สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ

ESTERIFICATION OF FREE FATTY ACID

นายเดชารัตน์ บุญเกื้อสงค์

นางสาวสุพิชฌาย์ จันขัน

วิทย
ด.ช.ว.ป
2551

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104205
วัน,เดือน,ปี 30 ต.ค. 2552

b 12106823
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ESTERIFICATION OF FREE FATTY ACID

DECHARAT BOONKUASONG

SUPICHCHA JANKAN

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSITUTUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ

โดย นายเคชารัตน์ บุญเกื้อสงค์

นางสาวสุพิชฌาย์ จันขัน

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ

(ดร. พรสวรรค์ กาญจนวณิชย์กุล)

.....กรรมการ

(อ. ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ

โดย นายเดชารัตน์ บุญเกื้อสงค์

นางสาวสุพิชฌาย์ จันขัน

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุซึ่งภายในเครื่องปฏิกรณ์บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์โดยป้อนปริมาณกรดไขมันอิสระเข้าทำปฏิกิริยากับเมทานอล ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันนี้ได้ผลิตภัณฑ์คือเมทิลเอสเทอร์ โดยการทดลองศึกษาตัวแปร 3 ตัวแปร คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งในการทดลองใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ 31.5:1 และ 94.6:1 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 80 และ 90 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที พบว่าเมื่อปริมาณเมทานอล อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะสามารถลดกรดไขมันอิสระลงได้ โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ 94.6:1 อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียสที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที สามารถลดกรดไขมันอิสระให้เหลือน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักได้และจากข้อมูลผลการทดลองสามารถหาค่าคงที่อัตราได้โดยใช้สมมติฐานว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยามูลฐานและเป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถผันกลับได้ซึ่งหาค่าคงที่อัตราได้เท่ากับ 0.32 และ 0.42 ลิตร^2/กิโลกรัมตัวเร่งปฏิกิริยา*โมล*ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Tile Esterification of Free Fatty Acid

By Mr. Decharat Boonkuasong

Miss Supichcha Jankan

Advisor Assoc. Prof. Dr. Prakob Kitchaiya

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

This project aims to study the reduction of free fatty acid by esterification. The esterification reaction was carried out by feeding free fatty acid and methanol into a packed-bed reactor filled with an ion-exchange resin catalyst. The esterification products were methyl ester (biodiesel) and water. Studied variables were reaction temperature, molar ratio between methanol and free fatty acid, and space time. The experiments were performed at 2 molar ratios of methanol/oil at 31.5:1 and 94.6:1, reaction temperatures of 80 $^{\circ}$C and 90 $^{\circ}$C, space time at 30 and 60 minutes. It was found that when molar ratio, temperature, and space time were increased, the amount of free fatty acid decreased. Free fatty acid could be reduced less than 1 % by weight at the experimental condition of methanol/oil molar ratio of 94.6:1, 80 and 90 $^{\circ}$C and space time of 60 minutes. The experimental data was analyzed base on an assumption that the reaction was an irreversible elementary reaction. The rate constant at temperature 80 and 90 $^{\circ}$C, was 0.32 and 0.42 liter^{2}/kg catalyst*mole*h, respectively

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ จากช่วยเหลือของบุคคลหลายท่านซึ่งทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สมบูรณ์

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์มให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้

ขอขอบคุณบริษัท โพลีเคม มาร์เก็ตติ้ง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เรซินแลกเปลี่ยนประจุเพื่อทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาแนะนำให้ความรู้แนวคิดในการแก้ปัญหา ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของปริญญานิพนธ์ตลอดการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือให้คำปรึกษาในการทำงาน รวมทั้งอำนวยความสะดวกเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ

ขอบคุณเพื่อนๆและพี่ๆที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านต่างๆ

หากมีสิ่งผิดพลาดประการใดในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

นายเดชารัตน์ บุญเกื้อสงค์

นางสาวสุพิชฌาย์ จันขัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

สัญลักษณ์ IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2

1.3 ขอบเขตโครงงาน 2

1.4 ขั้นตอนการศึกษาโครงงาน 2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ทฤษฎี 4

2.1.1 กรดไขมันปาล์ม 4

2.1.2 เมทิลเอสเทอร์ 4

2.1.3 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน 5

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน 5

2.1.5 กรดไขมันอิสระ 5

2.1.6 Space time 8

2.1.7 ค่าการแปลงผันทางเคมี 8

2.1.8 จลนพลศาสตร์เคมี 10

2.1.8.1 อันดับปฏิกิริยาและกฎอัตรา 10

2.1.8.2 ค่าคงที่อัตรา 11

2.1.9 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 14

2.2.1 การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากกรดไขมันปาล์ม 14

2.2.2 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิสระสูง โดยใช้ตัวเร่งแบบวิวิธพันธุ์ 14

2.2.3 การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันเมล็ดยาสูบ ที่มีกรดไขมันอิสระสูง 14

2.2.4 การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันเมล็ดยางพารา ที่มีกรดไขมันอิสระสูง 15

2.2.5 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินแลกเปลี่ยนประจุ 15

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 16

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทดลอง 16

3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำมันพืชผสม 19

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราห์ผล 21

4.1 ผลการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสมโดยใช้ปฏิกิริยา เอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ 21

4.2 ค่าการแปลงผันทางเคมีของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสม 23

4.3 ค่าพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ในสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา เอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสม 25

4.3.1 ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา 25

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 29

เอกสารอ้างอิง 30

ภาคผนวก ก อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 32

ภาคผนวก ข การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ 34

ภาคผนวก ค การคำนวณ 35

ค1. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 35

ค2. การหาเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ง ข้อมูลดิบ 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 กรดไขมันอิ่มตัวที่พบได้ทั่วไป 7

2.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบได้ทั่วไป 7

3.1 ข้อมูลลักษณะจำเพาะของเรซิน Lewatit GF 101 18

3.2 สภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน 19

4.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสมที่เหลืออยู่หลังจากการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน 21

4.2 ค่าการเปลงผันทางเคมีของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสม 24

4.3 ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส 27

4.4 ค่าการเปลงผันทางเคมีจากการทดลองและจากการคำนวณ 28

ข.1 น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง ปริมาตรของแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้กับปริมาณกรดไขมันอิสระในช่วงต่าง ๆ 34

ค.1 น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง ปริมาตรของแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้กับปริมาณกรดไขมันอิสระในช่วงต่างๆที่ใช้ในโครงงานนี้ 36

ง.1 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 1 37

ง.2 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 2 38

ง.3 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 3 38

ง.4 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 4 39

ง.5 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 5 39

ง.6 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 6 40

ง.7 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 7 40

ง.8 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 8 41

ง.9 ข้อมูลโดยสรุปจากผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสม 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน 5

2.2 แผนภาพเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ 12

3.1 แผนภาพกระบวนการทดลองเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ 17

4.1 ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่เหลือกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที 22

4.2 ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่เหลือกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที 23

4.3 กราฟเปรียบเทียบค่าการแปลงผันทางเคมีจากกการทดลองและค่าแปลงผันทางเคมี
จากการคำนวณ 28

ก.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ 32

ก.2 เครื่องให้ความร้อน 33

ก.3 เครื่องควบแน่น 33

ก.4 ปั๊มที่สามารถปรับอัตราการไหลได้ 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

A	ตัวคูณข้างหน้าเอ็กซ์โพเนนเชียล
A_C	พื้นที่หน้าตัดของเครื่องปฏิกรณ์
C_A	ความเข้มข้นของสาร A , โมล/ลิตร
C_B	ความเข้มข้นของสาร B , โมล/ลิตร
C_{FFA0}	ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระเริ่มต้น, โมล/ลิตร
C_{MeOH}	ความเข้มข้นของเมทานอลเริ่มต้น, โมล/ลิตร
d	ความหนาแน่นของสารละลาย, กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
E	พลังงานกระตุ้น, กิโลจูล/โมล
F_{A0}	อัตราไหลเชิงโมลของสาร A ที่เวลาเริ่มต้น, โมล/นาที
F_A	อัตราไหลเชิงโมลของสาร A ที่เวลาใดๆ, โมล/นาที
F_{FFA}	อัตราไหลเชิงโมลของกรดไขมันอิสระที่เวลาใดๆ, โมล/นาที
F_{FFA0}	อัตราไหลเชิงโมลของกรดไขมันอิสระที่เริ่มต้น, โมล/นาที
k_{FFA}	ค่าคงที่อัตราปฏิกิริยาไปข้างหน้าของกรดไขมันอิสระ, ลิตร^2/กิโลกรัม* โมล*ชั่วโมง
n	อันดับรวมของปฏิกิริยา
r_A	อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสาร A , โมล/กรัมของตัวเร่ง.นาที
r_{FFA}	อัตราการเกิดปฏิกิริยาของกรดไขมันอิสระ , โมล/กรัมของตัวเร่ง.นาที
t	เวลา,นาที
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์, เคลวิน
V	ปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์, ลิตร
v_0	อัตราการไหลของสายป้อน
W	น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา
X_A	ค่าการแปลงผันทางเคมีของสาร A
X_{eq}	ค่าการแปลงผันทางเคมีที่สมดุล
X_{FFA}	ค่าการแปลงผันทางเคมีของกรดไขมันอิสระ
α	อันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้นของสาร A
β	อันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้นของสาร B
Θ_B	อัตราส่วนโดยโมลของ B เทียบกับสาร A ที่เวลาเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)

Θ_{MeOH}	อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระที่เวลาเริ่มต้น
τ	เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันมีการบริโภคพลังงานเชื้อเพลิงปิโตรเลียมจำนวนมากเป็นผลให้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงอย่างรวดเร็ว โดยที่ปริมาณน้ำมันสำรองที่มีอยู่ สามารถใช้ได้อย่างจำกัดและมีราคาสูงตามภาวะเศรษฐกิจโลก ดังนั้นจึงเป็นความจำเป็นที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องหาแหล่งพลังงานใหม่เพื่อทดแทนน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักในการขับเคลื่อนเครื่องจักรและเครื่องยนต์ พลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ที่มนุษย์ได้เริ่มนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันได้แก่ แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) ซึ่งเกิดจากการผสมน้ำมันเบนซินหรือดีเซลด้วยแอลกอฮอล์ในสัดส่วนต่างๆแก๊สเอ็นจีวี (Natural gas for vehicle) เป็นแก๊สมีเทนที่ได้มาจากกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติและได้นำก๊าซมีเทนมาอัดลงถังด้วยความดันสูงซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ได้ ส่วนพลังงานทดแทนอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมคือน้ำมันดีเซลชีวภาพ (Biodiesel) เป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยน้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าน้ำมันดีเซลและยังมีความเป็นพิษต่อมนุษย์น้อยกว่าเพราะไม่มีองค์ประกอบของซัลเฟอร์ อีกทั้งปริมาณเขม่าที่เกิดขึ้นก็น้อยกว่าน้ำมันดีเซล [2]

กระบวนการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ มนุษย์เริ่มจากการทดลองนำน้ำมันพืช น้ำมันสัตว์หรือแม้แต่น้ำมันที่ผ่านการใช้แล้วจากการทอดอาหาร มาเปลี่ยนคุณสมบัติด้วยกระบวนการทางเคมีให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล กระบวนการทางเคมีคือปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) ของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่มีอยู่ในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ ซึ่งปฏิกิริยานี้ให้ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงคือกลีเซอรีนและเนื่องจากปัจจุบันน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ที่นำมาผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพมีราคาแพงขึ้นเนื่องจากสภาวะเศรษฐกิจดังนั้นจึงควรมองหาสารตั้งต้นชนิดอื่นที่จะสามารถทดแทนน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์หรือน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว

โดยงานวิจัยนี้สารตั้งต้นคือไตรกลีเซอไรด์ (หรือน้ำมันพืช) ผสมกรดไขมันอิสระโดยกรดไขมันอิสระได้มาจากกรดไขมันปาล์ม (Palm fatty acid distillate) หรือชื่อย่อคือ PFAD ซึ่งเป็นผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มให้บริสุทธิ์เพื่อการบริโภคและจัดได้ว่าเป็นวัตถุดิบอย่างหนึ่งที่สามารถนำมาผลิตเป็นเมทิลเอสเทอร์ได้เช่นเดียวกับน้ำมันพืช แต่มีราคาที่ต่ำกว่าเนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันอิสระร้อยละ 85 โดยน้ำหนักโดยอาศัยกระบวนการเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification process) ในการลดกรดไขมันอิสระจะนำน้ำมันพืชผสมกรดไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปาล์มและเมทานอลมาทำปฏิกิริยากันภายใต้อุณหภูมิและความดันค่าหนึ่ง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ซึ่งเป้าหมายคือต้องการลดกรดไขมันอิสระให้ได้ตามมาตรฐานของการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพคือมีกรดไขมันอิสระน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [1]

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาการลดกรดไขมันอิสระด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันที่เกิดภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุโดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (heterogeneous reaction)

1.2.2 ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระคืออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา (Space time)

1.3 ขอบเขตโครงงาน

1.3.1 ทำการทดลองเพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสมต่อการลดกรดไขมันอิสระด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยสามารถลดกรดไขมันอิสระให้ต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

1.3.2 หาค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสม

1.4 ขั้นตอนการศึกษาโครงงาน

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษาอุปกรณ์และสารตั้งต้นที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน เช่น ปั๊มสารเคมีที่ใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันพืชผสมกรดไขมันปาล์ม

1.4.3 หาสภาวะที่เหมาะสมในการลดกรดไขมันอิสระ

1.4.4 หาค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน

1.4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.6 สรุปผลการทดลองและจัดทำรายงานปริญญานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1.5.1 ลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสมจาก 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักให้เหลือกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

1.5.2 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระและเมทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.3 ข้อมูลพื้นฐานทางจลนศาสตร์ในการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระและเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุไปประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 กรดไขมันปาล์ม (Palm fatty acid distillate) [1]

เป็นผลผลิตพลอยได้ชนิดหนึ่งซึ่งได้จากกระบวนการกำจัดสารที่ให้กลิ่นและรสชาติออกจากน้ำมันปาล์ม (Deodorization process) กรดไขมันปาล์มมีสีน้ำตาลอ่อน ลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องเนื่องจากประกอบด้วย กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) และกรดโอเลอิก (Oleic acid) เป็นส่วนใหญ่ จัดได้ว่าเป็นวัตถุดิบอย่างหนึ่งที่สามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันดีเซลชีวภาพได้ เช่นเดียวกับน้ำมันปาล์มดิบ แต่มีราคาที่ถูกกว่า

การนำไปใช้ประโยชน์

1. ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตสบู่
2. การสกัดวิตามินอีในอุตสาหกรรมโอเลโอเคมีคอล (Oleochemical)
3. อุตสาหกรรมผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ
4. เป็นแหล่งพลังงานที่ดีสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง และสัตว์ปีก

2.1.2 เมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) [1-6]

เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid methyl ester) ผลิตมาจากน้ำมันพืชหรือสัตว์ โดยผ่านขบวนการทางเคมีกับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลหรือเอทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เป็นกรดหรือด่างภายใต้สภาวะที่เหมาะสมทำให้โมเลกุลของน้ำมันเล็กลงอยู่ในรูปของเมทิลเอสเทอร์ (Methyl esters) หรือเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl esters) และกลีเซอรีน

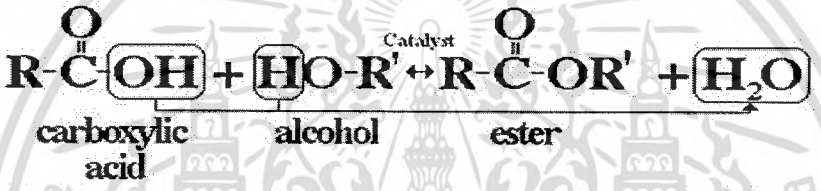
การเรียกชื่อขึ้นกับชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมทิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เมทานอลเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาหรือเอทิลเอสเทอร์เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เอทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยาเป็นต้น ซึ่งน้ำมันดีเซลชีวภาพมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ โดยตรงไม่มีผลกระทบกับเครื่องยนต์ในระยะยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification reaction) [1-5]

เป็นกระบวนการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดไขมันอิสระ(หมู่คาร์บอกซิลิก)และแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลหรือเอทานอลโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคือ เมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) และผลิตภัณฑ์ข้างเคียงคือ น้ำ ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.1

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่สามารถผันกลับได้ ดังนั้นจึงต้องเติมแอลกอฮอล์ให้มากเกินพอ หรือดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าและเกิดเมทิลเอสเทอร์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสูง แต่ข้อจำกัดคือใช้เวลานานและใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูง โดยจากงานวิจัยของ Ramadhas และคณะ (2005) ใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันในการลดกรดไขมันอิสระจากน้ำมันเมล็ดยางพารา ก่อนนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันต่อไป



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน [11]

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน [1-5]

1. อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์และน้ำมัน
2. ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน
3. ปริมาณและชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา
4. อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
5. เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
6. ปริมาณน้ำที่เกิดขึ้น

2.1.5 กรดไขมันอิสระ [7]

กรดไขมันอิสระเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีอะตอมของคาร์บอนเกาะกันเป็นเส้นตรง กรดไขมันอิสระในธรรมชาติมักมีอะตอมของคาร์บอนเป็นจำนวนคู่ ระหว่าง 4-24 อะตอม ที่พบมากคือ 16 และ 18 อะตอม มีสูตรทั่วไป RCOOH มี 2 ประเภทดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid)

เป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนกับคาร์บอนยึดเหนี่ยวด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมดแสดงไว้ดังตารางที่ 2.1 มีสูตรทั่วไปเป็น $C_nH_{2n}O_2$ หรือ $C_nH_{2n+1}COOH$ หรือเขียนสูตรได้เป็น $CH_3(CH_2)_nCOOH$ กรดไขมันอิ่มตัวที่พบมากที่สุด ได้แก่ กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) และกรดสเตียริก (Stearic acid)

ข. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid)

กรดไขมันไม่อิ่มตัว มีทั้งพันธะคู่และพันธะเดี่ยวในสายไฮโดรคาร์บอน แสดงไว้ดังตารางที่ 2.2 มีหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) 1 หมู่ต่ออยู่กับไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะคู่รวมอยู่ด้วย อาจมีตั้งแต่ 1 พันธะคู่ เรียกกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว และ 2 พันธะคู่ขึ้นไปเรียก กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน พันธะคู่ในกรดไขมันต้องอยู่ห่างกัน 2 คาร์บอน ดังนี้ –CH=CH-CH=CH- เสมอ กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุด ได้แก่ กรดโอเลอิก (Oleic acid) และกรดไลโนเลอิก (Linoleic acid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 กรดไขมันอิ่มตัวที่พบได้ทั่วไป [7]

Saturated Fatty Acids

Abbreviation	Systematic	Common Name	Formula
4:0	Butanoic	Butyric acid	$CH_3(CH_2)_2COOH$
6:0	Hexanoic	Caproic acid	$CH_3(CH_2)_4COOH$
8:0	Octanoic	Caprylic acid	$CH_3(CH_2)_6COOH$
10:0	Decanoic	Capric acid	$CH_3(CH_2)_8COOH$
12:0	Dodecanoic	Lauric acid	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$
14:0	Tetradecanoic	Myristic acid	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$
16:0	Hexadecanoic	Palmitic acid	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$
18:0	Octadecanoic	Stearic acid	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$
20:0	Eicosanoic	Arachidic acid	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$
22:0	Docosanoic acid	Behenic acid	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$
24:0	Tetracosanoic	Lignoceric acid	$CH_3(CH_2)_{22}COOH$

ตารางที่ 2.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบได้ทั่วไป [7]

Unsaturated Fatty Acids

Abbreviation	Systematic	Common Name	Formula
16:1	9-Hexadecenoic	Palmitoleic acid	$CH_3(CH_2)_5CH=CH(CH_2)_7COOH$
194.6 :1	9-Octadecenoic	Oleic acid	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$
18:2	9,12-Octadecadienoic	Linoleic acid	$CH_3(CH_2)_3(CH_2CH=CH)_2(CH_2)_7COOH$
18:3	9,12,15-Octadecatrienoic	α-Linolenic acid	$CH_3(CH_2CH=CH)_3(CH_2)_7COOH$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 Space time [8-9]

เราสามารถเขียนสมการออกแบบของเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลต่อเนื่องสำหรับระบบที่มีปริมาตรคงที่หรืออัตราการไหลเชิงปริมาตรคงที่ $(v = v_O)$ ในเทอมความเข้มข้นกับอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสายป้อน ดังนี้

เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ

$$V = \int_{C_{AO}v_o}^{C_A v_o} \frac{d(C_A v_o)}{r_A} = v_o \int_{C_{AO}}^{C_A} \frac{dC_A}{r_A} \quad \text{เมื่อ } v_0 \text{ มีค่าคงที่}$$

$$\frac{V}{v_0} = \int_{C_{AO}}^{C_A} \frac{dC_A}{r_A} \tag{2.1}$$

เมื่อพิจารณาเทอมด้านซ้ายมือของสมการจะพบว่า มีมิติเป็นเวลา นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความหมายของเทอมด้านขวามือของสมการที่ (2.1) ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้น เมื่อทำปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์ เราจึงกล่าวได้ว่า ปริมาณของสารตั้งต้นที่สามารถทำปฏิกิริยา ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง มีความสัมพันธ์กับมิติของ “เวลา”

การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมีแบบไหลต่อเนื่อง จะนิยามปริมาณที่มีมิติเป็นเวลานี้ว่า Space time (τ) หรือ Holding time ซึ่งหมายถึงเวลาที่สารป้อนใช้ในการเดินทางจากปากทางเข้าของเครื่องปฏิกรณ์ไปยังปากทางออกของเครื่องปฏิกรณ์

τ ขึ้นกับปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารแต่เนื่องจากภายในเครื่องปฏิกรณ์อาจมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของสารตามค่าการแปรผันทางเคมี อุณหภูมิ และความดัน ซึ่งทำให้อัตราการไหลเชิงปริมาตรเปลี่ยนแปลงไปเพื่อความสะดวก เราจึงนิยามค่า τ เทียบกับอัตราการไหลเชิงปริมาตร ณ ตำแหน่งปากทางเข้าของเครื่องปฏิกรณ์

$$\tau = \frac{V}{v_0} \tag{2.2}$$

2.1.7 ค่าการแปลงผันทางเคมี (Conversion,X_A หรือ X) [8-9]

“ค่าการแปลงผันทางเคมี” เป็นปริมาณที่บอกว่าปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าได้มากน้อยเพียงใด ในการพิจารณาค่าการแปลงผันทางเคมี เราต้องเลือกสารตั้งต้นหนึ่งชนิดเพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานในการคำนวณ (Basis of calculation) และพิจารณาสารอื่นที่เหลือโดยสร้างความสัมพันธ์เทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับสารตั้งต้นดังกล่าว ซึ่งโดยทั่วไปควรเลือกสารตั้งต้นที่ถูกใช้หมดไปเมื่อปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินจนสิ้นสุด (สารตั้งต้นที่เป็นตัวกำหนดปฏิกิริยา; limiting reactant) เป็นบรรทัดฐานในการคำนวณ

การพิจารณาว่าสารตั้งต้นชนิดใดเป็นสารตั้งต้นที่เป็นตัวกำหนดปฏิกิริยา ทำได้โดยพิจารณาจากสัดส่วนของสารตั้งต้นที่ถูกป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ตามหลักมวลสารสัมพันธ์ทั่วไป ดังนี้

สำหรับปฏิกิริยาเคมีทั่วไปในรูป

$$aA + bB \rightarrow cC + dD \tag{2.3}$$

เมื่อเลือกสาร A เป็นบรรทัดฐานในการคำนวณ เราจะคำนวณค่าต่างๆ เทียบกับเมื่อสาร A ที่ถูกใช้ไปในการทำปฏิกิริยา 1 โมล ดังนั้นเพื่อความสะดวกเราจะคำนวณสมการเคมีใหม่ในรูป

$$A + \frac{b}{a}B \rightarrow \frac{c}{a}C + \frac{d}{a}D \tag{2.4}$$

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าค่าการแปลงผันทางเคมีเป็นปริมาณที่บอกว่า ปฏิกิริยาดำเนินไปได้มากน้อยเพียงใดเรานิยาม ค่าการแปลงผันทางเคมีของสารตั้งต้น A (X_A) จากอัตราส่วน "จำนวนโมลของสาร A ที่ถูกใช้ไปในการทำปฏิกิริยา" ต่อ "จำนวนโมลของสาร A ที่ถูกป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์" ดังนี้

$$X_A = \frac{\text{moles of A reacted}}{\text{moles of A feed}} \tag{2.5}$$

เนื่องจากเราพิจารณาค่าการแปลงผันทางเคมีของสารต่าง ๆ และการดำเนินไปของปฏิกิริยาโดยเทียบกับค่าการแปลงผันทางเคมีของสาร A เพียงชนิดเดียวเท่านั้น เพื่อความสะดวกเราจึงใช้สัญลักษณ์ X_A หรือ X แทนกันได้ สำหรับระบบที่มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นเพียงปฏิกิริยาเดียว

ในกรณีปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ (Irreversible reaction) ปฏิกิริยาจะหยุดลงเมื่อสารตั้งต้นตัวใดตัวหนึ่งหมดไป ดังนั้นค่าการแปลงผันทางเคมีสูงสุดที่เป็นไปได้ คือ 1.0

ในกรณีปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ (Reversible reaction) ค่าการแปลงผันทางเคมีจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลของการทำปฏิกิริยา ค่าการแปลงผันทางเคมีก็จะมีค่าคงที่ ดังนั้นค่าการแปลงผันทางเคมีสูงสุดที่เป็นไปได้ คือ ค่าการแปลงผันทางเคมีที่สมดุล (Equilibrium conversion, X_{eq})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 จลนพลศาสตร์เคมี (Chemical kinetics) [8-9]

ปฏิกิริยาเคมีสามารถจำแนกตามลักษณะต่างๆ ได้ดังนี้

ก. จำนวนวัฏภาคที่เกี่ยวข้องในการทำปฏิกิริยา

1. ปฏิกิริยาเอกพันธ์ (Homogeneous reaction) เกิดขึ้นภายในระบบที่มีเพียงหนึ่งวัฏภาค

2. ปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous reaction) เกิดขึ้นภายในระบบที่มีหลายวัฏภาค โดยปฏิกิริยา จะดำเนินที่บริเวณรอบต่อของวัฏภาค หรือบริเวณใกล้เคียง

ข. การดำเนินไปของปฏิกิริยา

1. ปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ (Irreversible reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในทิศทางเดียว และจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสารตั้งต้นตัวใดตัวหนึ่งหมดไปจากระบบ

2. ปฏิกิริยาผันกลับได้ (Reversible reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ทั้งในทิศทางไปข้างหน้าและทิศทางย้อนกลับ โดยทิศทางการดำเนินของปฏิกิริยาจะขึ้นกับความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในระบบ และค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา

2.1.8.1 อันดับปฏิกิริยาและกฎอัตรา (Reaction order and rate law)

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารที่เกี่ยวข้องในการทำปฏิกิริยา หาได้จากการทดลองเท่านั้น แม้ว่าในบางครั้งเราอาจใช้ทฤษฎีใดที่สามารถยืนยันว่าความสัมพันธ์ที่ได้ถูกต้อง ดังนั้นการทำนายโดยใช้ทฤษฎีก็ยังจำเป็นต้องทำการทดลองเพื่อยืนยันความถูกต้องก่อนนำความสัมพันธ์ที่ได้ไปใช้งาน โดยทั่วไปความสัมพันธ์ดังกล่าวมักถูกเขียนในรูป **กฎอัตรา** (Rate law) หรือ **สมการอัตรา** (Rate equation) ตามสมการที่ (2.6) ซึ่งเป็นผลคูณของค่าคงที่อัตรากับความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ที่ทำปฏิกิริยากัน โดยตัวเลขยกกำลังที่กำกับความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดจะเป็นตัวชี้ว่าความเข้มข้นของสารชนิดนั้นมีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาอย่างไร และมากน้อยเพียงไร

$$-r_A = k_A C_A^{\alpha} C_B^{\beta} \qquad (2.6)$$

$$n = \alpha + \beta$$

เราเรียกตัวเลขยกกำลังดังกล่าวว่า **อันดับปฏิกิริยา** (Order of a reaction)

α คือ อันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้นของสาร A

β คือ อันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้นของสาร B

n คือ อันดับรวมของปฏิกิริยา (Overall reaction order)

เลขอันดับปฏิกิริยาอาจเป็นได้ทั้ง เลขบวก เลขลบ และไม่จำเป็นต้องเป็นเลขจำนวนเต็ม แต่โดยทั่วไปปฏิกิริยาที่มีอันดับ 1 หรือ 2 มากกว่าปฏิกิริยาที่มีอันดับ 3 , 0 หรือเลขติดลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8.2 ค่าคงที่อัตรา (Reaction rate constant)

การพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะต้องเลือกสารตั้งต้นที่เป็นตัวกำหนดปฏิกิริยา (Limiting reactant) เป็นบรรทัดฐานในการคำนวณและพิจารณาสารอื่นที่เหลือโดยสร้างความสัมพันธ์เทียบกับสารดังกล่าว เพื่อความสะดวกเราจะเลือกสาร A เป็นบรรทัดฐานในการคำนวณและกำหนดให้อัตราการหายไปของสาร A (Rate of disappearance of A) เนื่องจากการทำปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ $-r_A$

อัตราการหายไปของสาร A ($-r_A$) มีค่าขึ้นกับอุณหภูมิและสัดส่วนองค์ประกอบของสารภายในระบบ โดยทั่วไปจะเขียนได้ในรูปของผลคูณของ **ค่าคงที่อัตรา** (Reaction rate constant, k) กับความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำปฏิกิริยา ดังสมการที่ 2.7

$$-r_A = \left[k_A(T)\right]\left[f''(C_A, C_B, ...)\right] \tag{2.7}$$

เราเรียกสมการพีชคณิตที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $-r_A$ กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นว่า สมการอัตรา (Rate equation) และค่าคงที่อัตราที่ปรากฏอยู่ในสมการอัตราก็เป็นค่าที่คิดเทียบกับสารใดสารหนึ่งในระบบเสมอ เช่น k_A คือค่าคงที่อัตราที่คิดเทียบกับสาร A

ในกรณีที่สัมประสิทธิ์แสดงปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometric coefficient) ของสารทุกตัวในปฏิกิริยามีค่าเท่ากัน เช่น

$$1NaOH + 1HCl \rightarrow 1NaCl + 1H_2O \tag{2.8}$$

ค่าคงที่อัตราจะมีค่าเท่ากันทุกกรณีไม่ว่าจะคิดเทียบกับสารใด ($k = k_{NaOH} = k_{HCl} = k_{NaCl} = k_{H_2O}$) ดังนั้นเราอาจแทน $k_{NaOH} = k_{HCl} = k_{NaCl} = k_{H_2O}$ ได้ด้วย k โดยเรียก k นี้ว่า (Specific reaction rate constant)

ค่าคงที่อัตรา (k) เป็นค่าคงที่ซึ่งไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารต่างๆที่เกี่ยวข้องในการเกิดปฏิกิริยาเคมีแต่ว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความสัมพันธ์ของ Arrhenius ดังสมการที่ (2.9)

$$k_A(T) = Ae^{-E/RT} \tag{2.9}$$

เมื่อค่าพลังงานกระตุ้น (E) คือระดับพลังงานขั้นต่ำซึ่งโมเลกุลของสารตั้งต้นจะต้องมีเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ เพื่อพิจารณาจากทฤษฎีทางจลนพลศาสตร์ของแก๊สจะพบว่า $e^{-E/RT}$ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัดส่วนจำนวนครั้งการชนกันระหว่างโมเลกุลที่มีระดับพลังงานสูงเท่ากับหรือมากกว่าพลังงานกระตุ้น และเมื่อพิจารณาอย่างละเอียดอาจจะพบว่า

