีผลต่อคุณสมบัติของของเหลว และเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์และหาสมการอัตราของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเปรียบเทียบชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำมันเอสเทอร์
2. เพื่อศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันกับแอลกอฮอล์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาจลนพลศาสตร์และหาสมการอัตราของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดลอริกกับ 2-เอทิลเฮกซานอล (2-ethyl hexanol) และปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดลอริกกับออกทานอล (Octanol) โดยใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ โดยอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันต่อแอลกอฮอล์เป็น 1:1 1:1.5 และ 1.5:1 ตามลำดับ และใช้กรดซัลฟูริกประมาณร้อยละ 0.1 โดยมวลของกรดลอริก อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส รวมทั้งมีการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำมันเอสเทอร์ทั้งสองชนิด

1.4 ขั้นตอนการศึกษาของงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาวิธีทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้
3. ออกแบบการทดลอง
4. ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม
5. วิเคราะห์ผลที่ได้และศึกษาจลนพลศาสตร์และหาสมการอัตราของปฏิกิริยา
6. นำน้ำมันที่ได้ไปทดสอบ
7. สรุปผลการทดลอง
8. จัดทำรูปเล่มปริญญาบัตร

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. ทราบจลนพลศาสตร์และสมการอัตราของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดลอริกกับ 2-เอทิลเฮกซานอล (2-ethyl hexanol) และปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดลอริกกับออกทานอล (Octanol)
2. สามารถนำข้อมูลพื้นฐานทางจลนพลศาสตร์ในการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดลอริกกับ 2-เอทิลเฮกซานอล (2-ethyl hexanol) และปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดลอริกกับออกทานอล (Octanol) ไปประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์น้ำมันเอสเทอร์
3. ทราบผลของตัวแปรได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาและอัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดไขมันต่อแอลกอฮอล์ในการสังเคราะห์น้ำมันเอสเทอร์และชนิดของแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม
4. ทราบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของน้ำมันเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ทั้ง 2 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification reaction) (Otera, 2010)

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่เกิดจากสารตั้งต้น คือ กรดไขมันอิสระและแอลกอฮอล์ ได้สารผลิตภัณฑ์ คือ เอสเทอร์ ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดได้โดยใช้เอนไซม์ไลเปส หรือใช้กรดแก่เป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยาโดยเอสเทอร์ที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น เป็นสารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์อาหาร เครื่องดื่ม เครื่องสำอาง ยา และเชื้อเพลิง การเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส อาจเกิดขึ้นในตัวกลางที่ไม่มีขั้ว แต่ต้องมีน้ำในปริมาณเล็กน้อยเพียงพอที่จะรักษาโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการกำจัดน้ำออกจากระบบ สามารถทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าได้ดี ดังรูปที่ 2.1

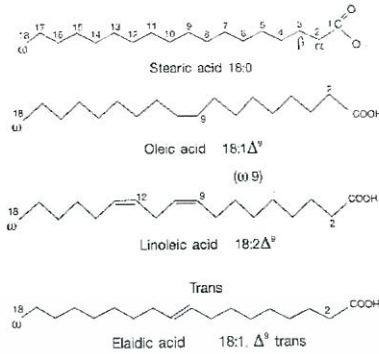
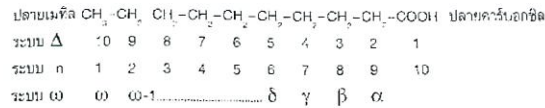


รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ (Otera, 2010)

2.1.2 กรดไขมัน (โกมารทัต, 2542)

ไขมันหรือลิพิด (Lipid) เป็นสารชีวโมเลกุลที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตทุกระดับ มีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซคคาไรด์ โครงสร้างทางเคมีค่อนข้างหลากหลาย แต่มีสิ่งที่เหมือนกัน คือ จะมีส่วนของโครงสร้างที่เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว (Non-polar) ซึ่งจะแสดงคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) และมีผลทำให้สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) ลิพิดบางชนิดอาจจะประกอบด้วยส่วนที่มีขั้ว (Polar) ที่มีประจุหรือไม่มีประจุอยู่ในโครงสร้างด้วย ทำให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilicity)

(จันทร์โพธิ์ศรี, 2540) ระบุว่าไขมันนั้น ใช้กับเอสเทอร์ของกลีเซอรอลเมื่อเอสเทอร์นั้นเป็นของแข็ง ส่วนค่าน้ำมัน ใช้กับเอสเทอร์ของกลีเซอรอลเมื่อเอสเทอร์เป็นของเหลว ความแตกต่างระหว่างน้ำมันและไขมันนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดหลอมเหลวของสารหรืออีกนัยหนึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างของหมู่ R ของกรดไขมันดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกรดไขมันและการเรียกชื่อกรดไขมัน (จันทร์โพธิ์ศรี, 2540)

2.1.2.1 กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) (ฉิมภู, 2553)

เป็นกรดไขมันที่มีหมู่เอซิลเป็นอัลเคน ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนที่เชื่อมกันด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด กรดไขมันอิ่มตัวส่วนมากมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ระหว่าง 14-24 อะตอม พบมากในไขมันสัตว์ ชนิดที่พบมากที่สุดคือ กรดปาล์มมีติกมีคาร์บอน 16 อะตอม (C_{16}) และกรดสเตียริกมีคาร์บอน 18 อะตอม (C_{18}) โดยตัวอย่างกรดไขมันอิ่มตัวแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างกรดไขมันอิ่มตัวและแหล่งที่พบ (ฉิมภู, 2553)

กรดไขมัน	สูตรโครงสร้างอย่างย่อ	จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)	ตัวอย่างแหล่งที่พบ
กรดลอริก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	44.2	น้ำมันมะพร้าว
กรดไมริสติก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	53.9	น้ำมันมะพร้าว ลูกจันทน์เทศ
กรดปาล์มมีติก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	63.1	น้ำมันปาล์ม ไขมันสัตว์
กรดสเตียริก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69.6	ไขมันพืชและสัตว์
กรดอะราซิดิก (Arachidic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	76.5	น้ำมันถั่วลิสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) (ฉิมภู, 2553)

เป็นกรดไขมันที่มีหมู่เอซิลเป็นอัลคีน ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนที่เชื่อมกันด้วยพันธะคู่ ในธรรมชาติพบกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว ชนิดที่พบมากที่สุดคือ กรดโอเลอิก โดยอาศัยจำนวนพันธะคู่ โมเลกุลสามารถแบ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้เป็น 3 กลุ่มย่อยคือ (1) กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มี 1 พันธะคู่ (Monosaturated หรือ Monoenoic fatty acid) (2) กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ (Polysaturated หรือ Polyenoic fatty acid) (3) เอโคซานอยด์ (Eicosanoid) โดยตัวอย่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวแสดงดังตารางที่ 2.2

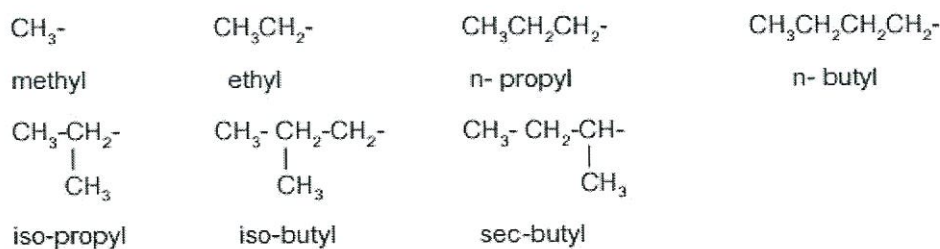
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวและแหล่งที่พบ (ฉิมภู, 2553)

กรดไขมัน	สูตรโครงสร้างอย่างย่อ	จุด หลอมเหลว (°C)	จำนวน พันธะคู่ ระหว่าง คาร์บอน	ตัวอย่าง แหล่งที่พบ
กรดปาล์มมีโตเลอิก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-0.5	1	ไขมันพืชและสัตว์
กรดโอเลอิก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	13.4	1	ไขมันพืชและสัตว์
กรดไลโนเลอิก	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	-5	2	น้ำมันพืช
กรดไลโนเลนิก	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	-11	3	น้ำมันพืช
กรดอะราชิไดนิค (Arachidonic acid)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-49.5	4	ไขมันสัตว์

2.1.3 แอลกอฮอล์ (มีสุข, 2538)

แอลกอฮอล์เป็นสารประกอบอินทรีย์ มีสูตรทั่วไปคือ R-OH เมื่อ R คือ หมู่อัลคิล (อัลเคนที่ขาดไฮโดรเจนไปหนึ่งอะตอม) และเรียกชื่อหมู่เหล่านี้โดยตัด -ane ท้ายชื่อของสารประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 หมู่อัลคิล

ไฮโดรคาร์บอนออกแล้วเติม $-yl$ ลงแทน ตัวอย่างของหมู่อัลคิล เช่น สูตรโมเลกุลเป็น $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ และ หมู่ $-\text{OH}$ เป็นหมู่เฉพาะของแอลกอฮอล์ แอลกอฮอล์อาจถือว่าเป็นอนุพันธ์ของอัลเคนที่เกิดจากการแทนที่ไฮโดรเจนด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ดังตัวอย่างในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างไฮโดรคาร์บอนและแอลกอฮอล์ (มีสุข, 2538)

ไฮโดรคาร์บอน	แอลกอฮอล์
CH_4 มีเทน	CH_3OH เมทิลแอลกอฮอล์
C_2H_6 อีเทน	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ เอทิลแอลกอฮอล์
C_3H_8 โพรเพน	$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ โพรพิลแอลกอฮอล์

2.1.3.1 สมบัติทั่วไปของแอลกอฮอล์ (มีสุข, 2538)

แอลกอฮอล์มีจุดเดือดสูงกว่าไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากัน เพราะว่า แอลกอฮอล์สามารถรวมตัวกันโดยเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไฮโดรเจนในหมู่เฉพาะของโมเลกุลหนึ่งกับออกซิเจนในหมู่เฉพาะของอีกโมเลกุลหนึ่ง และแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะละลายน้ำได้ดีกว่า เพราะว่า แอลกอฮอล์สามารถเกิดแรงดึงดูดกับโมเลกุลของน้ำได้โดยพันธะไฮโดรเจน เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น การละลายน้ำจะลดลง

2.1.4 จลนพลศาสตร์เคมี (Chemical kinetic) (ฉิมภู่, 2553)

ปฏิกิริยาเคมีอาจแบ่งได้ตามจำนวนโมเลกุลของสารที่ทำปฏิกิริยากันเพื่อเกิดผลิตภัณฑ์ เช่น ปฏิกิริยาที่เกิดจากสาร 1 โมเลกุล แตกสลาย เรียกว่า Monomolecular reaction แต่ถ้าปฏิกิริยาเคมีเกิดจากสาร 2 และ 3 โมเลกุลทำปฏิกิริยากัน เรียกว่า Bimolecular และ Trimolecular reaction ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งปฏิกิริยาทางเคมีโดยอาศัยพื้นฐานทางจลนศาสตร์ (Kinetic basis) ได้ดังนี้

1. ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero-order-reaction)
2. ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First-order-reaction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

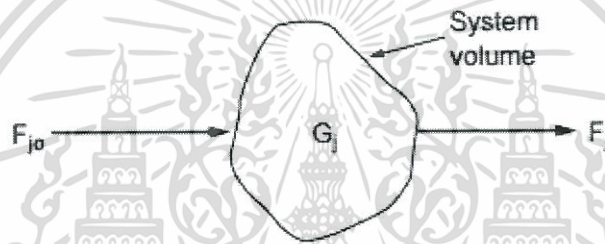
3. ปฏิกิริยาอันดับสอง (Second-order-reaction)

4. ปฏิกิริยาอันดับสาม (Third-order-reaction)

สำหรับปฏิกิริยาเคมีอันดับศูนย์ พบว่า ความเร็วของปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่ทำปฏิกิริยา ขณะที่ปฏิกิริยาอันดับสาม ความเร็วของปฏิกิริยาเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารที่ทำปฏิกิริยาเคมี 3 ชนิด

2.1.5 สมการดุลโมลในรูปแบบทั่วไป (General mole balance) (Fogler, 2010)

