

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการดูดซับสิ่งเจือปนในน้ำมันไบโอดีเซล

STUDY ON THE ADSORPTION OF THE IMPURITY IN BIODIESEL



**จิรพา วรงค์สิงห์
ภัทราภรณ์ หลีกทอง**

๘/๗
๑ 557 ๗
๘55๐

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**83194**.....
วัน,เดือน,ปี.....**๖...๘.๑...2551**

b.....**119 62719**.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON THE ADSORPTION OF THE IMPURITY IN BIODIESEL



**JEERAPA VARONGSINGHARA
PATTARAPORN LAKTHONG**

**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN
CHEMICAL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรเรื่อง	การศึกษาการดูฉบับสิ่งเจอปนในน้ำมันไบโอดีเซล	
โดย	นางสาวจิรพา	วงศ์สิงหรา
	นางสาวภัทรภรณ์	หลักทอง
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พรสวรรค์	อัสวแสงรัตน์

ปริญญาบัตรนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาบัตร



.....กรรมการ
(อ. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาการดูดซับสิ่งเจือปนในน้ำมันไบโอดีเซล
โดย นางสาวจิรพา วงศ์สิงหรา รหัสประจำตัว 47010111
นางสาวภัทรภรณ์ หลักทอง รหัสประจำตัว 47010555
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์ตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกต เพื่อใช้ในการดูดซับสิ่งเจือปนในน้ำมันไบโอดีเซล โดยการเตรียมแมกนีเซียมซลิเกตด้วยปฏิกิริยาการตกตะกอนระหว่างโซเดียมเมตตะซลิเกตและแมกนีเซียมไนเตรท ที่ความเข้มข้นของโซเดียมเมตตะซลิเกต 0.3 - 0.7 โมลาร์ และแมกนีเซียมไนเตรท 0.3 - 0.6 โมลาร์ พบว่าที่ความเข้มข้นของโซเดียมเมตตะซลิเกต 0.67 โมลาร์ และแมกนีเซียมไนเตรท 0.57 โมลาร์ ให้น้ำหนักแมกนีเซียมซลิเกตสูงสุด 4.5396 กรัม และจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของแมกนีเซียมซลิเกต โดยการตรวจดูความเป็นผลึกด้วยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ พบว่าแมกนีเซียมซลิเกตมีโครงสร้างผลึกเป็นรูปแบบออสันฐาน และจากการตรวจวัดปริมาตรธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแมกนีเซียมซลิเกต โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ พบว่าอัตราส่วนระหว่างแมกนีเซียมและซลิเกตที่ได้จากการวิเคราะห์ ทั้งในรูปของธาตุและออกไซด์มีค่าเท่ากับ 1.02 : 1 จากการศึกษาการดูดซับโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรินอิสระ และกลีเซอรินทั้งหมด ของแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์ได้กับแมกนีเซียมซลิเกตทางการค้าในไบโอดีเซลที่อุณหภูมิห้อง ในอัตราส่วนแมกนีเซียมซลิเกตต่อไบโอดีเซลเท่ากับ 2.5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร พบว่ากลีเซอรินอิสระและกลีเซอรินทั้งหมดเท่านั้นที่มีปริมาณลดลง โดยปริมาณกลีเซอรินในไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์ได้ และแมกนีเซียมซลิเกตทางการค้าเป็นตัวดูดซับมีปริมาณลดลง 33.33 เปอร์เซ็นต์ และ 66.67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และปริมาณกลีเซอรินทั้งหมดในไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซลิเกตทางการค้าเป็นตัวดูดซับ มีปริมาณลดลงเท่ากับ 12.50 เปอร์เซ็นต์