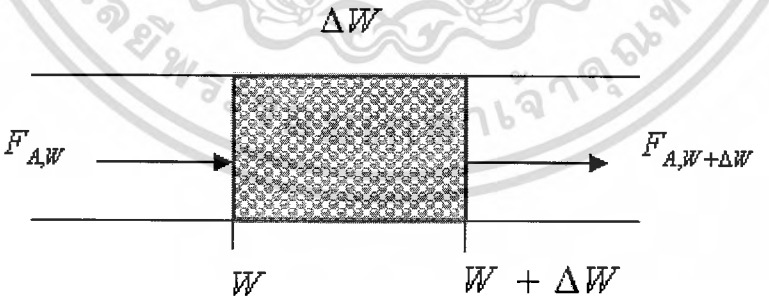
1. สำหรับปฏิกิริยาในวัฏภาคแก๊ส ค่าคงที่อัตรามีค่าขึ้นกับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เลือกใช้ และความดันรวมของระบบ
2. สำหรับปฏิกิริยาในวัฏภาคของเหลว ค่าคงที่อัตรามีค่าขึ้นกับความแข็งแรงของไอออน (Ionic strength) และการเลือกชนิดของตัวทำละลาย

อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปเรากล่าวได้ว่าค่าคงที่อัตราขึ้นกับอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยาเท่านั้น เนื่องจากอิทธิพลของตัวแปรอื่นที่มีต่อค่าคงที่อัตรานั้นมีน้อยมากเมื่อเทียบกับอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าคงที่อัตรา ดังนั้นเราจึงมักใช้สมการ (2.9) ในการอธิบายค่าคงที่อัตรา

2.1.9 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ (Packed-bed reactor) [8-9]

เมื่อมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งเพื่อเร่งปฏิกิริยาในสถานะแก๊ส (หรือของเหลว) ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวสัมผัสระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากับของไหลเท่านั้น เรามักจะนิยามอัตราการเกิดปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาเชิงเร่งที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นของแข็งเทียบกับมวลของตัวเร่งปฏิกิริยา (W) แทนการนิยามเทียบปริมาตรที่ทำปฏิกิริยา (V) ดังนั้นการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้จึงต้องการทราบน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องใช้เป็นหลัก

การสร้างสมการออกแบบสำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ ทำได้ในลักษณะเดียวกับการสร้างสมการออกแบบสำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อ เพียงแต่เปลี่ยนพิกัดที่พิจารณาจากพิกัดในแนว V เป็นพิกัดในแนว W (ดังในรูป 2.2)



รูปที่ 2.2 แผนภาพเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ

สมมติให้ของไหลภายในเครื่องปฏิกรณ์มีพฤติกรรมการไหลเป็นแบบ Plug flow กล่าวคือ ความเข้มข้นของสารเคมี และอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์จะมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวแกนตลอดความยาวเครื่องปฏิกรณ์แต่จะมีค่าคงที่ในแนวรัศมี ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาซึ่งเป็นฟังก์ชันของความเข้มข้นและอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงตามความยาวของเครื่องปฏิกรณ์เท่านั้น

เมื่อพิจารณาปริมาตรขนาดเล็กบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยามีน้ำหนักเท่ากับ ΔW ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ อุณหภูมิคงที่ ณ สภาวะคงตัว จะสามารถสร้างสมการดุลโมลของสาร A ได้ดังสมการที่ (2.10)

$$F_{A,W} - F_{A,W+\Delta W} + \int_{0}^{\Delta W} r_A dW = 0 \tag{2.10}$$

$$F_{A,W} - F_{A,W+\Delta W} + r_A \Delta W = 0 \tag{2.11}$$

เมื่อ r_A คือ อัตราการเกิดของสาร A และในปริมาตรเล็ก ๆ dw อัตราการเกิดปฏิกิริยามีอัตราที่เท่ากันหมดจะได้สมการ 2.11 ใหม่ ดังนี้

$$\frac{(F_{A,W} - F_{A,W+\Delta W})}{\Delta W} = r_A \tag{2.12}$$

เมื่อพิจารณาในช่วง $\Delta W \rightarrow 0$ จะได้สมการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ ดังสมการที่ (2.13)

$$\frac{dF_A}{dW} = r_A \tag{2.13}$$

หรือ

$$\frac{dF_A}{dW} = -kC_A^{\alpha} C_B^{\beta} \tag{2.14}$$

เมื่อ A คือสารตั้งต้นและมีอัตราการทำปฏิกิริยาแสดงได้ดังกฎอัตราดังนี้

$$r_A = -kC_A^{\alpha} C_B^{\beta} \tag{2.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากกรดไขมันปาล์ม [1]

S.Chongkhong และคณะ (2007) ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid methyl ester) จากกรดไขมันปาล์ม (Palm fatty acid distillate) ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันอิสระจำนวนมาก โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ 2 ชนิด คือ เครื่องปฏิกรณ์แบบกะและแบบต่อเนื่องโดยสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันแบบกะ คือใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 70-100 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลและกรดไขมันปาล์ม 0.4:1-12:1 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0-5.5% (น้ำหนักของกรดซัลฟิวริก/น้ำหนักของกรดไขมันปาล์ม) และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 15-240 นาที สำหรับสภาวะที่เหมาะสมของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง (CSTR) คือใช้อัตราส่วนโมลของเมทานอลและกรดไขมันปาล์ม 94.6 :1 กับ 1.834 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 70 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันค่าหนึ่งและใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที โดยเครื่องปฏิกรณ์ทั้ง 2 เครื่องสามารถลดกรดไขมันอิสระจาก 93 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เหลือกรดไขมันอิสระน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.2.2 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิสระสูงโดยใช้ตัวเร่งแบบวิวิธพันธุ์ [2]

J.M.Marchetti และคณะ (2006) ศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสมและเอทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์คือ เรซิน Dowex monosphere 550 A โดยน้ำมันพืชผสมมีปริมาณกรดไขมันอิสระ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน คือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเอทานอลและน้ำมันพืชผสม ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันพืชผสม จากการทดลองพบว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันสามารถเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้เป็นน้ำมันดีเซลชีวภาพได้ โดยงานวิจัยนี้ได้ค่าคอนเวอร์ชัน 80 เปอร์เซ็นต์

2.2.3 การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันเมล็ดยาสูบที่มีกรดไขมันอิสระสูง [3]

Veljkovic และคณะ (2006) ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยาสูบ (Tobacco seed oil) ที่มีกรดไขมันอิสระอยู่ในปริมาณสูง (ประมาณ 35 %) โดยใช้กระบวนการผลิต 2 ขั้นตอน คือใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนแรก พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเมล็ดยาสูบที่ 194.6 :1 ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส สามารถลดกรดไขมันอิสระจนเหลือน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ภายในเวลา 25 นาที จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนที่สองโดยใช้เบส (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากที่สุด คือ 91 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ภายในเวลา 30 นาที และเหลือปริมาณไตรกลีเซอไรด์ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันเมล็ดยางพาราที่มีกรดไขมันอิสระสูง [4]

Ramadhas และคณะ (2005) ได้ศึกษาการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดยางพาราที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูงในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ไม่สามารถใช้ด่างได้ เนื่องจากกรดไขมันอิสระเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับด่างอย่างรวดเร็วทำให้เกิดสบู่ ส่งผลให้เกิดการขัดขวางการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรีน ดังนั้นจึงเลือกใช้กระบวนการผลิต 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเลือกใช้กรดซัล ฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันเพื่อลดกรดไขมันอิสระให้น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และขั้นตอนที่สองใช้ด่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์จากขั้นตอนแรกให้ได้เป็นโมโนเอสเทอร์และกลีเซอรอล จากการศึกษาพบว่าค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

2.2.5 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินแลกเปลี่ยนประจุ [5]

Nalan Ozbay และคณะ (2007) ศึกษากระบวนการผลิตน้ำมันชีวภาพเพื่อแก้ไขการเกิดสบู่จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธุ์ Amberlyst-15 (A-15) , Amberlyst -35(A-35) , Amberlyst-16 (A-16) และ Dowex HCR-W2 ซึ่งทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการแปลงผันทางเคมีของกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเมื่อใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุชนิด A-15 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะมีค่าการแปลงผันทางเคมีสูงสุดเท่ากับ 45.7 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสมในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันเกิดขึ้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้

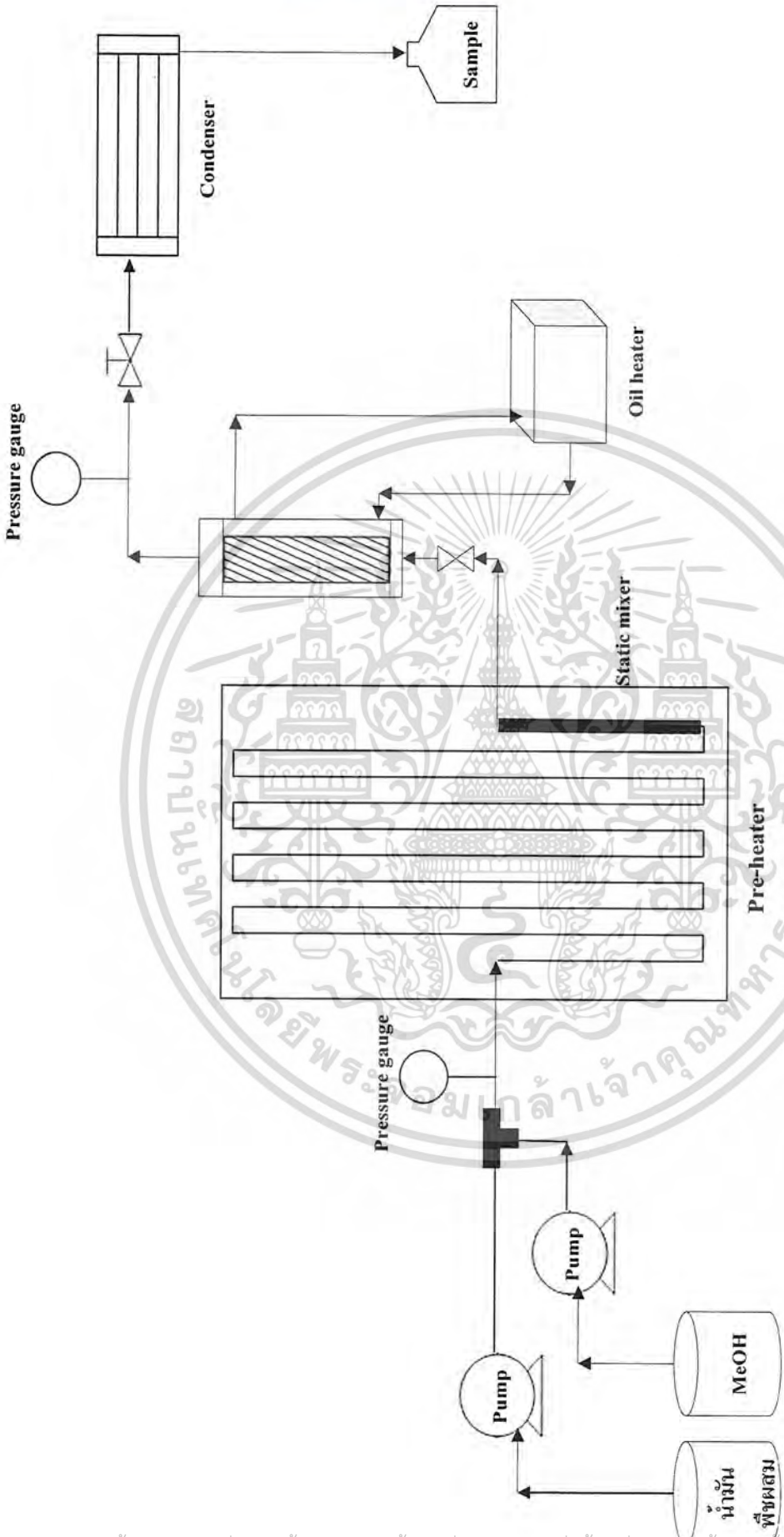
1. เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ
2. เครื่องควบแน่น (Condenser)
3. เครื่องให้ความร้อน (Oil heater)
4. ตู้อบ พร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller)
5. ปั๊มปรับอัตราการไหลได้
6. นาฬิกาจับเวลา
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก
8. กระบอกตวง
9. ท่อผสมสารตัวอย่าง (Static mixer)
10. วาล์วควบคุมอัตราการไหล
    10.1 Ball valve
    10.2 Gate valve
11. วาล์วควบคุมทิศทางการไหล
    11.1 วาล์ว 3 ทาง (Three ways valve)
12. ท่อสแตนเลส (Stainless tube) ขนาด 1/4"
13. ข้อต่อ (Union)
14. เรซิน Lewatit GF 101 มีคุณลักษณะตามตารางที่ 3.1