การที่จะแสดงสมการดุลโมลในระบบใดระบบหนึ่ง จะต้องการระบุขอบเขตของระบบที่เราทำการศึกษานั้นเป็นอันดับแรก ปริมาตรภายในขอบเขตหรือเงื่อนไขนี้จะถูกใช้อ้างอิงเป็นปริมาตรของระบบ โดยกำหนดให้ j แสดงถึงอนุภาคของโมเลกุลที่สนใจ เช่น กรดไขมันหรือแอลกอฮอล์ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การดุลโมลในระบบปริมาตร

$$\left(\begin{array}{c} \text{อัตราการไหล} \\ \text{ของสาร } j \text{ ที่เข้าสู่ระบบ} \\ \text{(moles/time)} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{อัตราการไหล} \\ \text{ของสาร } j \text{ ที่ออกจากระบบ} \\ \text{(moles/time)} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{อัตราการเกิดของ } j \text{ โดยปฏิกิริยา} \\ \text{เคมีภายในระบบ} \\ \text{(moles/time)} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{อัตราการสะสม} \\ \text{ของสาร } j \text{ ภายในระบบ} \\ \text{(moles/time)} \end{array} \right)$$

$$\text{In} - \text{out} + \text{Generation} = \text{Accumulation} \quad (2.1)$$

$$F_{jo} - F_j + G_j = \frac{dN_j}{dt} \quad (2.2)$$

เมื่อ N_j คือ จำนวนโมลของสาร j ในระบบ ณ เวลา t

โดยที่ G_j เป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาที่มีปริมาตร V และมีอัตราการเกิด r_j

$$G_j = r_j \cdot V \quad (2.3)$$

$$\frac{\text{moles}}{\text{time}} = \frac{\text{moles}}{(\text{time})(\text{volume})} \cdot \text{volume}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) (Luyben, 2551)

เครื่องปฏิกรณ์ประเภทนี้มีลักษณะเป็นเครื่องระบบปิด กล่าวคือ จะไม่มีสารถ่ายเทออกไปจากเครื่องปฏิกรณ์ โดยในเชิงอุตสาหกรรม กระบวนการทดลองแบบปิดนั้นจะเหมาะสำหรับการผลิตสิ่งที่มีมูลค่าหรือปฏิกิริยาที่มีความซับซ้อนโดยการควบคุมอุณหภูมิ

การวิเคราะห์เชิงปริมาณของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ จะทำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยกฎทรงมวลและพลังงาน ซึ่งจะอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์แบบธรรมดา โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical methods)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(ROZAL, 2558) ได้ศึกษาการใช้ไขมันมะพร้าวเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนและช่วยระบายความร้อนในหม้อแปลงไฟฟ้า โดยไขมันจะอยู่บริเวณช่องว่างระหว่างตัวนำและขดลวดซึ่งช่วยเพิ่มความเป็นฉนวน ซึ่งน้ำมันแรมมีการใช้อย่างแพร่หลายในหม้อแปลงไฟฟ้า แต่เนื่องจากผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในเชิงลบ ทำให้มีการห้ามใช้ในหลายประเทศ ในงานวิจัยนี้มีการทดสอบค่าเบรกดาว์ของน้ำมันมะพร้าว ในช่วงเริ่มแรกจะมีค่า 20 kV เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงและเพิ่มค่าเบรกดาว์ของน้ำมันให้สูงขึ้นจนถึง 60 kV แต่เมื่อลดอุณหภูมิลง ก็ไม่ทำให้ค่าเบรกดาว์ของฉนวนลดลง จึงกล่าวได้ว่าเมื่อทำให้อุณหภูมิเย็นลง ค่าเบรกดาว์ของฉนวนไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ น้ำมันมีความเป็นฉนวนสูง และมีการทดสอบการดูดความชื้นโดยเมื่อนำน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันแรมมาทดสอบ วางไว้ในระบบเปิดซึ่งมีความชื้น 78% พบว่าค่าเบรกดาว์ของฉนวนน้ำมันมะพร้าวจะมีค่าลดลงน้อยกว่าน้ำมันแรม น้ำมันมะพร้าวจึงสามารถเป็นใช้น้ำมันระบายความร้อนในหม้อแปลงได้ ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศศรีลังกา เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวมีราคาถูกและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

(Martínez, 2554) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างเอทานอลและกรดลอริกโดยใช้ซิงค์ลอเรตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยสภาวะที่ใช้ทำการทดลองคือ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 2-10 โดยน้ำหนัก เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 0-300 นาที อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลและกรดลอริก 3:1-9:1 และใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 120-250 องศาเซลเซียส สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอสเทอร์ กรณีที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา คือที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลและกรดลอริก 8:1 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาตั้งแต่ 60 ถึง 120 นาที ได้ค่าแปรผันทางเคมีประมาณ 80% และปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันแบบมีตัวเร่ง คือ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลและกรดลอริก 8:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 110 นาที และได้ค่าแปรผันทางเคมีประมาณ 92%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (ขวดสามคอ)
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. แท่งกวนแม่เหล็ก (Magnetic bar)
4. เครื่องปั่นกวนชนิดแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
5. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Circulating bath)
6. นาฬิกาจับเวลา
7. ปิเปต
8. บิวเรต
9. ขวดรูปชมพู่
10. บีกเกอร์
11. กรวย
12. กระจกตวง
13. เครื่องชั่งสารทศนิยมหลายตำแหน่ง
14. หลอดหยด
15. ขาดังพร้อมที่จับ
16. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump)
17. เครื่องควบแน่น (Condenser)
18. ซิลิกาเจล

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กรดลออิก (Lauric acid)
2. 2-เอทิลเฮกซานอล (2-ethyl hexanol)
3. ออกทานอล (Octanol)
4. กรดซัลฟิวริก
5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
6. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน
7. สารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต
8. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมสาร

3.3.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.25 โมลาร์

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น เติงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน

3.3.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.01 โมลาร์

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น เติงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน

3.3.3 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน เข้มข้น 1 กรัมในเอทานอล 100 มิลลิลิตร

ชั่งฟีนอล์ฟทาลีนผง 0.25 กรัม ผสมกับเอทานอล เติงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน แล้วเทสารลงในขวดสีชา

3.3.4 สารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต เข้มข้น 0.1 โมลาร์

ชั่งโพแทสเซียมคาร์บอเนต 13.8 กรัม นำมาผสมกับน้ำกลั่น เติงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน

3.3.5 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต เข้มข้น 0.1 โมลาร์

ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จำนวน 2 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น เติงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน

3.4 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.4.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.25 โมลาร์ และเข้มข้น 0.1 โมลาร์
2. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต เข้มข้น 0.1 โมลาร์
3. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน เข้มข้น 1 กรัมในเอทานอล 100 มิลลิลิตร

3.4.2 วิธีการทดลอง

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต จำนวน 5 มิลลิลิตร สำหรับหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ และจำนวน 10 มิลลิลิตร สำหรับหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ลงในขวดรูปชมพู่
2. หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนลงไป จะได้สารละลายตัวอย่างที่ใสไม่มีสี
3. นำไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องการทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ที่จุดยุติสารละลายตัวอย่างจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีการทดลอง

1. ชั่งแอลกอฮอล์คือ 2-เอทิลเฮกซานอล (2-ethyl hexanol) หรือออกทานอล (Octanol) ในปริมาณที่ต้องการ แล้วนำไปอุ่นในเครื่องปฏิกรณ์
2. ชั่งกรดลอริกในปริมาณที่ต้องการ แล้วนำไปผสมกับแอลกอฮอล์ในเครื่องปฏิกรณ์
3. เมื่ออุณหภูมิของสารผสมถึงอุณหภูมิที่ต้องการ แล้วใส่กรดซัลฟิวริกลงไป จากนั้นปิดปากขวดพร้อมกับเปิดปั๊มสุญญากาศ เพื่อลดความดันของระบบ จึงเริ่มจับเวลา
4. เก็บสารตัวอย่างประมาณ 2 กรัมที่เวลาต่างๆ ในการเก็บสารตัวอย่างนั้นจะต้องปิดปั๊มสุญญากาศ แล้วจึงปิเปตสารตัวอย่างใส่ในขวดรูปชมพู่
5. นำสารตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก แล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ
6. นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ข้อมูล

3.6 การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของสารตั้งต้นด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี โดยการสร้างกราฟมาตรฐาน

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานโดยผสมระหว่างออกทานอล 2-เอทิล-เฮกซานอล และกรดลอริก ตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.1 และเติมกรดปาล์มมิติก 0.05 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 ml ปรับปริมาตรด้วยคลอโรฟอร์ม เขย่าให้เข้ากัน
2. ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารโดยใช้คอลัมน์ DB-5HT อุณหภูมิคอลัมน์ 100 องศาเซลเซียส และเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 250 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที โดยการฉีดสารตัวอย่าง 1 ไมโครลิตรเข้าเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี
3. นำพื้นที่พีคที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของพื้นที่พีคและสัดส่วนโดยน้ำหนักของออกทานอล 2-เอทิลเฮกซานอล และกรดลอริก เทียบกับกรดปาล์มมิติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายมาตรฐาน

ลำดับที่	สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายมาตรฐาน		
	กรดลوريค	ออกทานอล	2-เอทิลเฮกซานอล
1	0.48	0.79	-
2	0.35	0.42	-
3	0.03	0.25	-
4	0.27	0.68	-
5	-	-	0.28
6	-	-	0.76
7	-	-	0.51

วิธีการทดลองหาความเข้มข้นของสารในตัวอย่าง

- เตรียมสารละลายตัวอย่าง 1 กรัมและกรดปาล์มมิติก 0.05 กรัมละลายในคลอโรฟอร์ม 10 มิลลิลิตร
- ทำการทดลองเหมือนในข้อ 2-3 ในการสร้างกราฟมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล

เมื่อทำการสังเคราะห์น้ำมันเอสเตอร์ 2 ชนิด จากกรดลอริกและแอลกอฮอล์ 2 ชนิด คือ 2-เอทิลเฮกซานอล (2-ethyl hexanol) และออกทานอล (Octanol) ได้ผลการทดลองทางจลนพลศาสตร์ แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.1 และนำน้ำมันที่สังเคราะห์ได้มาทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.2 มีรายละเอียดดังนี้

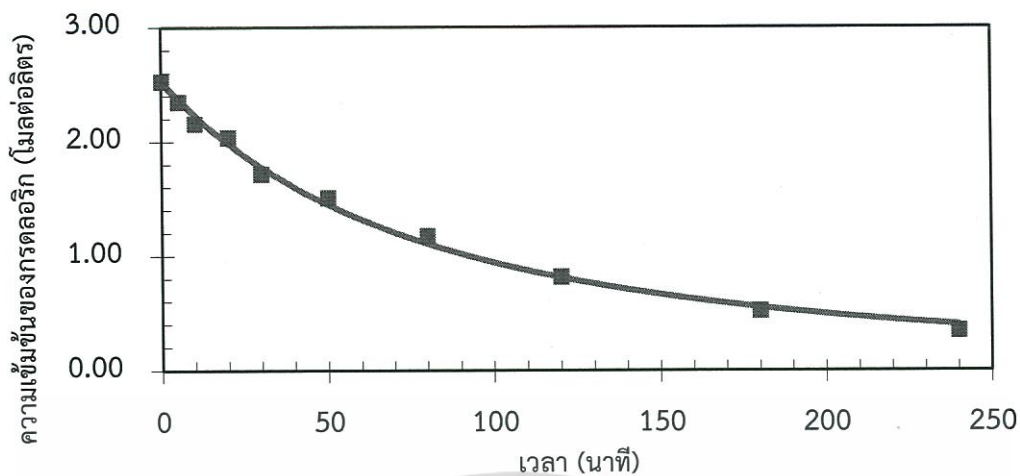
4.1 การทดลองทางจลนพลศาสตร์

4.1.1 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

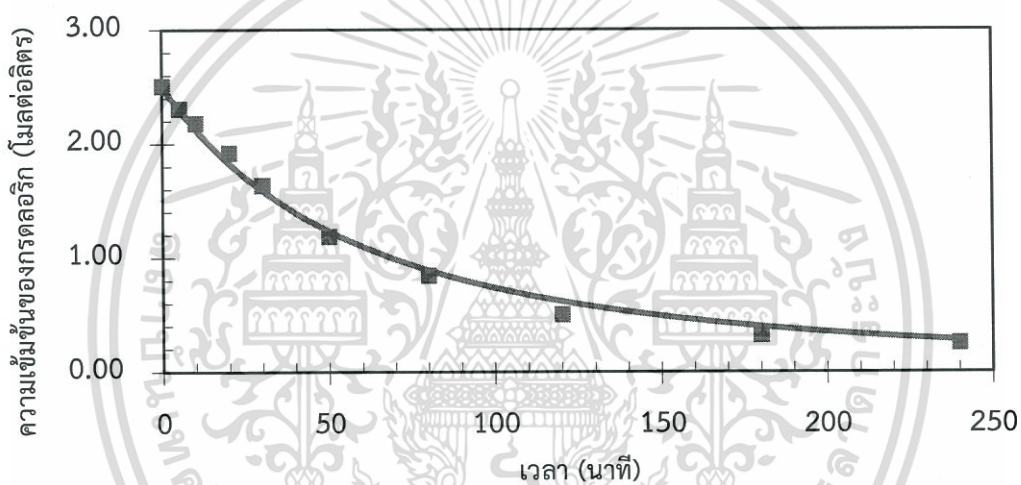
เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา จึงนำค่าความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในแต่ละอุณหภูมิมาพล็อตกราฟเทียบกับเวลาในแต่ละอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันอิสระต่อแอลกอฮอล์แสดง ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