Report title Study on the adsorption of the impurity in biodiesel

By Miss Jeerapa Varongsinghara
Miss Pattaraporn Lakthong

Advisor Dr. Pornsawan Assawasangrat

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This research is concerned with the synthesis of magnesium silicate adsorbate, which is used for adsorbing impurities in biodiesel. Magnesium silicate is prepared from sodium metasilicate and magnesium nitrate by precipitation reaction at various concentrations. The result shown that at 0.67 molar concentration of sodium metasilicate and 0.57 molar concentration of magnesium nitrate, the highest mass of magnesium silicate is 4.5396 grams. Moreover, in the study of physical and chemical properties of magnesium silicate using X-Ray Diffraction, it was found that the adsorbate has amorphous crystallization. In addition, from the test of adsorbate using X-Ray Fluorescence, we found that the ratio of magnesium and silicate in both element form and element oxide form is the same at 1.02 : 1. After using synthesized and trade magnesium silicate adsorbate and testing various components in biodiesel such as monoglyceride, diglyceride, triglyceride, free glycerine, and total glycerine at standard condition. The ratio is 2.5 grams magnesium silicate and 100 milliliter biodiesel, we found that only free glycerine and total glycerine were reduced. Using synthesized magnesium silicate adsorbate, they were reduced by 33.33 percent, but using trade magnesium silicate adsorbate, the figures were 66.67 percent for free glycerine and 12.50 percent for total glycerine.

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือในการทำโครงการนี้ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณ นายวรัช แพทย์รังสี ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำโครงการนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.พรสวรรค์ อัสวเสงรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท และรศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา ที่ช่วยให้ปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากคำแนะนำและคำแก้ไขที่ดี คณะผู้ศึกษารูสึกทราบซึ่งเป็นอย่างมาก พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือตลอดการทำงานโครงการนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้มีพระคุณสูงสุดในชีวิต ที่ให้การสนับสนุนให้กำลังใจและคำแนะนำตลอดมา หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้ศึกษาขออภัยและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

จิรพา วรงค์สิงห์
ภัทรภรณ์ หลักทอง
29 กุมภาพันธ์ 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ.....	ก
สารบัญตาราง.....	ค
สารบัญรูปภาพ.....	ง
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษาและขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กรดไขมัน (Fatty acid).....	3
2.2 กลีเซอริน (Glycerine).....	5
2.2.1 ความหมายและประวัติการค้นพบกลีเซอริน.....	5
2.2.2 คุณสมบัติของกลีเซอริน.....	5
2.3 กลีเซอไรด์ (Glyceride).....	7
2.4 ไบโอดีเซล.....	8
2.4.1 ความหมายของไบโอดีเซล.....	8
2.4.2 การผลิตไบโอดีเซล.....	8
2.4.3 น้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล.....	9
2.5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Tranesterification).....	11
2.6 การดูดซับ.....	14
2.7 ประเภทของการดูดซับ.....	14
2.7.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption).....	14
2.7.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption).....	15
2.8 กลไกการดูดซับ.....	16
2.9 ตัวดูดซับ.....	17
2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	18
2.11 ซิลิกาเจล (Silica Gel).....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.12	ประโยชน์ของตัวดูดซับ.....	21
2.13	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3	การทดลอง.....	24
3.1	การสังเคราะห์แมกนีเซียมซัลไฟด์.....	24
3.2	การวิเคราะห์คุณสมบัติของแมกนีเซียมซัลไฟด์.....	27
3.3	การเตรียมไบโอดีเซล.....	28
3.4	การดูดซับสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลด้วยตัวดูดซับ.....	32
3.5	การวิเคราะห์องค์ประกอบในไบโอดีเซล.....	33
บทที่ 4	ผลการทดลองและอภิปราย.....	34
4.1	การสังเคราะห์แมกนีเซียมซัลไฟด์.....	34
4.2	การวิเคราะห์คุณสมบัติของแมกนีเซียมซัลไฟด์.....	35
4.3	การเตรียมไบโอดีเซล.....	38
4.4	การดูดซับสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลด้วยตัวดูดซับ.....	39
4.5	การวิเคราะห์องค์ประกอบในไบโอดีเซล.....	40
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	41
	เอกสารอ้างอิง.....	42
	ภาคผนวก ก. การคำนวณ.....	46
	ภาคผนวก ข. กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน.....	49