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำมันพืชผสมที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. เมทานอล 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.1 แผนภาพกระบวนการทดลองเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
104205

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลลักษณะจำเพาะของเรซิน Lewatit GF 101 [12]

รูปแบบไอออน	**H^+**
กลุ่มฟังก์ชัน	กรดซัลโฟนิก
โครงสร้าง	รูพรุนแบบมาโครพอร์
ขนาดของเม็ด	0.4 – 1.25 มิลลิเมตร
พื้นที่ผิว	35 ตารางเมตร / กรัม
ขนาดเฉลี่ยของรูพรุน	850 อังสตรอม
ความหนาแน่น	1.15 กรัม/มิลลิลิตร
Porosity	0.7 มิลลิลิตร / กรัม
Bulk density	760 กรัม/ลิตร

วิธีการทดลอง

1. ตรวจเช็คอุปกรณ์ก่อนทำการทดลอง
2. เตรียมน้ำมันพืชผสมที่มีกรดไขมันอิสระและเมทานอลในปริมาณที่ต้องการ
3. ตั้งอุณหภูมิเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) ที่อุณหภูมิ 85.5 องศาเซลเซียส ซึ่งเครื่องนี้จะประกอบด้วยตู้อบและเครื่องควบคุมอุณหภูมิมีหน้าที่อุ่นสารตั้งต้นก่อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์
4. ตั้งอุณหภูมิเครื่องให้ความร้อน (Oil heater) แก่เครื่องปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 86.5 องศาเซลเซียส
5. ปั๊มเมทานอลและกรดไขมันอิสระเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ด้วยอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระเท่ากับ 31.5:1 และปรับอัตราการไหลของของผสมให้มีเวลาในการทำปฏิกิริยา (Space time) เท่ากับ 30 นาที
6. เปิดน้ำเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิลดลง
7. บันทึกน้ำหนักเมทานอลและน้ำมันพืชผสมที่หายไปต่อเวลาที่ปั๊มออกมาทุกๆ 30 นาที เพื่อตรวจสอบความคงที่ของอัตราส่วนโดยมวลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชผสม
8. รอให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (อุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียสและอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระเท่ากับ 31.5:1) ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง
9. เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ออกมาทุกๆ 30 นาที หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว อย่างน้อย 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 50 มิลลิลิตร
10. ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน เพื่อให้เมทิลเอสเทอร์และเมทานอลแยกชั้นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์ผลเพื่อหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่
12. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 11 แต่มีการปรับเปลี่ยนสภาวะที่ใช้ในการทำทดลองดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน

อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ	สภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	
	อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)
31.5 :1	80	30
	90	60
94.6 :1	80	30
	90	60

3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำมันพืชผสม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. บิวเรต
2. ปิเปต
3. ขวดรูปชมพู่
4. ขาตั้งพร้อมที่จับ
5. หลอดหยด
6. บีกเกอร์
7. ฮอตเพลต
8. เครื่องชั่ง
9. ขวดวัดปริมาตร

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นประมาณ 0.25 โมล/ลิตร
2. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้น 1 กรัมในเอทานอล 100 มิลลิลิตร
3. เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. ใส่สารละลายตัวอย่างที่ได้จากการทดลองลงในบีกเกอร์
2. อุ่นสารละลายตัวอย่างบนฮอตเพลตเพื่อระเหยเมทานอลออกประมาณ 15 นาที
3. แบ่งสารละลายตัวอย่างเพื่อนำมาชั่งน้ำหนัก ประมาณ 20 กรัม
4. ใส่สารละลายตัวอย่างในขวดรูปชมพู่แล้วละลายสารละลายตัวอย่างด้วยเอทานอลที่เป็นกลาง 50 มิลลิลิตร
5. หยดฟีนอล์ฟทาลีนลงในสารละลายตัวอย่าง 2-3 หยด
6. ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่รู้ความเข้มข้นแน่นอน ประมาณ 0.25 นอร์มอล ที่จุดยุติสารละลายตัวอย่างจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู
7. บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต
8. คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสมโดยใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์

จากการทดลองลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสม โดยใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันกับเมทานอล การทดลองจะเปลี่ยนตัวแปร 3 ตัวแปร คืออัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (Space time) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสมที่เหลืออยู่หลังจากการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ	อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ปริมาณกรดไขมันอิสระหลังทำปฏิกิริยา (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
1	31.5:1	80	30	8.12	3.32
2	31.5:1	80	60	7.83	1.70
3	31.5:1	90	30	8.02	2.34
4	31.5:1	90	60	8.45	1.34
5	94.6:1	80	30	7.96	2.18
6	94.6:1	80	60	8.06	0.82
7	94.6:1	90	30	8.24	1.67
8	94.6:1	90	60	8.05	0.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

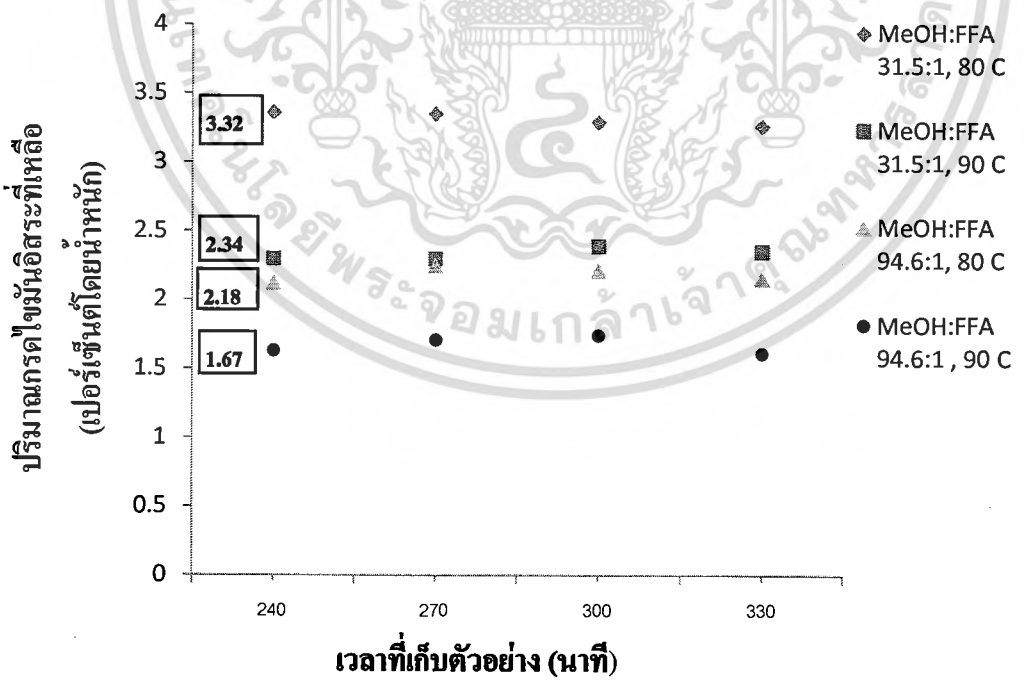
จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าตัวแปรทั้ง 3 ตัวมีผลต่อการลดกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันพืชผสมซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 กรณี

<u>กรณีที่ 1</u> ถ้าอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคงที่ แต่เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลง จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าเมื่อเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจาก 30 นาทีเป็น 60 นาที จะส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น

<u>กรณีที่ 2</u> เมื่ออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคงที่ แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลง จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจากอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จะพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