โดย	LA	คือ	กรดลอริก (lauric acid)
	OC	คือ	ออกทานอล (octanol)
	EH	คือ	2-เอทิลเฮกซานอล (2-ethyl hexanol)

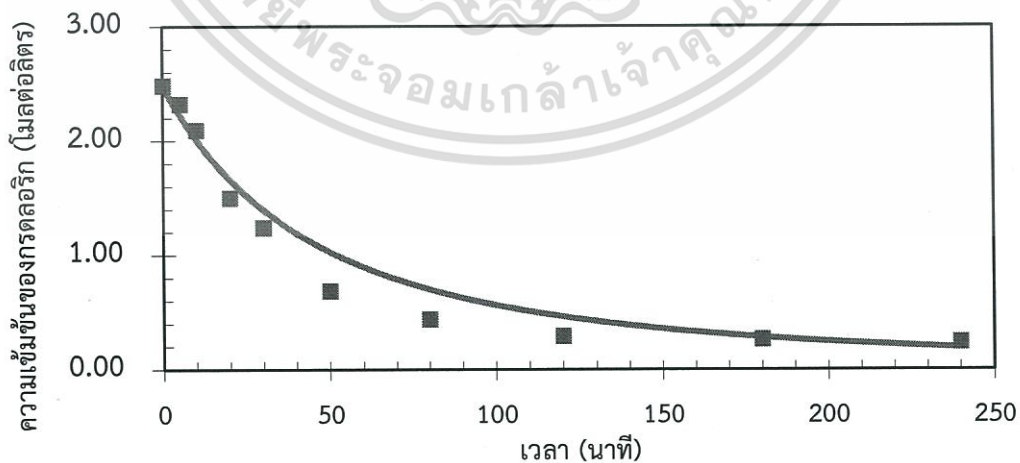
(ก.) LA : OC = 1:1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



(ข.) LA : OC = 1:1 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

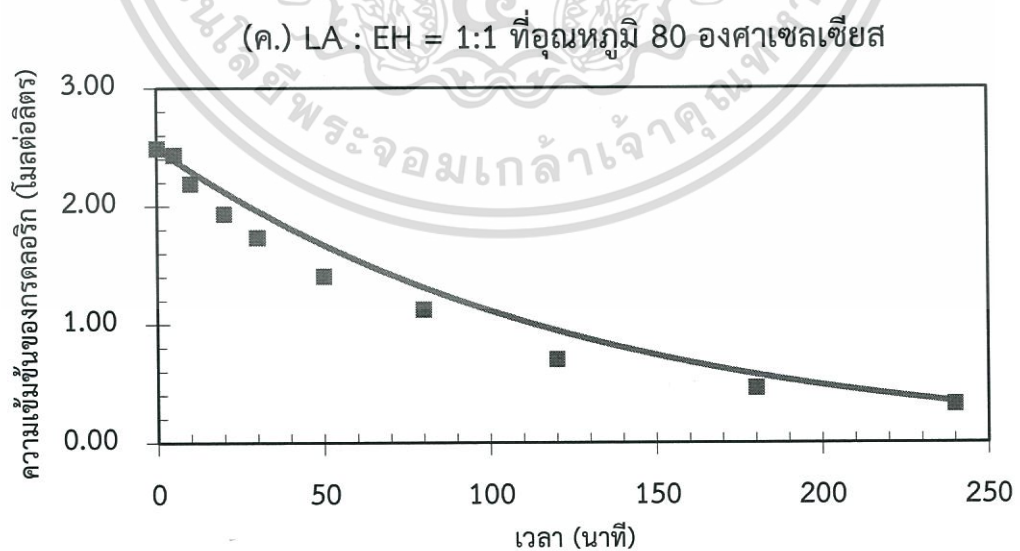
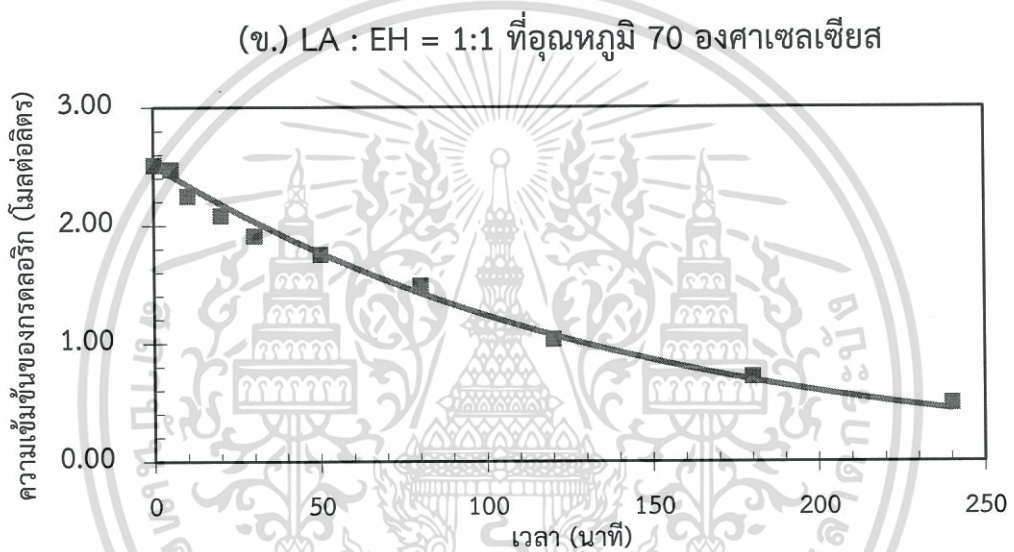
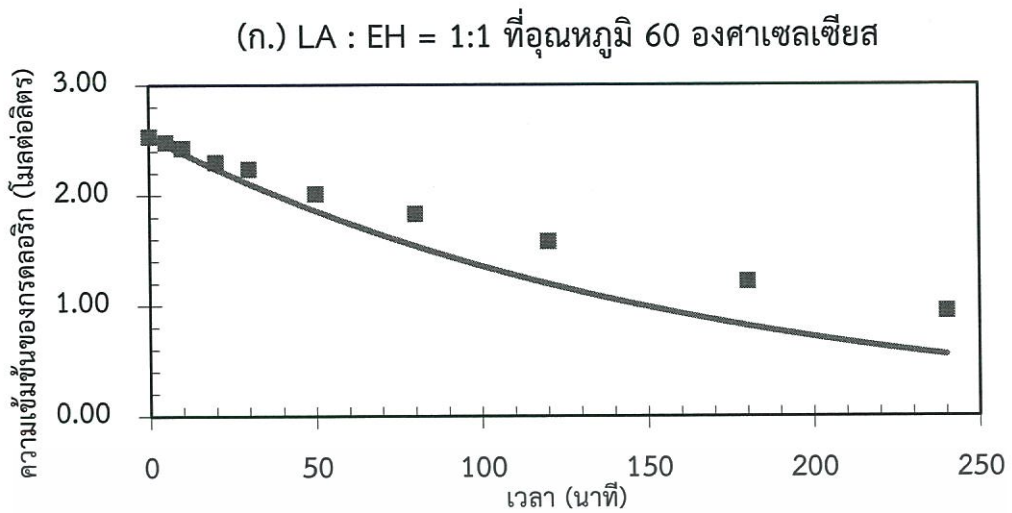


(ค.) LA : OC = 1:1 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.1 เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของกรดลอรริกต่อออกทานอลเท่ากันที่อุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของกรดลอรริกต่อ 2-เอทิลเฮกซานอลเท่ากันที่อุณหภูมิต่างๆ

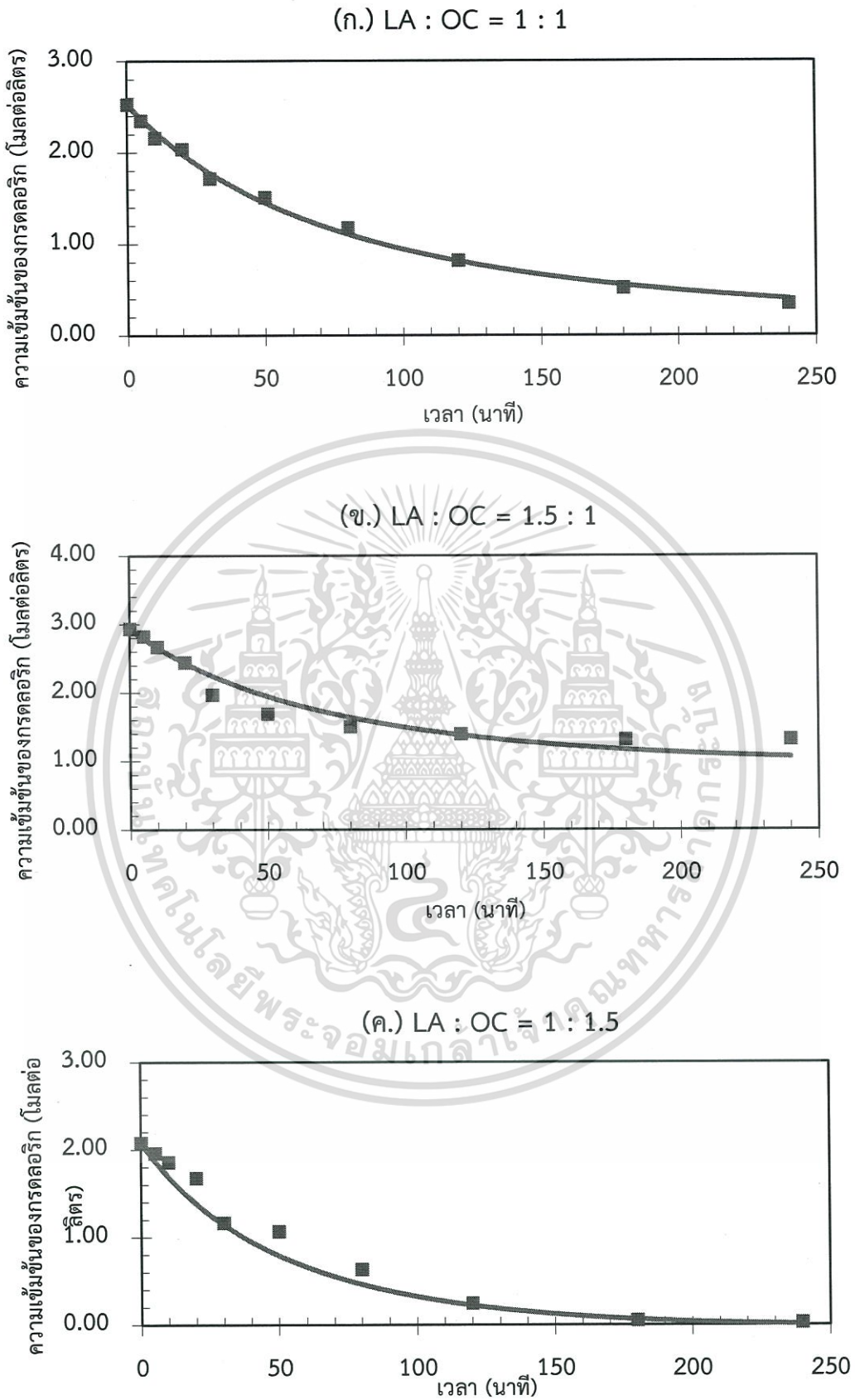
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 ที่ความชันของกราฟ ณ เวลาเดียวกันพบว่า กราฟที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะมีความชันมากกว่ากราฟที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ส่วนความชันของกราฟที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ณ เวลาเดียวกันนั้น แม้จะมีความชันที่ใกล้เคียงกันแต่โดยรวมจะเห็นว่า กราฟที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะมีความชันมากกว่ากราฟที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งความชันของกราฟแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของกรดไขมันกับเวลานั้นบอกถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยในสภาวะที่อุณหภูมิสูงกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเร็วกว่าในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำกว่า