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างกรดไขมันที่พบในธรรมชาติ.....	3
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอล.....	6
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ.....	9
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติ และองค์ประกอบกรดไขมันหลัก ของน้ำมันพืชต่างๆ.....	10
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางเคมีของซิติกาเจล.....	19
ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบของซิติกาเจล.....	20
ตารางที่ 4.1 ผลของการสังเคราะห์แมกนีเซียมซิติเกดจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาการตกตะกอนระหว่าง โซเดียมเมตตะซิติเกดและแมกนีเซียม ไนเตรทที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	34
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับ โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ ในรูปของธาตุและในรูปออกไซด์	37
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบไนโบโอติเซส.....	40
ตารางที่ ก.1 การเตรียมสารละลายความเข้มข้นต่างๆ.....	46

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	สูตรโครงสร้างของกลีเซอริน.....	5
รูปที่ 2.2	โครงสร้างของ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์.....	7
รูปที่ 2.3	สมการเคมีของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	11
รูปที่ 2.4	การดูดซับในลักษณะต่างๆ ด้วยแรงทางกายภาพ.....	15
รูปที่ 2.5	กลไกการดูดซับ.....	16
รูปที่ 2.6	โครงสร้างแบบอสัณฐานของซิลิกาเจล.....	20
รูปที่ 3.1	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.91%.....	28
รูปที่ 3.2	การเตรียมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล.....	29
รูปที่ 3.3	ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันพืช.....	29
รูปที่ 3.4	การกวนผสมระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอล.....	30
รูปที่ 3.5	การแยกชั้นระหว่าง ไบโอดีเซลกับ กลีเซอริน.....	30
รูปที่ 3.6	การแยก ไบโอดีเซลออกจากกลีเซอริน.....	31
รูปที่ 3.7	การเก็บไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่ได้.....	31
รูปที่ 4.1	ผลการตรวจดูความเป็นผลึกของตัวดูดซับ โดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์.....	36
รูปที่ 4.2	ไบโอดีเซลที่เตรียมได้.....	38
รูปที่ 4.3	การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพระหว่างไบโอดีเซลบริสุทธิ์ ไบโอดีเซลที่ใช้ แมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์ได้เป็นตัวดูดซับ และ ไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซิลิเกต ทางการค้าเป็นตัวดูดซับ.....	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

เมื่อวิกฤตน้ำมันของโลกมีมากขึ้นเป็นลำดับ ราคาน้ำมันดิบสูงมากเป็นประวัติการณ์และไม่มีทีท่าว่าจะลดลง เนื่องจากการคาดการณ์ว่าน้ำมันกำลังจะหมดลงในอนาคตอันใกล้นี้ รวมถึงปัญหาทางการเงินของประเทศที่ต้องการรักษาเงินตราต่างประเทศ และที่สำคัญคือปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลกระทบให้เกิดภาวะโลกร้อน ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ทำให้มีการมองหาพลังงานทางเลือกซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลเป็นน้ำมันทางเลือกใหม่ที่ผลิตจากพืช หรือไขมันสัตว์ ซึ่งน้ำมันชนิดนี้เมื่อนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์แล้วพบว่ามีความสมบัติในการเผาไหม้ดี เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ช่วยลดมลพิษในอากาศ ปลอดภัยสารกำมะถัน ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งช่วยลดการเกิดภาวะโลกร้อนให้ช้าลง นอกจากนี้ยังมีปริมาณเขม่าคาร์บอนน้อย ไม่ทำให้เกิดการอุดตันของระบบไอเสียง่าย ช่วยยืดอายุการใช้งานได้ดีอีกด้วย