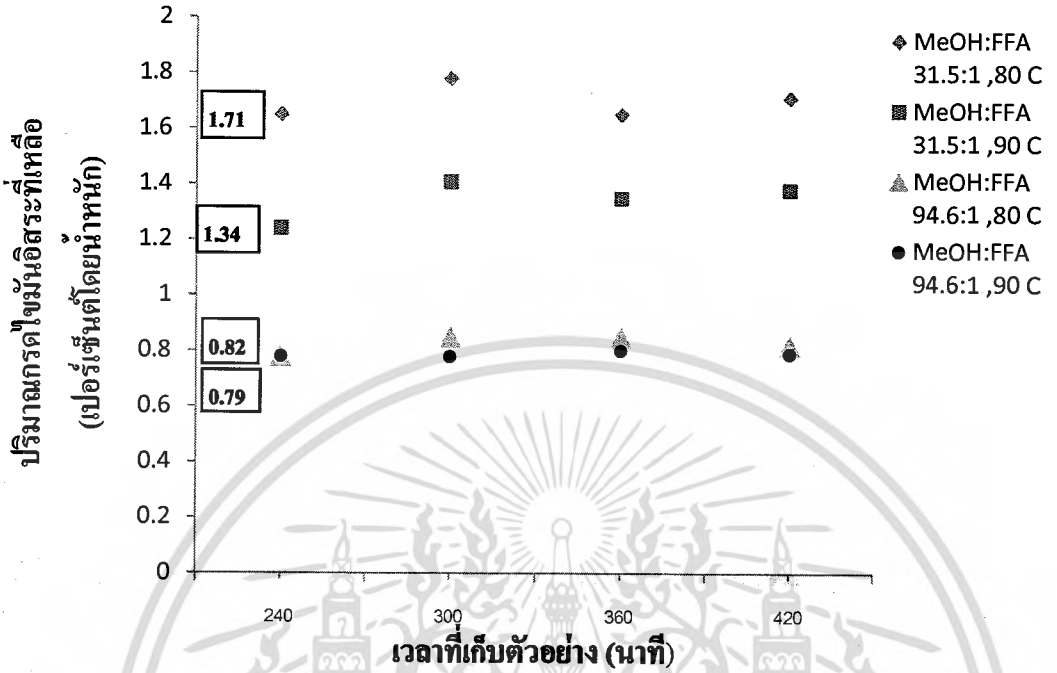
<u>กรณีที่ 3</u> เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคงที่ แต่ปริมาณเมทานอลเปลี่ยนแปลง จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงเมื่อปริมาณเมทานอลเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองภาคผนวก ง. สามารถเขียนกราฟแสดงปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่หลังทำปฏิกิริยา ณ เวลาใดๆที่สภาวะการทดลองต่างๆได้ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่เหลือกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 นาที (ค่าเฉลี่ยปริมาณของกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ ณ สภาวะการทดลองใดๆ แสดงไว้ในกรอบสี่เหลี่ยม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่เหลือกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที (ค่าเฉลี่ยปริมาณของกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ ณ สภาวะการทดลองใดๆ แสดงไว้ในกรอบสี่เหลี่ยม)

4.2 ค่าการแปลงผันทางเคมีของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสม

ค่าการแปลงผันทางเคมีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระเกิดจากอัตราส่วนของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสมที่เปลี่ยนแปลงไปต่อกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสมที่ถูกป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งค่าการแปลงผันทางเคมีจากสภาวะต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าการแปลงผันทางเคมีของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำพืชผสม

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ	อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ค่าการแปลงผันทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)
1	31.5:1	80	30	59.11
2	31.5:1	80	60	78.29
3	31.5:1	90	30	70.82
4	31.5:1	90	60	84.14
5	94.6:1	80	30	72.61
6	94.6:1	80	60	89.83
7	94.6:1	90	30	79.73
8	94.6:1	90	60	90.19

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาดังกรณีดังต่อไปนี้จะพบว่า

1. พิจารณาอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่สภาวะเดียวกันแต่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจาก 31.5:1 เป็น 94.6:1 จะพบว่าค่าการแปลงผันทางเคมีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเมทานอลเพิ่มขึ้น
2. พิจารณาอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (80 องศาเซลเซียส) และอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระที่สภาวะเดียวกัน (31.5:1) แต่เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 30 นาทีเป็น 60 นาที จะพบว่าเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นจะส่งผลให้ค่าการแปลงผันทางเคมีเพิ่มขึ้น
3. พิจารณาอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระเดียวกัน (31.5:1) และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่สภาวะเดียวกัน (30 นาที) แต่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 80 เป็น 90 องศาเซลเซียส จะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ค่าการแปลงผันทางเคมีเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ค่าพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์ในสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสม

4.3.1 ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา

จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน ดังรูปที่ 2 จะพบว่าปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ แต่ขณะทำการทดลองป้อนเมทานอลที่มากเกินพอ จึงเปรียบเสมือนว่าปฏิกิริยานี้ไปทางขวาของสมการไม่สามารถผันกลับได้ และสมมติว่าปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยามูลฐาน (Elementary reaction) ดังนั้นการดุลโมลสารรอบเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุจะได้สมการดังนี้

$$\frac{dF_{FFA}}{dW} = r_{FFA} = -k_{FFA}C_{FFA}C_{MeOH} \tag{4.1}$$

จากสมการ (4.1) แปลงสมการให้อยู่ในรูปค่าการแปลงผันทางเคมีโดยใช้สมการ (4.2, 4.3, 4.4)

$$F_{FFA}=F_{FFA0}\,(1\text{-}X_{FFA}) \tag{4.2}$$

$$C_{FFA}=C_{FFA0}\,(1\text{-}X_{FFA}) \tag{4.3}$$

$$C_{MeOH}=C_{FFA0}\,(\Theta_{MeOH}\text{-}X_{FFA}) \tag{4.4}$$

ได้สมการดุลโมลรอบเครื่องปฏิกรณ์ คือ

$$-F_{FFA0}\frac{dX_{FFA}}{dW}=-k_{FFA}C_{FFA0}\,(1\text{-}X_{FFA})C_{FFA0}(\Theta_{MeOH}\text{-}X_{FFA}) \tag{4.5}$$

เมื่อ F_{FFA} คือ อัตราไหลเชิงโมลของกรดไขมันอิสระที่เวลาใดๆ, โมล/นาที

W คือ น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา, กรัม

C_{FFA0} คือ ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระที่เวลาเริ่มต้น, โมล/ลิตร

X_{FFA} คือ ค่าการแปลงผันทางเคมีของกรดไขมันอิสระ

Θ_{MeOH} คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระที่เวลาเริ่มต้น

แทน $F_{FFA0} = C_{FFA0}v_0$ ลงในสมการ (4.5)

$$-C_{FFA0}v_0\frac{dX_{FFA}}{dW}=-k_{FFA}C_{FFA0}\,(1\text{-}X_{FFA})C_{FFA0}(\Theta_{MeOH}\text{-}X_{FFA}) \tag{4.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดรูปสมการ (4.6) ได้ดังนี้

$$\frac{dX_{FFA}}{dW} = \frac{k_{FFA}(1-X_{FFA})C_{FFA0}(\Theta_{MeOH}-X_{FFA})}{v_0} \quad (4.7)$$

จัดรูปสมการ (4.7) แล้วอินทิเกรต

$$\int_0^x \frac{X_{FFA}}{(1-X_{FFA})(\Theta_{MeOH}-X_{FFA})} = \frac{k_{FFA}C_{FFA0}}{v_0}\int dW \quad (4.8)$$

$$\frac{1}{(\Theta_{MeOH}-1)} ln \frac{(\Theta_{MeOH}-X_{FFA})}{\Theta_{MeOH}(1-X_{FFA})} = \frac{k_{FFA}C_{FFA0}W}{v_0} \quad (4.9)$$

จัดรูปสมการ (4.9)

$$ln \frac{(\Theta_{MeOH}-X_{FFA})}{\Theta_{MeOH}(1-X_{FFA})} = \frac{k_{FFA}C_{FFA0}W(\Theta_{MeOH}-1)}{v_0} \quad (4.10)$$

แทนค่า W ดังนี้

*** โดยสมมติให้ สัดส่วนที่เป็นช่องว่างของเบด (Ø) = 0

ได้ W = (1-Ø)$A_c z \times \rho = V\rho$ แทนค่าลงในสมการ (4.10)

$$ln \frac{(\Theta_{MeOH}-X_{FFA})}{\Theta_{MeOH}(1-X_{FFA})} = k_{FFA}C_{FFA0}\tau\rho_{cat}(\Theta_{MeOH}-1) \quad (4.11)$$

Take exp ตลอดสมการที่ (4.11) จะได้ว่า

$$\frac{(\Theta_{MeOH}-X_{FFA})}{\Theta_{MeOH}(1-X_{FFA})} = e^{k_{FFA}C_{FFA0}\tau\rho_{cat}(\Theta_{MeOH}-1)} \quad (4.12)$$

ให้ $z = k_{FFA}C_{FFA0}\tau\rho(\Theta_{MeOH}-1)$

$$\frac{(\Theta_{MeOH}-X_{FFA})}{\Theta_{MeOH}(1-X_{FFA})} = e^z \quad (4.13)$$

$$\Theta_{MeOH} - X_{FFA} = \Theta_{MeOH}e^z - \Theta_{MeOH}X_{FFA}e^z \quad (4.14)$$

$$\Theta_{MeOH} - \Theta_{MeOH}e^z = X_{FFA} - X_{FFA}\Theta_{MeOH}e^z \quad (4.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Theta_{MeOH} - \Theta_{MeOH}e^{z} = X_{FFA}(1 - \Theta_{MeOH}e^{z}) \quad (4.16)$$

$$X_{FFA} = \frac{(\Theta_{MeOH} - \Theta_{MeOH}e^{z})}{(1 - \Theta_{MeOH}e^{z})} \quad (4.17)$$

แทนค่า $z = k_{FFA}C_{FFA0}\tau\rho(\Theta_{MeOH} - 1)$ ลงในสมการ ที่ (4.17)

$$X_{FFA} = \frac{\Theta_{MeOH}(1 - e^{k_{FFA}C_{FFA0}\tau\rho(\Theta_{MeOH} - 1)})}{1 - \Theta_{MeOH}e^{k_{FFA}C_{FFA0}\tau\rho(\Theta_{MeOH} - 1)}} \quad (4.18)$$

นำสมการที่ 4.18 มาแก้สมการหาค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา (k_{FFA}) โดยใช้เครื่องมือหาผลเฉลย Solver ในโปรแกรม Excel สามารถเปลี่ยนค่าคงที่อัตราได้โดยมีจุดประสงค์หาค่าคงที่อัตราที่ทำให้ค่าการแปลงผันทางเคมีจากการคำนวณเข้าใกล้ค่าแปลงผันทางเคมีจากการทดลองมากที่สุด พบว่า สามารถหาค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส

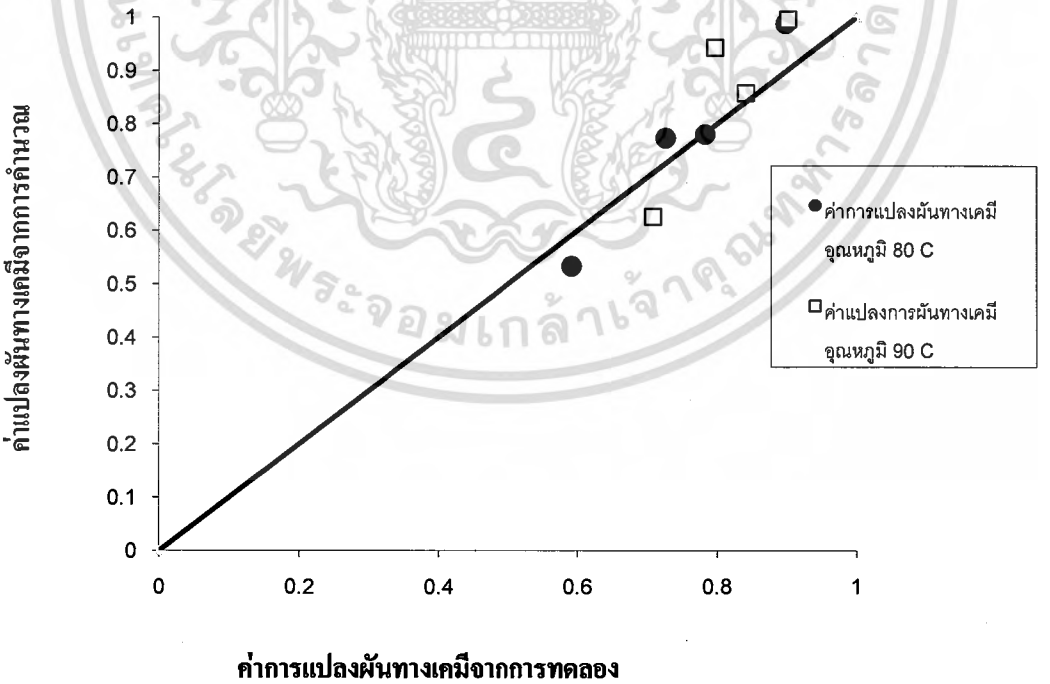
อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)	ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา (ลิตร^2/กิโลกรัม*โมล*ชั่วโมง)
80	0.32
90	0.42

จากตารางที่ 4.3 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 80 องศาเซลเซียสเป็น 90 องศาเซลเซียส ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาจะมีค่าเพิ่มขึ้น และเพื่อทดสอบความแม่นยำของค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา จึงนำค่าการแปลงผันทางเคมีจากการคำนวณซึ่งคำนวณได้จากค่าคงที่อัตราดังกล่าวตามสมการ 4.18 มาเปรียบเทียบกับค่าการแปลงผันทางเคมีจากการทดลองแสดงไว้ดังตารางที่ 4.4 และเมื่อนำค่าการแปลงผันทางเคมีดังกล่าวมาเขียนกราฟเปรียบเทียบซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 4.3 พบว่าค่าการแปลงผันทางเคมีจากการคำนวณมีค่าเบี่ยงเบนจากค่าการแปลงผันทางเคมีจากการทดลองค่อนข้างน้อย โดยมีค่าผลต่างยกกำลังสองเฉลี่ย (Sum square error) เท่ากับ 0.0497 และคำนวณหาค่า Mean square error ได้เท่ากับ 0.028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าการแปลงผันทางเคมีจากการทดลองและจากการคำนวณ

ค่าการแปลงผันทางเคมี จากการทดลอง	ค่าการแปลงผันทางเคมี จากการคำนวณ	ค่าผลต่างยกกำลังสองของค่าการแปลงผันทางเคมี
0.59	0.53	0.0036
0.78	0.78	0.0000
0.73	0.77	0.0016
0.90	0.99	0.0081
0.71	0.63	0.0064
0.84	0.86	0.0004
0.80	0.94	0.0196
0.90	1.00	0.0100
เฉลี่ย หรือ SS_E		0.0497



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบค่าการแปลงผันทางเคมีจากการทดลองและค่าแปลงผันทางเคมีจากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์นี้ศึกษาปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสมโดยทำการทดลองที่สภาวะต่างๆ ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ 31.5:1 และ 94.6:1 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 80 และ 90 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที จากการทดลองเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ อุณหภูมิหรือเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ส่งผลให้ค่าการแปลงผันทางเคมีของกรดไขมันอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นและปริมาณกรดไขมันอิสระลดลง โดยสภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากทำการทดลองคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ 94.6:1 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 80 และ 90 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระเหลืออยู่ 0.82 และ 0.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และได้ค่าการแปลงผันทางเคมีเท่ากับ 89.83 และ 90.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองเมื่อวิเคราะห์ผลโดยใช้เครื่องมือหาผลเฉลย Solver ในโปรแกรม Excel สามารถหาค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสม (k_{FFA}) ได้ โดยมีสมมติฐานว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยามูลฐาน (Elementary reaction) แบบผันกลับไม่ได้ พบว่าค่าคงที่อัตราเท่ากับ 0.32 และ 0.42 ลิตร^2/กิโลกรัมตัวเร่งปฏิกิริยา*โมล*ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] S.Chongkhong*, C. Tongurai, P. Chetpattananondh, C. Bunyakan "Biodiesel production by esterification in palm fatty acid distillate." **Biomass and Bioenergy** 31 (2007) 563–568

[2] Marchetti, J.M.,V.U.,Errazu, A.F. "Heterogeneous esterification of oil with high amount of free fatty acids." **Fuel** 2007;86:906-910

[3] Veljkovic VB, Lakicevic SH, Stamenkovic OS, Todorovi ZB, Lazic ML. "Biodiesel production from tobacco seed oil with a high content of free fatty acids." **Fuel** 2006;85:2671-5

[4] Ramadhas AS, Jayaraj S, Muraleedharan C. "Biodiesel production from high FFA rubber seed oil." **Fuel** 2004;84:335-40

[5] Nalan Ozbay, Nuray Oktar *, N. Alper Tapan "Esterification of free fatty acids in waste cooking oils (WCO): Role of ion-exchange resins" **Fuel** 2008;87:1789–1798

[6] "**ไบโอดีเซล (Biodiesel)**" [Online]. Available http://www.promma.ac.th/chemistry/biomolecule/biomolecule041.htm

[7] รศ.ดร.ดาวัลย์ ฉิมภู่.2538. "**ชีวเคมีเล่ม 1 โมเลกุลชีวภาพ.**" พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพ: สำนักพิมพ์ประกานพริก

[8] ผศ.ดร. ดวงกมล ณ ระนอง, **พื้นฐานวิศวกรรมปฏิกิริยาและการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี**: พิมพ์ครั้งที่ 1 อักษรสยามการพิมพ์; ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[9] Fogler, H.S.1999. "**Element of Chemical Reaction Engineering. 3rd ed.**" New Jersey: Prentice Hall.

[10] อุษณีย์ วินิจเขตคำนวณ. 2548. "**คู่มือเรียนชีวเคมีเล่ม 1 โดย E-learning.**" เชียงใหม่. โรงพิมพ์ดาวคอมกราฟฟิค

[11] "**ปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน**" [Online]. Available http://www.hcc.mnscu.edu/chem/V.26/page_id_11273.html

[12] เอกสารคุณสมบัติและคู่มือการใช้งานเรซิน, "**Tailor Fatty Acids,Samping and analysis of commercial fats and oil**", 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

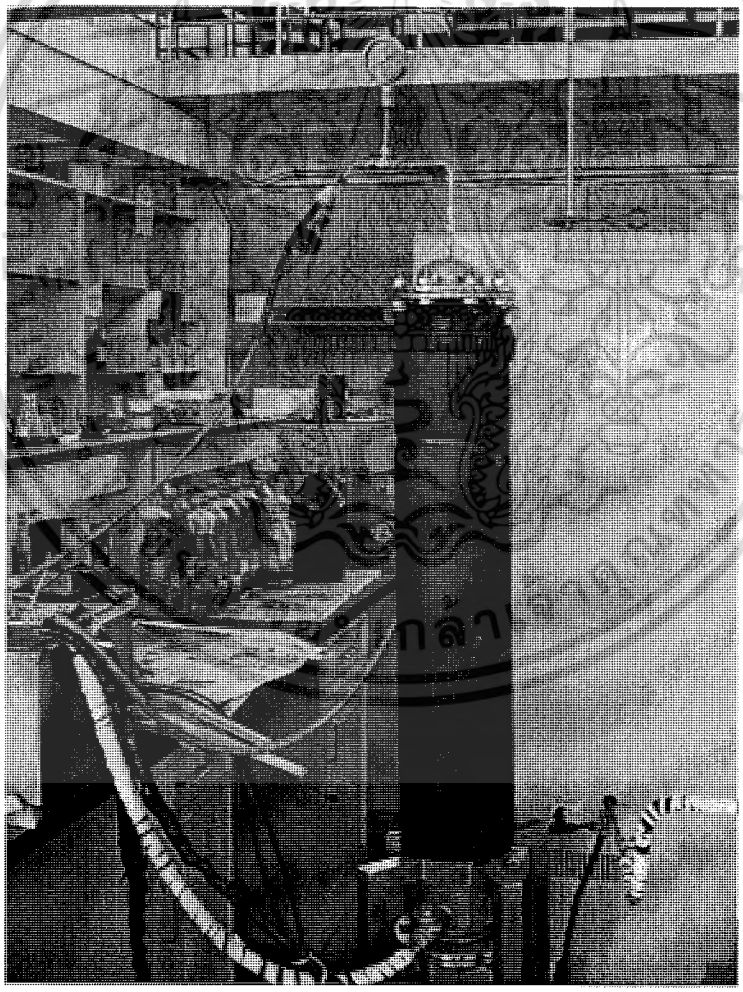
[13] AOCS Official Method Ca 5a-40, "**Free Fatty Acids Samping and analysis of commercial fats and oil**", 1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

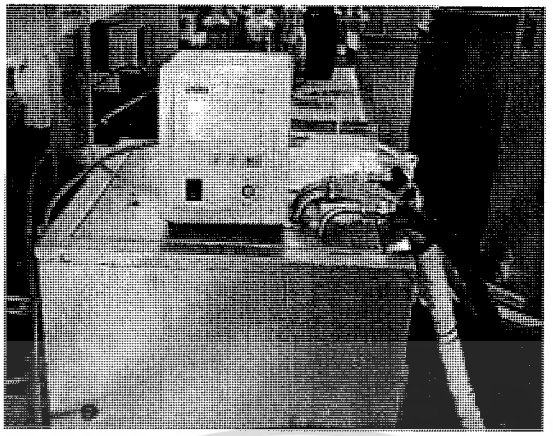
ก.เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ

เครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ปริมาตร 7 ลิตร เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 1 เมตร ณ ปากทางเข้าของเครื่องปฏิกรณ์และปากทางออกของเครื่องปฏิกรณ์มีเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ติดตั้งอยู่เพื่อวัดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ และมีวาล์วติดตั้งอยู่ที่ปากทางออกของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อปรับความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ตามที่ต้องการ