4.1.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันต่อแอลกอฮอล์ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

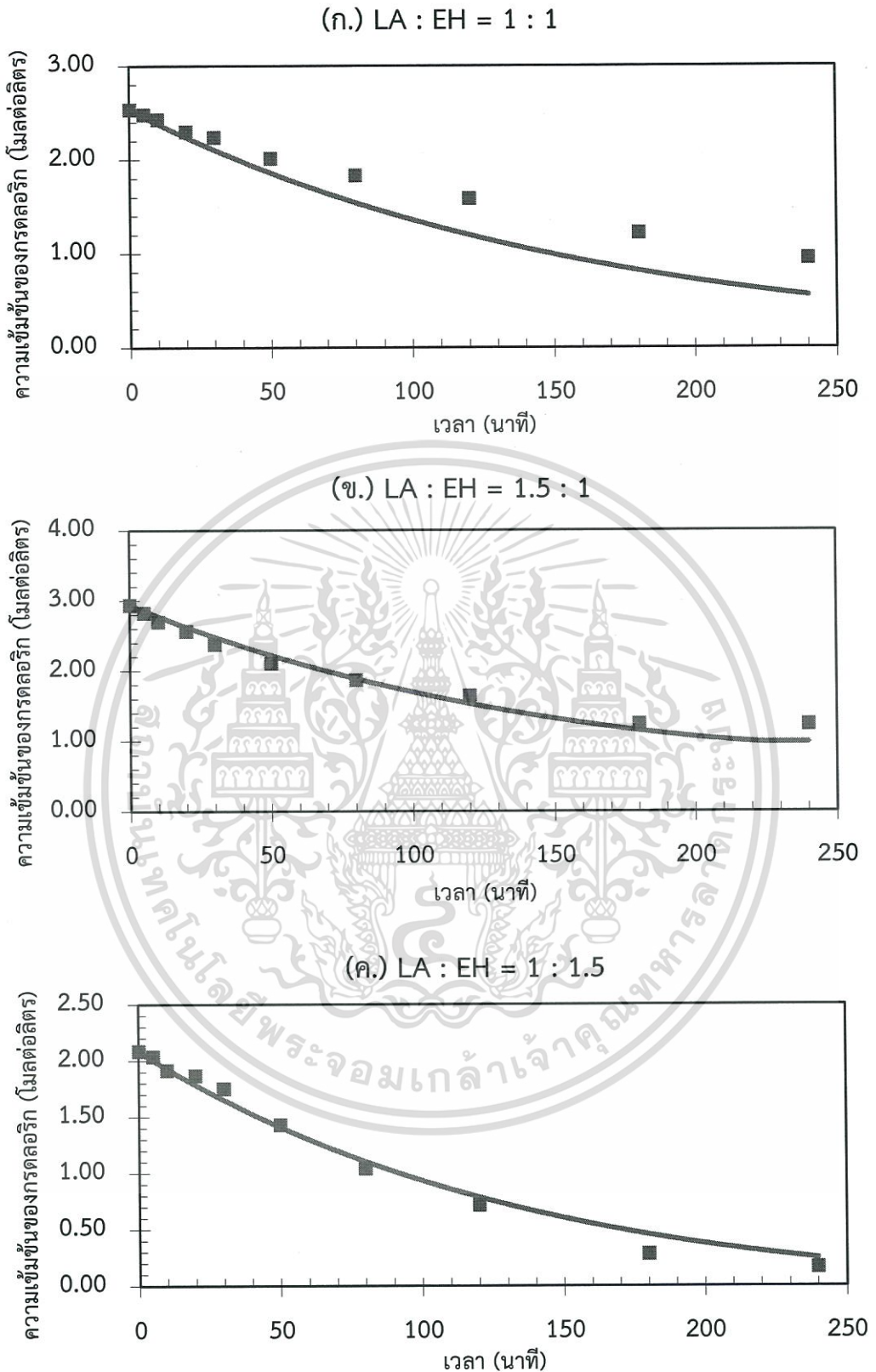
เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันอิสระต่อแอลกอฮอล์ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา จึงนำค่าความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในแต่ละอัตราส่วนโดยโมล มาพล็อตกราฟเทียบกับเวลาในแต่ละอุณหภูมิแสดงได้ ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4

โดย	LA	คือ	กรดลอริก (lauric acid)
	OC	คือ	ออกทานอล (octanol)
	EH	คือ	2-เอทิลเฮกซานอล (2-ethyl hexanol)



รูปที่ 4.3 เมื่อใช้อัตราส่วนของกรดลอรริกต่อออกทานอลค่าต่างๆ ที่เวลาใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาก่อนหน้านี้ส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



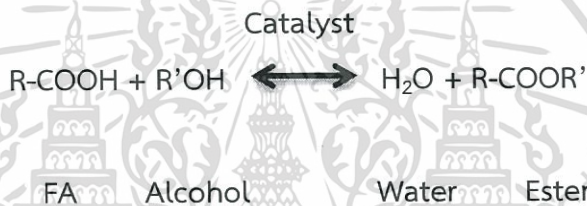
รูปที่ 4.4 เมื่อใช้อัตราส่วนของกรดลอรริกต่อ 2-เอทิลเฮกซานอลค่าต่างๆ ที่เวลาใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ความชันของกราฟ ณ เวลาเดียวกันจะพบว่า กราฟที่อัตราส่วนโดยโมลเป็น 1 : 1 จะมีความชันมากกว่ากราฟที่อัตราส่วนโดยโมลเป็น 1.5 : 1 และ กราฟที่อัตราส่วนโดยโมลเป็น 1 : 1.5 จะมีความชันมากกว่ากราฟที่อัตราส่วนโดยโมลเป็น 1 : 1 และ 1.5 : 1 ซึ่งความชันของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดไขมันกับเวลานั้นบอกถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันต่อแอลกอฮอล์มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยการใส่แอลกอฮอล์ให้มากกว่ากรดไขมัน พบว่ามีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่มีกรดไขมันมากกว่าแอลกอฮอล์

4.1.3 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ในสมการอัตรา

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมัน (FA) กับแอลกอฮอล์ (Alcohol) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันเอสเทอร์ (Ester oil) และน้ำ (H₂O) แสดงด้วยสมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาเคมีดังนี้



รูปที่ 4.5 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ สมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถเขียนได้ดังสมการนี้ (4.1)

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k_f C_A^\alpha C_B^\beta - k_r C_C^\delta C_D^\theta \quad (4.1)$$

เนื่องจากในการทดลองได้ทำการดึงน้ำออกเพื่อให้สมดุลไปข้างหน้า ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มากขึ้นจึงสมมติได้ว่าปฏิกิริยานี้ไม่มีการผันกลับ ซึ่งสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (4.2)

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k C_A^\alpha C_B^\beta \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การวิเคราะห์โดยการประมาณค่าโดยใช้วิธีของออยเลอร์ (Euler's method)

การประมาณค่าโดยใช้วิธีของออยเลอร์เป็นวิธีการแก้สมการเชิงอนุพันธ์อันดับ 1 แบบหนึ่ง โดยวิธีนี้เป็นวิธีการประมาณค่าที่ง่ายที่สุด การทำนายค่าตัวแปรด้วยวิธีการของออยเลอร์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.3)

$$y_{x+h} = y_x + hy'_x \quad (4.3)$$

เมื่อพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดไขมันกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยให้เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นแกน x และความเข้มข้นของกรดไขมันเป็นแกน y ความชันของกราฟคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดไขมันที่ เวลาใดๆ หรืออัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเท่ากับ y'_x ส่วน y_{x+h} เป็นตัวแปรที่ต้องการทำนายค่าใหม่ จากค่าเก่า y_x ซึ่ง y คือความเข้มข้นของกรดไขมัน และ h คือ ช่วงเวลาที่เปลี่ยนไป สามารถเขียนสมการใหม่ เพื่อใช้ทำนายค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่เวลาต่างๆ ได้จากความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระที่จุดเริ่มต้น ดังสมการที่ (4.4)

$$C_{A,x+h} = C_{A,x} + h \frac{dC_{A,x}}{dt} \quad (4.4)$$

ซึ่ง $\frac{dC_A}{dt}$ มาจากสมการ $\frac{dC_A}{dt} = -kC_A^\alpha C_B^\beta$ (4.5)

$$C_A = C_{A_0}(1-x), C_B = C_{A_0}(\theta_B - x), \theta_B = \frac{N_{B_0}}{N_{A_0}} \quad (4.6)$$

$$C_{A_0} = \frac{C_A}{(1-x)} = \frac{C_B}{(\theta_B - x)} \quad (4.7)$$

$$C_B = C_A \frac{(\theta_B - x)}{(1-x)} \quad (4.8)$$

กรณีอัตราส่วนโดยโมลของกรดต่อแอลกอฮอล์ = 1 : 1 ($N_{A_0} = N_{B_0}$)

$$\frac{dC_A}{dt} = -kC_A^{\alpha+\beta} \quad (4.9)$$

กรณีอัตราส่วนโดยโมลของกรดต่อแอลกอฮอล์ = 1.5 : 1 ($N_{A_0} = 1.5N_{B_0}$)

$$\frac{dC_A}{dt} = -kC_A^{\alpha+\beta} \times \left(\frac{0.67-x}{1-x}\right)^\beta \quad (4.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีอัตราส่วนโดยโมลของกรดต่อแอลกอฮอล์ = 1 : 1.5 ($1.5N_{A_0} = N_{B_0}$)

$$\frac{dC_A}{dt} = -kC_A^{\alpha+\beta} \times \left(\frac{1.5-x}{1-x}\right)^\beta \quad (4.11)$$

$$\text{โดยที่ } k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}} \quad (4.12)$$

ค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่เวลาต่างๆ ที่คำนวณไว้ข้างต้นจะยังติดค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 4 ตัว คือ α β k_0 และ E ซึ่งจะทำให้การหาค่าของตัวแปรเหล่านี้ ด้วยวิธีการสุ่มค่า (Trial and error) โดยใช้เครื่องมือหาผลเฉลย (Solver) ใน Microsoft Excel โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมคือ ค่าที่ทำให้ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน หรือค่าผลบวกกำลังสองของผลต่าง ระหว่างความเข้มข้นของกรดไขมันจากผลการทดลองกับค่าความเข้มข้นของกรดไขมันที่ คำนวณได้ของทุกสภาวะการทดลองมีค่าน้อยที่สุด โดยกำหนดให้ค่า $h = 1$ นาที

พบว่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าซึ่งเป็นพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ในสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันที่หาได้ในงานวิจัยนี้มีค่าดังตารางที่ 4.1

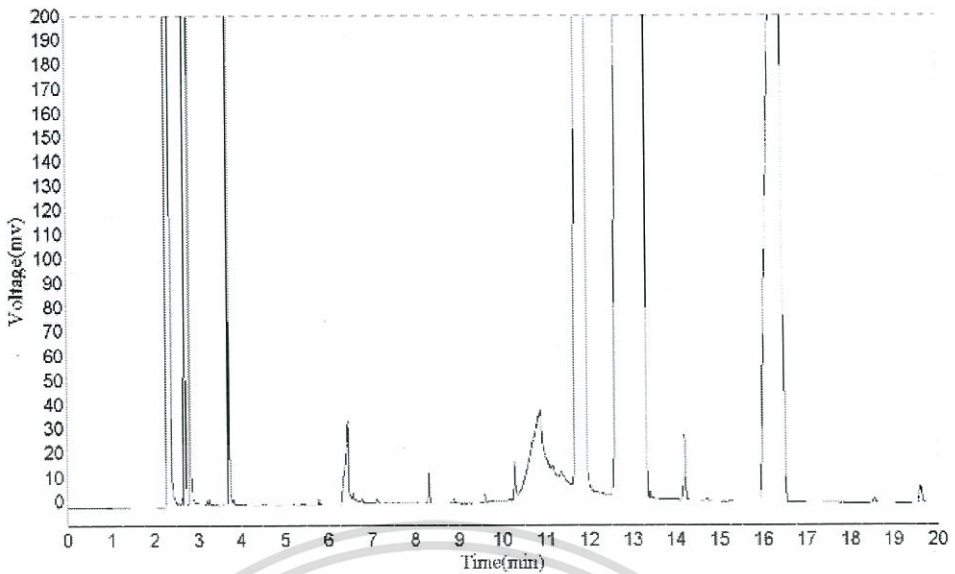
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์

Alcohol	α	β	k_0	E (J/mol)	S_E
Octanol	0.7370	0.7774	139.76	11397.99	1.2171
2-ethyl hexanol	0.7603	0.2000	0.4969	12066.80	1.1794

4.1.5 ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

จากการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของสารตั้งต้นในน้ำมันเอสเทอร์สังเคราะห์ ชนิดออกทิลลอเรต และ 2-เอทิลเฮกซิลลอเรต ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี คอลัมน์ DB-5HT ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นตัวพา ซึ่งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิตั้งนี้ อุณหภูมิคอลัมน์ 100 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 250 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ซึ่งจะได้กราฟโครมาโตแกรมของน้ำมันพบว่าพีคของสารตัวอย่างมีการแยกกันอย่างชัดเจนที่ ระยะเวลาต่างๆ ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



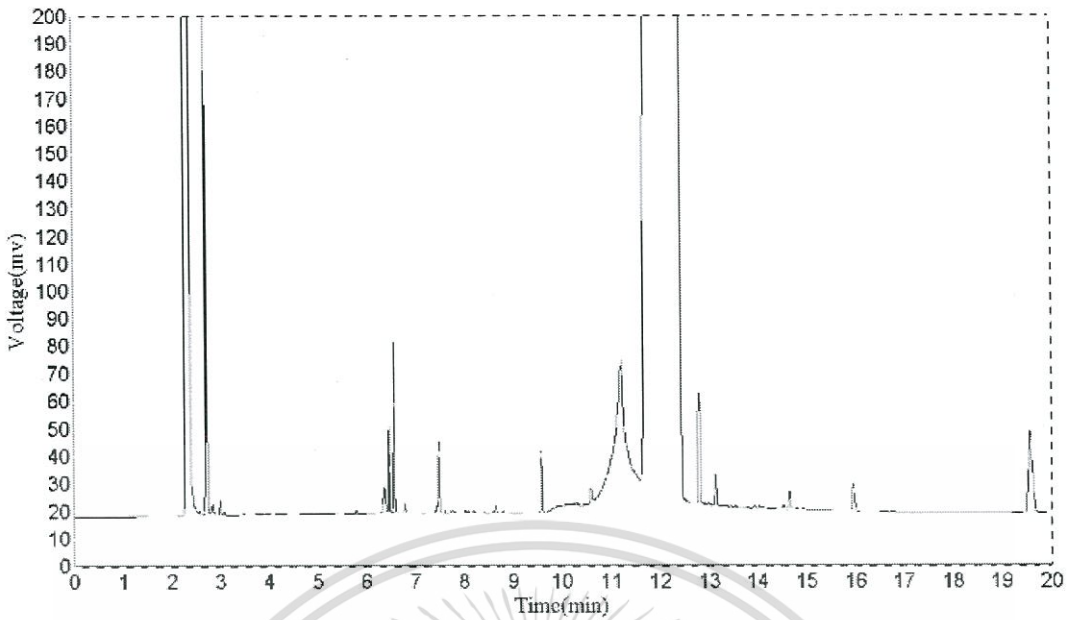
รูปที่ 4.6 กราฟโครมาโตแกรมของน้ำมันออกทิลลอเรต

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของกราฟโครมาโตแกรมของน้ำมันออกทิลลอเรตพบว่า องค์ประกอบของออกทิลลอเรตที่จำแนกได้นั้น ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ออกมาอยู่ในช่วง 2.3 ถึง 22.2 นาที โดยสารออกทานอลเกิดพีคที่เวลา 2.7 นาที กรดลอริกเกิดพีคที่เวลา 6.5 นาที และกรดปาล์มมิติกเกิดพีคที่เวลา 10.9 นาที โดยน้ำมันออกทิลลอเรตมีสัดส่วนโดยน้ำหนักของสารตั้งต้นต่อกรดปาล์มมิติกที่เหลืออยู่ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารตั้งต้นต่อกรดปาล์มมิติกที่เหลืออยู่ของน้ำมันออกทิลลอเรต

ชนิดของสารตั้งต้น	ปริมาณสารตั้งต้นที่เหลือ
กรดลอริก	0.89%
ออกทานอล	1.41%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟโครมาโตแกรมของน้ำมัน 2-เอทิลเฮกซิลอะซิเตต

จากการศึกษาโครมาโตแกรมของน้ำมัน 2-เอทิลเฮกซิลอะซิเตต พบว่าองค์ประกอบที่จำแนกได้นั้นใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ออกมาอยู่ในช่วง 2.3 ถึง 19.6 นาที ซึ่งสาร 2-เอทิล-เฮกซานอลเกิดพีคที่เวลา 2.7 นาที กรดลอริกเกิดพีคที่เวลา 6 นาที และกรดปาล์มมิติกเกิดพีคที่เวลา 10.3 นาที โดยน้ำมัน 2-เอทิลเฮกซิลอะซิเตตมีส่วนผสมโดยน้ำหนักของสารตั้งต้นต่อกรดปาล์ม-มิติกที่เหลืออยู่ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารตั้งต้นต่อกรดปาล์มมิติกที่เหลืออยู่ของน้ำมัน 2-เอทิลเฮกซิลอะซิเตต

ชนิดของสารตั้งต้น	ปริมาณสารตั้งต้นที่เหลือ
กรดลอริก	0.4 %
2-เอทิลเฮกซานอล	2.47%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า

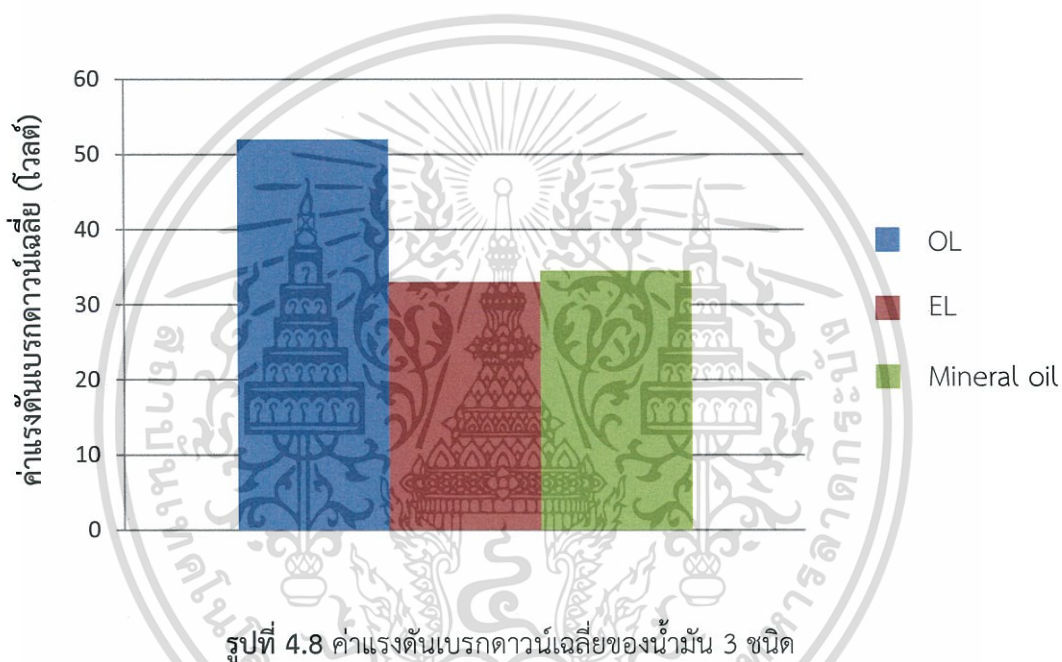
เมื่อนำน้ำมันเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ทั้ง 2 ชนิด มาทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า 3 รายการได้แก่

- 1 Breakdown voltage test ตามมาตรฐาน IEC 60156
- 2 Dielectric dissipation factor test ตามมาตรฐาน IEC 60247
- 3 Partial discharge ตามมาตรฐาน IEC 60270

โดย OL คือ ออกทิลลอเรต (octyl laurate)

EL คือ 2-เอทิลเฮกซิลลอเรต (2-ethyl hexyl laurate)

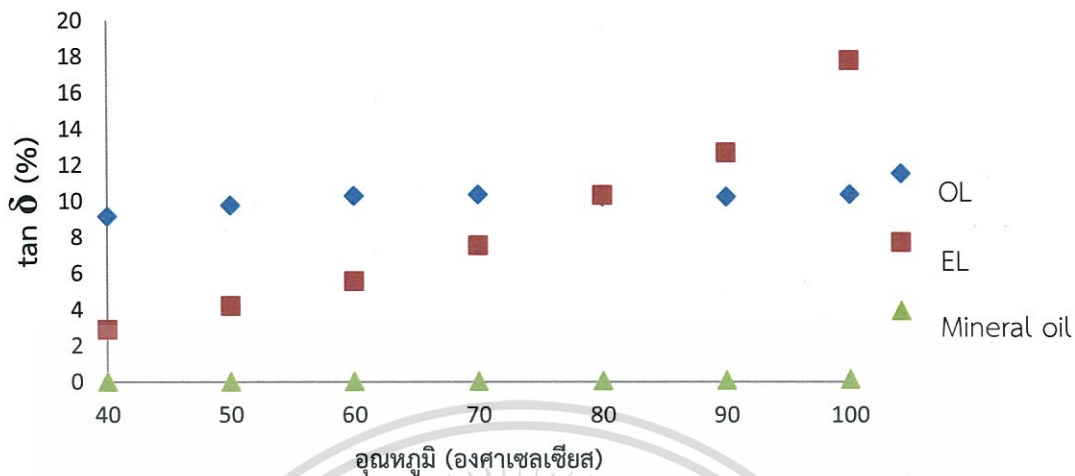
4.2.1 Breakdown voltage test ตามมาตรฐาน IEC 60156



จากรูปที่ 4.8 พบว่าน้ำมัน OL มีค่าความคงทนต่อการเสถียรภาพความเป็นฉนวน หรือค่าความคงทนต่อแรงดันเบรกดาวน์สูงสุด มากกว่า 50,000 โวลต์ ซึ่งสูงกว่าน้ำมัน EL และ Mineral oil ประมาณ 20,000 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 Dielectric dissipation factor test ตามมาตรฐาน IEC 60247

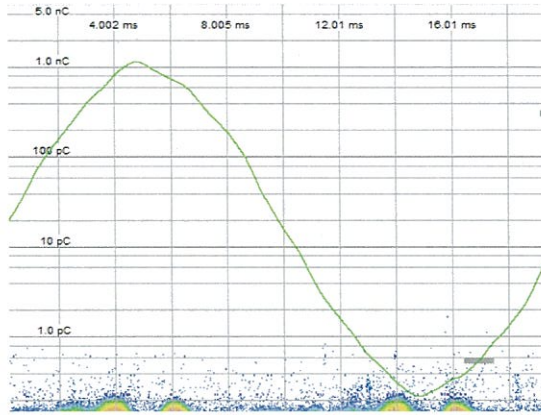


รูปที่ 4.9 ค่าแฟกเตอร์กำลังสูญเสียไดอิเล็กตริกที่อุณหภูมิต่างๆ

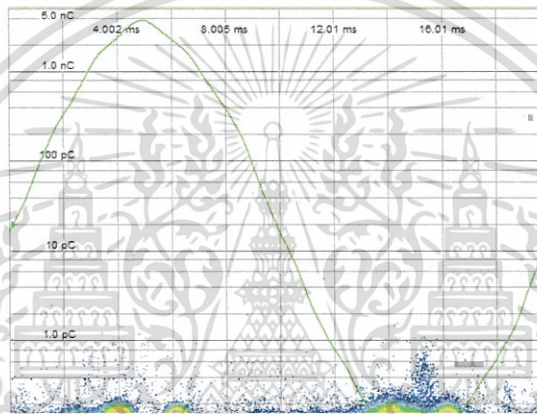
จากรูปที่ 4.9 พบว่าค่าแฟกเตอร์กำลังสูญเสียไดอิเล็กตริก ($\tan \delta$) ของ mineral oil มีค่าต่ำมาก (เข้าใกล้ศูนย์) ที่ทุกอุณหภูมิ ในขณะที่น้ำมัน OL และ EL มีค่าแฟกเตอร์กำลังสูญเสียไดอิเล็กตริก ($\tan \delta$) ที่สูงกว่าน้ำมันแร่มาก ซึ่งแสดงถึงการทำให้เกิดการสูญเสียทางความร้อนที่ฉนวน (ฉนวนในที่นี้คือน้ำมันในหม้อแปลงไฟฟ้า) มากกว่าน้ำมันแร่ ซึ่งถือเป็นคุณสมบัติที่ต้องปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในหม้อแปลงไฟฟ้ามากขึ้น