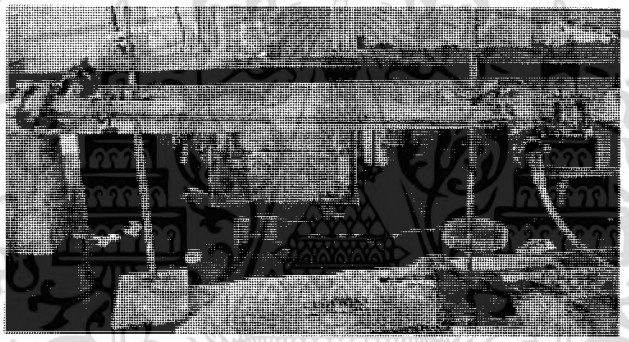


รูปที่ ก.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ

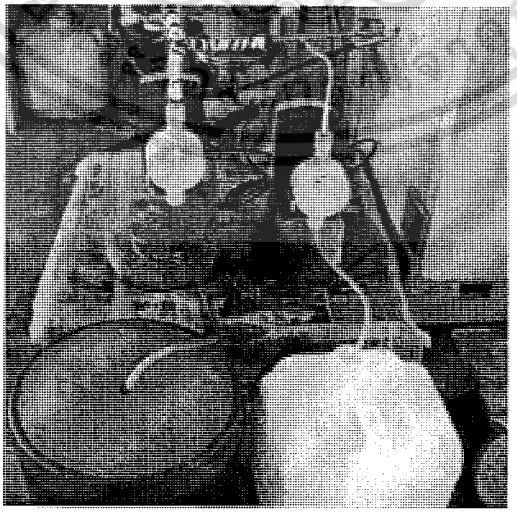
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 เครื่องให้ความร้อน



รูปที่ ก.3 เครื่องควบแน่น



รูปที่ ก.4 ปั๊มที่สามารถปรับอัตราการไหลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระ [13]

ตามมาตราฐาน AOCS Official Method Ca 5a-40 ได้กล่าวถึงการหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในตัวอย่าง เช่น น้ำมันพืชทั้งที่บริสุทธิ์และไม่บริสุทธิ์ น้ำมันปลา ไขมันสัตว์ไว้ดังนี้

การเตรียมสารเคมี

1. เตรียมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ในเอทานอลเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
2. นำเอทานอลมาทำให้มีฤทธิ์เป็นกลางโดยเติมฟีนอล์ฟทาลีน 2 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปจนเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพู
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นตามตารางที่ ข.1
4. นำน้ำมันตัวอย่างมาชั่งให้ได้น้ำหนักตามตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง ปริมาตรของแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้กับปริมาณกรดไขมันอิสระในช่วงต่าง ๆ

ปริมาณกรดไขมันอิสระ(เปอร์เซ็นต์)	น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง(กรัม)	ปริมาตรของแอลกอฮอล์(มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)
0.0-0.2	56.4 ± 0.2	50	0.1
0.2-1.0	28.2 ± 0.2	50	0.1
1.0-30.0	7.05 ± 0.05	75	0.25
30.0-50.0	7.05 ± 0.05	100	0.25 หรือ 1.0
50.0-100	3.525 ± 0.001	100	1.0

ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำเอทานอลที่เป็นกลางผสมกับน้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างตามตารางที่ ข.1 แล้วเติมฟีนอล์ฟทาลีน 2 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน
2. นำมาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนกลายเป็นสีชมพูโดยสีไม่เปลี่ยนแปลงเป็นเวลา 30 นาที
3. บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การคำนวณ

ค1. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.1การหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต (KHP)

1.1.1 นำโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลตไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต 20 กรัม (มวลโมเลกุลเท่ากับ 204.22 กรัมต่อโมล) ละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร

คำนวณความเข้มข้นดังนี้

$$\text{สูตร ความเข้มข้น} = \frac{g1000}{M_w V}$$

$$= \frac{(20g)(1000)}{(204.22\frac{g}{mol})(1000ml)}$$

$$= 0.098 \text{ นอร์มอล}$$

1.1.2 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเอทานอล ความเข้มข้น ประมาณ 0.25 นอร์มอล โดยทำการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 10 กรัม มาละลายในเอทานอล จากนั้นปรับสารละลายมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

1.1.3 ไทเทรตสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพาทาเลต 25 มิลลิลิตรด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมได้โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 9.8 มิลลิลิตร

$$\text{ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์} = \frac{(0.098N)(25ml)}{9.8ml}$$

$$= 0.25 \text{ นอร์มอล}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค2. การหาเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันดีเซลชีวภาพ

จากภาคผนวก ข. มาตรฐาน AOCS Official Method Ca 5a-40 เป็นวิธีการหาค่าความเป็นกรดของกรดไขมันอิสระได้ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้ได้ ประยุกต์มาตรฐานนี้โดยมีการปรับค่าเพื่อความเหมาะสมดังตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 น้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง ปริมาตรของแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้กับปริมาณกรดไขมันอิสระในช่วงต่างๆที่ใช้ในโครงงานนี้

ปริมาณกรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตรของแอลกอฮอล์ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(นอร์มอล)
0.0 – 0.5	56.4	50	0.1
0.5 – 2.0	28.2	50	0.1
2.0 – 10.0	20.0	50	0.25

สูตรการคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระแบ่งตามประเภทของกรดไขมันอิสระดังนี้

$$\text{กรดโอเลอิก (\%)} = \frac{\text{ปริมาตร} NaOH \times 28.2 \times \text{ความเข้มข้น } NaOH}{\text{น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง}} \quad \text{(ค.1)}$$

$$\text{กรดลอริก (\%)} = \frac{\text{ปริมาตร} NaOH \times 20.0 \times \text{ความเข้มข้น } NaOH}{\text{น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง}} \quad \text{(ค.2)}$$

$$\text{กรดปาล์มมิติก (\%)} = \frac{\text{ปริมาตร} NaOH \times 25.6 \times \text{ความเข้มข้น } NaOH}{\text{น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง}} \quad \text{(ค.3)}$$

น้ำมันพืชผสมประกอบด้วยกรดปาล์มมิติกและกรดโอเลอิกเป็นส่วนใหญ่ดังนั้นเมื่อคำนวณจึงประยุกต์นำสมการที่ ค.1 และ ค.2 มาเฉลี่ยกันได้สูตรการคำนวณใหม่ดังนี้

สูตรคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ

$$\text{กรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสม(\%)} = \frac{\text{ปริมาตร} NaOH \times 26.9 \times \text{ความเข้มข้น} NaOH}{\text{น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง}}$$

$$= \frac{(9.88ml)(26.9)(0.25N)}{20.0403}$$

$$= 3.32 \text{ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ข้อมูลดิบ

การทดลองที่ 1

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

1. ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เวลาเริ่มต้น 8.12 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
3. Space time 30 นาที
4. อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ 31.5:1

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 1

ตัวอย่างที่	เก็บตัวอย่างที่เวลา (นาที)	ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลือ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)
1	240	3.36	20.0126	10.00
2	270	3.35	20.1053	10.00
3	300	3.29	20.0251	9.80
4	330	3.26	20.0183	9.70
เฉลี่ย		3.32	20.0403	9.88

การทดลองที่ 2

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

1. ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เวลาเริ่มต้น 7.83 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
3. Space time 60 นาที
4. อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ 31.5:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 2

ตัวอย่างที่	เก็บตัวอย่างที่เวลา (นาที)	ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลือ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)
1	240	1.65	20.0127	4.90
2	300	1.78	20.0098	5.30
3	360	1.65	20.0132	4.90
4	420	1.71	20.0087	5.10
เฉลี่ย		1.70	20.0111	5.05

การทดลองที่ 3

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

1. ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เวลาเริ่มต้น 8.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
3. Space time 30 นาที
4. อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ 31.5:1

ตารางที่ ง.3 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 3

ตัวอย่างที่	เก็บตัวอย่างที่เวลา (นาที)	ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลือ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)
1	240	2.3	20.1846	6.90
2	270	2.3	20.1658	6.90
3	300	2.39	20.0019	7.10
4	330	2.35	20.0034	7.00
เฉลี่ย		2.34	20.0889	6.98

การทดลองที่ 4

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

1. ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เวลาเริ่มต้น 8.45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Space time 60 นาที

4. อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ 31.5:1

ตารางที่ ง.4 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 4

ตัวอย่างที่	เก็บตัวอย่างที่เวลา (นาที)	ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลือ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)
1	240	1.24	20.0157	8.20
2	300	1.41	20.0003	7.70
3	360	1.35	20.0072	6.60
4	420	1.38	20.0185	6.40
เฉลี่ย		1.34	20.0172	7.22

การทดลองที่ 5

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

1. ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เวลาเริ่มต้น 7.96 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2. อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

3. Space time 30 นาที

4. อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ 94.6:1

ตารางที่ ง.5 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 5

ตัวอย่างที่	เก็บตัวอย่างที่เวลา (นาที)	ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลือ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)
1	240	2.12	20.0087	6.30
2	270	2.25	20.0007	6.70
3	300	2.21	20.0560	6.60
4	330	2.15	20.0032	6.40
เฉลี่ย		2.18	20.0172	6.50

การทดลองที่ 6

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เวลาเริ่มต้น 8.06 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
3. Space time 60 นาที
4. อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ 94.6:1

ตารางที่ ง.6 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 6

ตัวอย่างที่	เก็บตัวอย่างที่เวลา (นาที)	ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลือ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)
1	240	0.78	20.0015	2.30
2	300	0.85	20.0167	2.50
3	360	0.85	20.0029	2.50
4	420	0.82	20.0161	2.45
เฉลี่ย		0.82	20.0093	2.44

การทดลองที่ 7

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

1. ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เวลาเริ่มต้น 8.24 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
3. Space time 30 นาที
4. อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ 94.6:1

ตารางที่ ง.7 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 7

ตัวอย่างที่	เก็บตัวอย่างที่เวลา (นาที)	ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลือ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)
1	240	1.63	20.0096	4.85
2	270	1.71	20.0133	5.10
3	300	1.74	20.0370	5.20
4	330	1.61	20.0218	4.80
เฉลี่ย		1.67	20.0204	4.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 8

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง

1. ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เวลาเริ่มต้น 8.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
3. Space time 60 นาที
4. อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ 94.6:1

ตารางที่ ง.8 ข้อมูลผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระครั้งที่ 8

ตัวอย่างที่	เก็บตัวอย่างที่เวลา (นาที)	ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลือ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)
1	240	0.78	20.0086	2.30
2	300	0.78	20.0100	2.30
3	360	0.80	20.0058	2.40
4	420	0.79	20.0088	2.35
เฉลี่ย		0.79	20.0083	2.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.9 ข้อมูลโดยสรุปจากผลการทดลองปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชผสม

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อกรดไขมันอิสระ	อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)	ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เวลาเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลือ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ค่าการแปลงผันทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)
1	31.5:1	80	30	8.12	3.32	59.11
2	31.5:1	80	60	7.83	1.70	78.29
3	31.5:1	90	30	8.02	2.34	70.82
4	31.5:1	90	60	8.45	1.34	84.14
5	94.6:1	80	30	7.96	2.18	72.61
6	94.6:1	80	60	8.06	0.82	89.83
7	94.6:1	90	30	8.24	1.67	79.73
8	94.6:1	90	60	8.05	0.79	90.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้