4.2.3 Partial discharge ตามมาตรฐาน IEC 60270

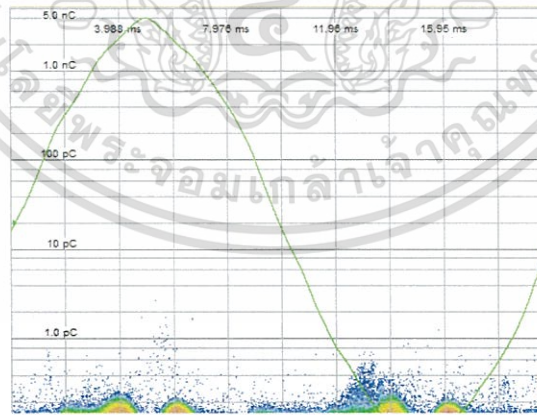
จากการทดสอบการเกิดดิสชาร์จบางส่วนของน้ำมันเอสเทอร์ 2 ชนิด ได้ผลดังรูปที่ 4.10 ถึง 4.15 ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่างๆ และจากรูปที่ 4.10-4.12 แสดงพฤติกรรมของการเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของ OL ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่างๆดังนี้



รูปที่ 4.10 การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของ OL ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 20 kV



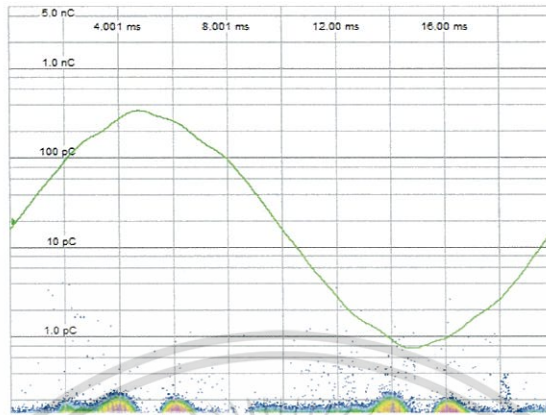
รูปที่ 4.11 การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของ OL ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 22 kV



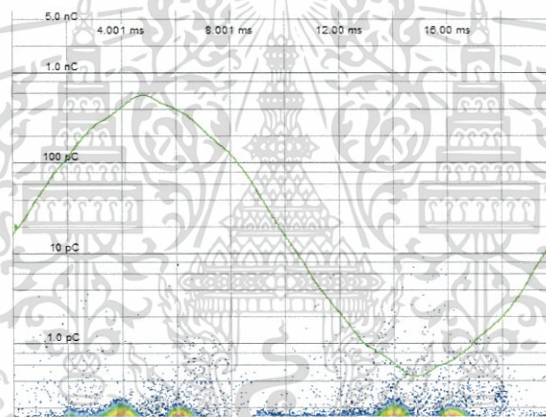
รูปที่ 4.12 การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของ OL ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 24 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

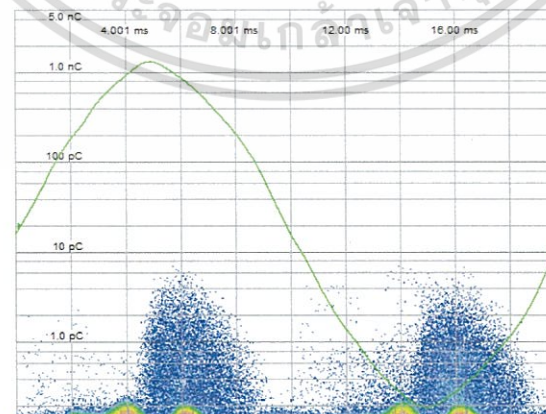
จากรูปที่ 4.13-4.15 แสดงพฤติกรรมเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของ EL ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่างๆดังนี้



รูปที่ 4.13 การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของ EL ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 16 kV



รูปที่ 4.14 การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของ EL ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 18 kV



รูปที่ 4.15 การเกิดการดิสชาร์จบางส่วนของ EL ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 20 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบพบว่าเกิดการติสซาร์จบางส่วนนั้นเพิ่มขึ้นตามระดับแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่าง OL กับ EL พบว่า OL มีระดับแรงดันไฟฟ้าการเกิดติสซาร์จบางส่วนที่สูงกว่า และมีขนาดการเกิดติสซาร์จที่ต่ำกว่าในระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน จากผลการทดสอบการเกิดการติสซาร์จบางส่วนดังรูปที่ 4.10 เปรียบเทียบกับผลการทดสอบดังรูปที่ 4.15 จึงสรุปได้ว่า OL มีคุณสมบัติความเป็นฉนวนทางไฟฟ้าที่ดีกว่า EH



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดลอริกกับ 2-เอทิลเฮกซานอลและปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดลอริกกับออกทานอล ได้ทำการศึกษาดำเนินการเก็บข้อมูลจากผลการทดลองแล้วหาค่าพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ โดยในการทดลองได้ทำการทดลองในสภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศที่ 4 เซนติเมตรปรอทสัมบูรณ์ และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส จึงทำให้สามารถดึงน้ำออกจากปฏิกิริยาได้มากและสมมติว่าปฏิกิริยานี้ไม่มีการผันกลับ สมการอัตราที่ได้จึงเป็นสมการของปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่านั้น ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักของ กรดไขมัน โดยสมการอัตราที่ได้คือ $-r_{OC} = k \times C_{LA}^{0.47} C_{OC}^{1.1}$ กรัมโมลกรดไขมันอิสระ/ลิตร นาที เมื่อ $k_{OC} = 0.692e^{\left(\frac{13827.89}{RT}\right)}$ และ $-r_{EH} = k \times C_{LA}^{0.74} C_{EH}^{0.26}$ กรัมโมลกรดไขมันอิสระ/ลิตร นาที เมื่อ $k_{EH} = 0.603e^{\left(\frac{12594.56}{RT}\right)}$ โดยมีการวิเคราะห์ความถดถอยพบว่ามีความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของ 2-เอทิลเฮกซานอลเป็น 0.404 และออกทานอลเป็น 0.340 และพบว่าที่สภาวะอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันอิสระต่อแอลกอฮอล์ 1:1.5 โดยโมล ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงขึ้น ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส เมื่อศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันอิสระต่อแอลกอฮอล์ที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแอลกอฮอล์ให้มากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดได้เร็วขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณแอลกอฮอล์ทำให้ความเข้มข้นของกรดไขมันลดลง แต่ในทางกลับกันเมื่อเพิ่มปริมาณกรดไขมันให้มากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช้าลง

การศึกษาเมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของสารตั้งต้นที่เหลืออยู่ในน้ำมันเอสเทอร์สังเคราะห์ โดยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี พบว่าในน้ำมันออกทิลลอเรต มีปริมาณกรดลอริกเหลืออยู่ 0.89% ปริมาณออกทานอลเหลืออยู่ 1.41% และพบว่าในน้ำมัน 2-เอทิลเฮกซิลลอเรต มีปริมาณกรดลอริกเหลืออยู่ 0.40% ปริมาณ 2-เอทิลเฮกซานอลเหลืออยู่ 2.47% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยน้ำมันออกทิลลอเรตมีปริมาณของออกทานอลที่เหลือต่ำกว่าปริมาณของ 2-เอทิลเฮกซานอล เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางไฟฟ้าพบว่า พบว่าน้ำมันออกทิลลอเรตมีค่าการแปรสภาพจากฉนวนไฟฟ้าเป็นตัวนำไฟฟ้าต่ำกว่า หรือมีค่าการเสียมของฉนวนที่ต่ำกว่าน้ำมัน 2-เอทิลเฮกซิลลอเรต ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของน้ำมันถ่ายเทความร้อนในหม้อแปลงไฟฟ้า คือ ความเป็นฉนวนสูง นำไฟฟ้าได้ต่ำ โดยเมื่อพิจารณาความชื้นของหม้อแปลงแอลกอฮอล์ กับหม้อคาร์บอกซิลิกนั้นจะพบว่า หม้อคาร์บอกซิลิกมีสภาพชื้นที่สูงกว่าแต่เนื่องจากน้ำมันที่สังเคราะห์ใช้กรดลอริก เป็นหม้อคาร์บอกซิลิก ซึ่งโมเลกุลมีขนาดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหญ่ ทำให้สภาพผิวของโมเลกุลในหมู่คาร์บอกซิลิกอ่อนลง ความมีขี้ของหมู่แอลกอฮอล์จึงสูงกว่า สารที่มีขี้ว้นน้อยกว่าจึงมีการนำไฟฟ้าที่น้อย ความเป็นฉนวนสูง น้ำมันออกทิลลอเรตจึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานเป็นน้ำมันถ่ายเทความร้อนในหม้อแปลงไฟฟ้ามากกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการเก็บสารตัวอย่างต้องปิดปั๊มสุญญากาศก่อน จึงอาจทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำ ทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้
2. สารตัวอย่างที่เก็บขึ้นมาต้องทำการหยุดปฏิกิริยาโดยการนำไปลดอุณหภูมิหรือการหล่อเย็นก่อน จากนั้นจึงนำไปไทเทรต การหยุดปฏิกิริยาทำเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อน
3. การสังเคราะห์น้ำมันเอสเทอร์ควรทำที่อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์มากกว่ากรด เพราะจะทำให้ได้น้ำมันเอสเทอร์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระที่น้อยมาก จึงสามารถลดขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ก่อนการนำน้ำมันไปทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า
4. การสังเคราะห์น้ำมันเอสเทอร์ควรทำที่อุณหภูมิที่พอเหมาะ ไม่ควรใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป เพราะจะทำให้ไขมันเปลี่ยนสีซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำมัน
5. แอลกอฮอล์ทั้งสองชนิดนี้ สามารถทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง ควรใช้ความระมัดระวังในการทดลองให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ดาวัลย์ ฉิมภู. 2553. **ชีวเคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประดิษฐ์ มีสุข. 2538. **คู่มือปฏิบัติการเคมีอินทรีย์และชีวเคมีเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์
- ประหยัด โกมารทัต. 2542. **ชีวเคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สมพงษ์ จันทรโพธิ์ศรี. 2540. **เคมีอินทรีย์**. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
- Fogler, H. S. 2010. **Essentials of Chemical Reaction Engineering**.
New Jersey : Prentice Hall.
- Luyben, W. L. 2008. **Chemical Reactor Design and Control**.
Iowa : John Wiley and Sons.
- Martínez, M. 2554. **Synthesis of Biosurfactants: Enzymatic Esterification of Diglycerol and Oleic Acid. 1. Kinetic Modeling**. Madrid : Complutense University.
- Otera, J. 2010. **Esterification: Methods, Reactions, and Applications**.
California : Wiley-VCH.
- Rozali, S. H. 2558. **ELECTRICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF NEW INSULATING OIL FOR TRANSFORMER USING PURE COCONUT OIL**.
Universiti Teknologi Malaysia.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



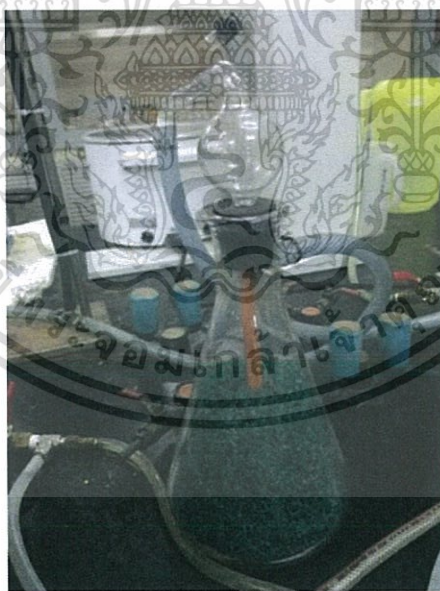
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ก.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน



รูปที่ ก.2 ซิลิกาเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 ปั๊มสุญญากาศ



รูปที่ ก.4 เครื่องกลั่นสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 เครื่องระเหยน้ำ



รูปที่ ก.6 เครื่องเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำเอทานอลที่เป็นกลางผสมกับน้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างตามตารางที่ ข.1 แล้วเติมฟีนอล์ฟทาลีน 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. นำมาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนกลายเป็นสีชมพู โดยไม่เปลี่ยนแปลงเป็นเวลา 30 วินาที
3. บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตไว้

การคำนวณ

1. เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ (% free fatty acid) ที่อยู่ในไขมันและน้ำมันส่วนใหญ่ จะอยู่ในรูปของกรดโอเลอิก กรดลอริก และกรดปาล์มติก

$$1.1 \text{ กรดไขมันอิสระในรูปของกรดโอเลอิก (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{V_{\text{NaOH}} \times C_{\text{NaOH}} \times 28.2}{W_{\text{oil}}} \quad (\text{ข.1})$$

$$1.2 \text{ กรดไขมันอิสระในรูปของกรดลอริก (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{V_{\text{NaOH}} \times C_{\text{NaOH}} \times 20.0}{W_{\text{oil}}} \quad (\text{ข.2})$$

$$1.3 \text{ กรดไขมันอิสระในรูปของกรดปาล์มติก (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{V_{\text{NaOH}} \times C_{\text{NaOH}} \times 25.6}{W_{\text{oil}}} \quad (\text{ข.3})$$

โดยที่ V_{NaOH} คือ ปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร)
 C_{NaOH} คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลาร์)
 W_{oil} คือ น้ำหนักของน้ำมัน (กรัม)

2. กรดไขมันอิสระสามารถแสดงในรูปของค่าความเป็นกรด (acid value) แทนเปอร์เซ็นต์ ของกรดไขมันอิสระ ค่าความเป็นกรดคือ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นมิลลิกรัม ที่ใช้ในการทำตัวอย่าง 1 กรัม ให้เป็นกลาง การจะเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ ให้อยู่ในรูปของค่าความเป็นกรดให้คูณด้วยด้วย 1.99

ภาคผนวก ค
สภาวะที่ทำการทดลอง

ตารางที่ ค.1 สภาวะที่ทำการทดลอง

สภาวะที่	อุณหภูมิ (°C)	อัตราส่วนโดยโมลของกรดลอริกต่อแอลกอฮอล์	
		2-เอทิลเฮกซานอล (2-ethyl hexanol)	ออกทานอล (octanol)
1	60	1:1	1:1
2	70	1:1	1:1
3	80	1:1	1:1
4	60	1.5:1	1.5:1
5	80	1.5:1	1.5:1
6	70	1:1.5	1:1.5

หมายเหตุ ทุกสภาวะทำการทดลอง ณ ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศที่ 4 เซนติเมตรปรอท
สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่เวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ ณ สภาวะต่างๆ กัน

สภาวะที่	ชนิดของแอลกอฮอล์	ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระ (โมลต่อลิตร)									
		0 นาที	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที	50 นาที	80 นาที	120 นาที	180 นาที	240 นาที
1	EH	2.62	2.59	2.53	2.39	2.33	2.10	1.91	1.65	1.28	0.98
	OC	2.60	2.52	2.48	2.34	1.97	1.73	1.35	0.94	0.60	0.40
2	EH	2.62	2.58	2.34	2.17	2.00	1.83	1.56	1.08	0.75	0.52
	OC	2.60	2.45	2.31	2.04	1.74	1.26	0.90	0.53	0.34	0.27
3	EH	2.62	2.56	2.30	2.04	1.82	1.48	1.18	0.75	0.49	0.34
	OC	2.60	2.31	2.09	1.50	1.24	0.68	0.44	0.29	0.26	0.24
4	EH	2.97	2.88	2.75	2.61	2.42	2.15	1.99	1.67	1.44	1.25
	OC	3.01	2.96	2.88	2.64	2.13	1.82	1.62	1.50	1.42	1.42
5	EH	2.97	2.83	2.76	2.52	2.30	1.87	1.72	1.28	1.03	0.85
	OC	3.01	2.84	2.78	2.18	1.94	1.71	1.50	1.39	1.30	1.37
6	EH	2.14	2.08	1.96	1.92	1.80	1.47	1.07	0.73	0.30	0.17
	OC	2.16	2.03	1.92	1.74	1.21	1.11	0.66	0.25	0.06	0.03

หมายเหตุ ทุกสภาวะทำการทดลอง ณ ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ 4 เซนติเมตรปรอทสัมบูรณ์

การสร้างกราฟมาตรฐาน

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลการสร้างกราฟมาตรฐานของกรดลอริก

น้ำหนักสาร (กรัม)		พื้นที่พีค		สัดส่วนโดย น้ำหนักของ กรดลอริกต่อกรด ปาล์มมิติก	อัตราส่วนพื้นที่ พีคกรดลอริก ต่อกรดปาล์ม มิติก
กรดลอริก	กรดปาล์มมิติก	กรดลอริก	กรดปาล์มมิติก		
0.0245	0.05023	697281.1	1189234	0.487756	0.586328
0.01759	0.05075	764819.3	1624575	0.346601	0.470781
0.00142	0.05491	92991.46	1956218	0.025860	0.047536
0.01436	0.05293	491893.5	1661241	0.271302	0.296101

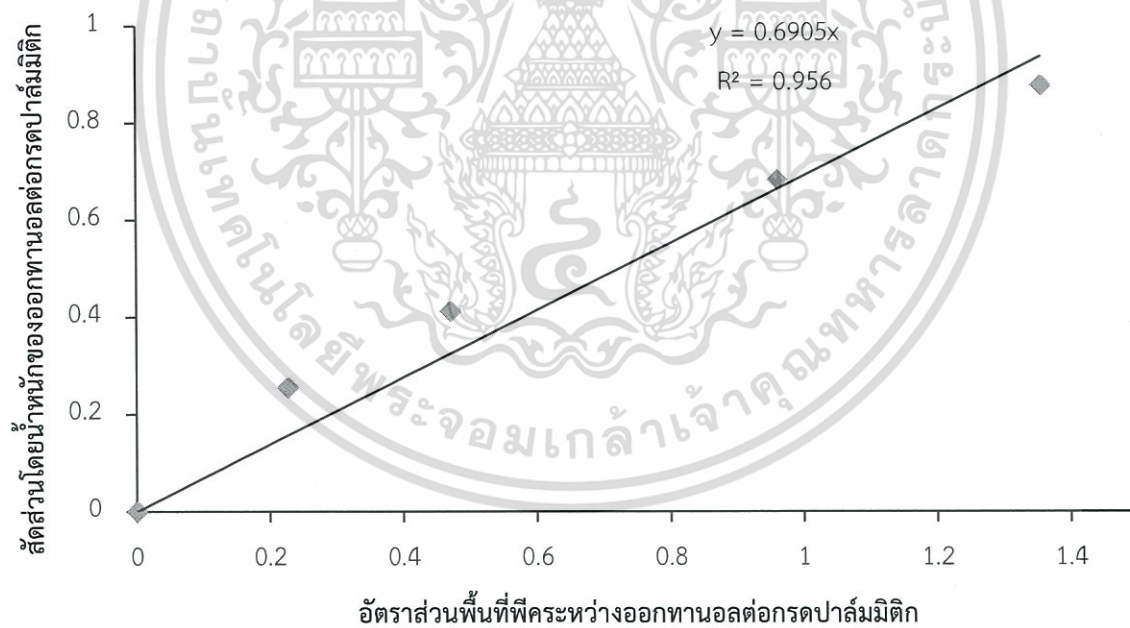


รูปที่ ค.1 กราฟมาตรฐานของกรดลอริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลการสร้างกราฟมาตรฐานของออกทานอล

น้ำหนักของสาร (กรัม)		พื้นที่พีค		สัดส่วนโดย น้ำหนักของ ออกทานอลต่อ ปาล์มมิติก	อัตราส่วน พื้นที่พีค ออกทานอล ต่อปาล์มมิติก
ออกทานอล	กรดปาล์มมิติก	ออกทานอล	กรดปาล์มมิติก		
0.04405	0.05023	1613613	1189234	0.876966	1.356851
0.02090	0.05075	764819.3	1624575	0.411823	0.470781
0.01411	0.05491	445043.5	1956218	0.254963	0.227502
0.03614	0.05293	1596951	1661241	0.682789	0.961300

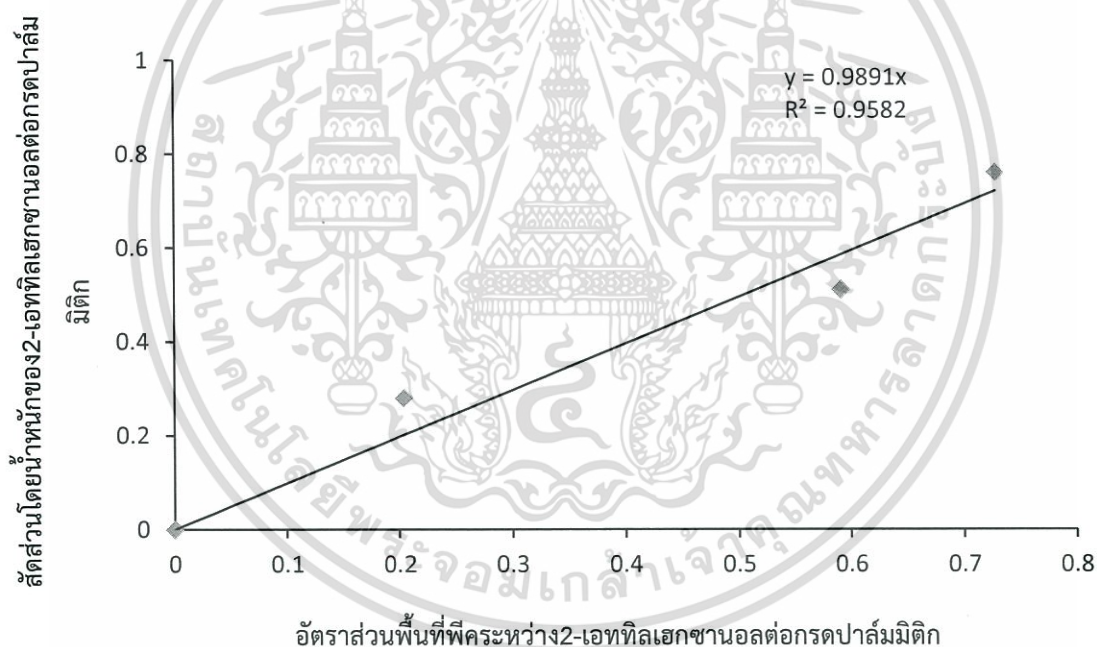


รูปที่ ค.2 กราฟมาตรฐานของออกทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลการสร้างกราฟมาตรฐานของ2-เอทิลเฮกซานอล

น้ำหนักของสาร (กรัม)		พื้นที่พีค		สัดส่วนโดย น้ำหนักของ ทูเอทิลเฮก ซานอลต่อ ปาล์มมิติก	อัตราส่วน พื้นที่พีค ทูเอทิลเฮก ซานอลต่อ ปาล์มมิติก
ทูเอทิล เฮกซานอล	กรดปาล์มมิติก	ทูเอทิล เฮกซานอล	กรด ปาล์มมิติก		
0.01421	0.05081	364792.3	1787035	0.279669	0.24133
0.03860	0.05083	922606.2	1266655	0.759394	0.72838
0.02556	0.05012	882190.3	1491936	0.509976	0.591306



รูปที่ ค.3 กราฟมาตรฐานของ2-เอทิลเฮกซิลลอเรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ข้อมูลดิบ

ตารางที่ ง.1 น้ำหนักสารตัวอย่างและปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทดลองของแอลกอฮอล์ชนิดออกทานอล

สภาวะ	น้ำหนักสารตัวอย่างและ ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์	ช่วงเวลาที่เก็บสารตัวอย่าง (นาที)									
		0	5	10	20	30	50	80	120	180	240
1	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	-	2	2	2	2	2.1	2	2.1	2	2
	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)	-	25	23	21.7	18.3	41.7	30.9	22.6	13.7	30.9
2	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	-	2	2.1	2.1	2	2.1	2	2	2.1	2.2
	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)	-	23.4	22.1	20.4	15.8	29.2	19.8	11.8	7.9	6.5
3	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	-	2	2	2.1	2	2	2	2.1	2	2
	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)	-	21.5	19.4	14.6	11.5	15.7	10	7	6	5.4
4	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)	-	28.8	27.2	24.9	20.1	41	36.5	33.8	31.9	31.9
5	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	-	2	2	2.1	2.1	2.1	2	2.1	2.1	2
	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)	-	26.8	26.2	21.6	19.2	40.2	33.7	32.8	30.7	30.8
6	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)	-	18.5	17.5	15.8	11	24	14.2	5.5	1.2	0.6
หมายเหตุ		NaOH 0.25 M					NaOH 0.1 M				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 น้ำหนักสารตัวอย่างและปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทดลองของแอลกอฮอล์ชนิด 2-เอทิลเฮกซานอล

สภาวะ	น้ำหนักสารตัวอย่างและ ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์	ช่วงเวลาที่เก็บสารตัวอย่าง (นาที)									
		0	5	10	20	30	50	80	120	180	240
1	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	-	1.6	1.6	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)	-	19.1	18.7	18.8	18.3	15.5	14.1	12.2	9.4	7.3
2	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	-	1.7	1.5	1.6	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7	1.6
	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)	-	20.3	16.3	16.1	15.7	14.4	11.5	8	5.9	3.8
3	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	-	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6	1.6	1.5	1.7
	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)	-	19	17.1	15.1	12.7	10.3	8.8	5.5	3.4	2.7
4	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	-	2	2	2	2	2.1	2	2.4	2.2	2
	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)	-	27.1	25.9	24.6	22.8	21.2	17.9	18.9	13.1	11.8
5	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	-	2.1	2.1	2.3	2.2	2.1	2	2	2.1	2.1
	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)	-	28.2	27.6	27.6	24.1	18.6	16.3	12.2	10.3	8.5
6	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	-	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7	1.6	1.5	1.6	1.6
	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)	-	16.8	15.8	14.5	13.6	11.8	8.1	5.2	2.2	1.3
	หมายเหตุ	NaOH 0.25 M									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การคำนวณที่เกี่ยวข้องในการทดลอง

กำหนดให้	มวลโมเลกุลของกรดลอริก	200.32	กรัม/โมล
	ความหนาแน่นของกรดลอริก	0.887	กรัม/มิลลิลิตร
	มวลโมเลกุลของ2-เอทิลเฮกซานอล	130.23	กรัม/โมล
	ความหนาแน่นของ2-เอทิลเฮกซานอล	0.833	กรัม/มิลลิลิตร
	มวลโมเลกุลของออกทานอล	130.23	กรัม/โมล
	ความหนาแน่นของออกทานอล	0.824	กรัม/มิลลิลิตร
	มวลโมเลกุลของกรดซัลฟิวริก	98.079	กรัม/โมล
	ความหนาแน่นของกรดซัลฟิวริก	1.84	กรัม/มิลลิลิตร
	ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้ ร้อยละ	98	โดยปริมาตร

ตัวอย่างการคำนวณจากสภาวะการทดลองที่ 1

จ.1. การคำนวณก่อนการทดลอง

จ.1.1. การคำนวณหาปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้

อัตราส่วนโดยโมลของกรดไขมันต่อแอลกอฮอล์เป็น 1 : 1

กรดลอริก 1 โมล

$$= 1 \text{ mol Lauric} \times \frac{200.32 \text{ g}}{1 \text{ mol Lauric}} = 200.32 \text{ g}$$

2-เอทิลเฮกซานอลหรือออกทานอล 1 โมล ในที่นี้ใช้ออกทานอล 1 โมล

$$= 1 \text{ mol Alcohol} \times \frac{130.23 \text{ g}}{1 \text{ mol Alcohol}} = 130.23 \text{ g}$$

ปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ

$$= 0.001 \frac{\text{gH}_2\text{SO}_4}{\text{gLauric}} \times 200.32 \text{ gLauric} \times \frac{1 \text{ mLH}_2\text{SO}_4}{1.84 \text{ gH}_2\text{SO}_4} \times \frac{1 \text{ mL}}{0.98 \text{ mLH}_2\text{SO}_4}$$

$$= 0.111 \text{ mL}$$

จ.1.2. การคำนวณหาปริมาณกรดลอริกเริ่มต้น

ปริมาณสารทั้งหมด = 200.32+130.23+0.2= 330.75 กรัม

$$\text{ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น} = \frac{200.32 \text{ g}}{330.75 \text{ g}} \times 100\% = 60.57\%$$

จ.1.3. การคำนวณหาความเข้มข้นของกรดลอริกเริ่มต้น

$$\text{ปริมาตรรวมเริ่มต้น} = \frac{200.32 \text{ g}}{0.887 \frac{\text{g}}{\text{ml}}} + \frac{130.23 \text{ g}}{0.824 \frac{\text{g}}{\text{ml}}} + 0.111 \text{ mL} = 383.997 \text{ mL}$$

$$\text{ความเข้มข้นของกรดลอริกเริ่มต้น} = \frac{1 \text{ mol}}{384 \text{ mL}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{\text{L}} = 2.6 \text{ mol/L}$$

จ.2. การคำนวณหลังการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระ ณ เวลา 30 นาที

น้ำหนักสารตัวอย่าง 2.1 กรัม ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ 18.3 มิลลิลิตร

จ.2.1. การคำนวณหาปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก

กรดซัลฟิวริก 0.111 มิลลิลิตร

$$= 0.111 \text{ ml} \times 1.84 \frac{\text{g}}{\text{ml}_{\text{H}_2\text{SO}_4}} \times 0.98 \frac{\text{ml}_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{\text{ml}} = 0.2 \text{ g}$$

ในสารทั้งหมด 330.75 กรัม มีกรดซัลฟิวริก 0.2 กรัม

$$\text{ในสารทั้งหมด 2.1 กรัม มีกรดซัลฟิวริก } \frac{0.2 \text{ g} \times 2.1 \text{ g}}{330.75 \text{ g}} \text{ กรัม} = \frac{0.2 \text{ g} \times 2.1 \text{ g}}{330.75 \text{ g} \times 98.079 \text{ g}}$$

โมล

$$\text{กรดซัลฟิวริก} = \frac{0.2 \text{ g} \times 2.1 \text{ g}}{330.75 \text{ g} \times 98.079 \text{ g}} \text{ โมล ให้โปรตอน} = 2 \times \frac{0.2 \text{ g} \times 2.1 \text{ g}}{330.75 \text{ g} \times 98.079 \text{ g}} \text{ โมล}$$

ดังนั้นปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก

$$= 2 \times \frac{0.2 \text{ g} \times 2.1 \text{ g}}{330.75 \text{ g} \times 98.079 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ L}}{0.1 \text{ mol}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} = 0.259 \text{ ml}$$

จ.2.2. การคำนวณหาปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับกรดลอริก

ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับกรดลอริกเท่ากับปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างลบออกด้วยปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก ดังนั้นปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับกรดลอริกมีค่า

$$= 18.3 - 0.259 = 18.041 \text{ ml}$$

จ.2.3. การคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระ

$$\text{จากสมการที่ (จ.2) ปริมาณกรดไขมันอิสระ} = \frac{18.041 \times 0.25 \times 20.0}{2.1} = 42.955\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.3 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนพื้นที่ที่พืช

ตารางที่ จ.1 พื้นที่พืชของสารละลายตัวอย่าง

ชนิดน้ำมันเอสเทอร์ สังเคราะห์	ชนิดของสาร	พื้นที่ที่พืช
น้ำมันออกทิลลอเรต	ออกทานอล	448159.813
	กรดลอริก	238660.297
	กรดปาล์มมิติก	1093451.125
น้ำมัน2-เอทิลเฮกซิลออเรต	2 – เอทิลเฮกซานอล	512561.563
	กรดลอริก	100242.39
	กรดปาล์มมิติก	1024648.188

- **คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนพื้นที่ที่พืช**

น้ำมันออกทิลลอเรต

$$\frac{\text{พื้นที่ที่พืชกรดลอริก}}{\text{พื้นที่ที่พืชกรดปาล์มมิติก}} = \frac{238660.297}{1093451.125} = 0.2183$$

$$\frac{\text{พื้นที่ที่พืชออกทานอล}}{\text{พื้นที่ที่พืชกรดปาล์มมิติก}} = \frac{448159.813}{1093451.125} = 0.4099$$

น้ำมัน2-เอทิลเฮกซิลออเรต

$$\frac{\text{พื้นที่ที่พืชกรดลอริก}}{\text{พื้นที่ที่พืชกรดปาล์มมิติก}} = \frac{100242.39}{1024648.188} = 0.0978$$

$$\frac{\text{พื้นที่ที่พืช2-เอทิลเฮกซานอล}}{\text{พื้นที่ที่พืชกรดปาล์มมิติก}} = \frac{512561.563}{1024648.188} = 0.5002$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คำนวณหาสัดส่วนโดยน้ำหนักของแต่ละสารจากกราฟมาตรฐาน

$$Y_1 = 0.8129X_1$$

โดย Y_1 = อัตราส่วนของสัดส่วนโดยน้ำหนักของกรดลوريคต่อปาล์มมิติก
 X_1 = อัตราส่วนพื้นที่พีระหว่างกรดลوريคต่อกรดปาล์มมิติก

$$Y_2 = 0.6905X_2$$

โดย Y_2 = อัตราส่วนของสัดส่วนโดยน้ำหนักของออกทานอลต่อปาล์มมิติก
 X_2 = อัตราส่วนพื้นที่พีระหว่างออกทานอลต่อกรดปาล์มมิติก

$$Y_3 = 0.9891X_3$$

โดย Y_3 = อัตราส่วนของสัดส่วนโดยน้ำหนักของ2-เอทิลเฮกซานอลต่อปาล์มมิติก
 X_3 = อัตราส่วนพื้นที่พีระหว่าง2-เอทิลเฮกซานอลต่อกรดปาล์มมิติก

น้ำมันออกทิลลอเรต

สัดส่วนโดยน้ำหนักของกรดลوريคต่อกรดปาล์มมิติก = 0.8129×0.2183
 = 0.1775 กรัม
 ปริมาณกรดลوريคในน้ำมันออกทิลลอเรต 1 กรัม = 0.1775×0.05
 = 0.008875 กรัม
 เปอร์เซ็นต์กรดลوريคในน้ำมันออกทิลลอเรต = 0.89 %

สัดส่วนโดยน้ำหนักของออกทานอลต่อกรดปาล์มมิติก = 0.6905×0.4099
 = 0.2830 กรัม
 ปริมาณออกทานอลในน้ำมันออกทิลลอเรต 1 กรัม = 0.2830×0.05
 = 0.01415 กรัม
 เปอร์เซ็นต์ออกทานอลในน้ำมันออกทิลลอเรต = 1.41 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมัน2-เอทิลเฮกซิลลอเรต

สัดส่วนโดยกรดลอริกน้ำหนักของต่อกรดปาล์มมิติก	= 0.8129×0.0987
	= 0.0802 กรัม
ปริมาณกรดลอริกในน้ำมัน2-เอทิลเฮกซิลลอเรต 1 กรัม	= 0.0802×0.05
	= 0.00401 กรัม
เปอร์เซ็นต์กรดลอริกในน้ำมัน2-เอทิลเฮกซิลลอเรต	= 0.4 %

สัดส่วนโดยน้ำหนักของ2-เอทิลเฮกซานอลต่อกรดปาล์มมิติก	= 0.9891×0.5002
	= 0.4947 กรัม
ปริมาณ2-เอทิลเฮกซานอลในน้ำมัน2-เอทิลเฮกซิลลอเรต 1 กรัม	= 0.4947×0.05
	= 0.02474 กรัม
เปอร์เซ็นต์2-เอทิลเฮกซานอลในน้ำมัน2-เอทิลเฮกซิลลอเรต	= 2.47 %



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้