การผลิตไบโอดีเซลขึ้นมาใช้ทดแทนน้ำมันนั้นสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่เป็นที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบันคือ ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ ในสภาวะที่อุณหภูมิ อัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมัน และตัวเร่งปฏิกิริยาเหมาะสม สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นคือ เอสเทอร์และกลีเซอรอล ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้ก็คือ ไบโอดีเซล โดยไบโอดีเซลที่ได้ในขั้นตอนนี้ยังคงมีสิ่งเจือปนและมีค่าความเป็นกรดต่างสูง โดยสิ่งเจือปนเหล่านี้ได้แก่ แอลกอฮอล์ กลีเซอรอล กรดไขมันอิสระ ตัวเร่งปฏิกิริยา โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นจึงต้องนำมาผ่านขั้นตอนการทำไบโอดีเซลให้มีความบริสุทธิ์ก่อน โดยมากจะทำด้วยการใช้น้ำปริมาณมากชะล้างสิ่งเจือปนออกมา ซึ่งสิ่งเจือปนเหล่านี้ล้วนก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ ทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำนั้นๆ เสื่อมลง เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและต่อการบินและอวกาศของมนุษย์

กระบวนการดูดซับเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจมากในการลดปริมาณสิ่งเจือปน เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ซึ่งตัวดูดซับนั้นมีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดี โดยจะกำจัดความขุ่น สี กลิ่น รส และทำให้น้ำมันมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โครงการนี้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลโดยใช้ตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกต ($Mg(SiO_3)_2$) ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรินอิสระ ในไบโอดีเซล อีกทั้งยังสามารถฟอกสีของน้ำมันได้

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลโดยตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกต ($Mg(SiO_3)_2$)

1.3 ขอบเขตการศึกษาและขั้นตอนการดำเนินงาน

1.3.1 สังเคราะห์แมกนีเซียมซิลิเกต ($Mg(SiO_3)_2$) โดยวิธีการตกตะกอน ที่อุณหภูมิห้อง

1.3.2 วิเคราะห์คุณลักษณะของแมกนีเซียมซิลิเกตที่ได้ด้วยวิธีการดังนี้

- การตรวจสอบความเป็นผลึกของตัวดูดซับ โดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction หรือ XRD)
- การตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับ โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence หรือ XRFs)

1.3.3 ทดสอบการดูดซับสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับระหว่างตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกต ($Mg(SiO_3)_2$) ที่สังเคราะห์ขึ้น และแมกนีเซียมซิลิเกต ($Mg(SiO_3)_2$) ที่ใช้ทางการค้า

1.3.4 วิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี (GC)

1.3.5 วิเคราะห์ สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1.3.6 จัดทำรายงานปริญญาานิพนธ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 นำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยมาเป็นข้อมูลในการพัฒนากระบวนการกำจัดสิ่งเจือปนในไบโอดีเซล

1.4.2 ลดปัญหามลพิษทางน้ำจากการกำจัดสิ่งเจือปนด้วยวิธีการแบบเดิมๆ ได้

1.4.3 ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเนื่องจากสามารถลดขั้นตอนของการไล่ความชื้นในไบโอดีเซลได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรดไขมัน (Fatty acid) [1,2]

กรดไขมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนอะตอมเกาะกันเป็นเส้นตรง ไม่ค่อยพบกรดไขมันเป็นอิสระ ส่วนใหญ่มักพบเป็นส่วนประกอบของไขมันหลายชนิดเช่น ไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟกลีเซอไรด์ ในธรรมชาติมักพบกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นจำนวนคู่ระหว่าง 4 – 24 อะตอม ที่พบมากมีจำนวนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมมีสูตรทั่วไปคือ RCOOH มี 2 ประเภทดังนี้

1) กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid)

กรดไขมันที่โมเลกุลมีความอิ่มตัว มีหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) 1 หมู่ ต่ออยู่กับไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสายยาว ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีแต่พันธะเดี่ยวอย่างเดียว เช่น กรดปาล์มมิติก (Palmitic) มีคาร์บอน 16 ตัวเป็นกรดไขมันอิ่มตัวมากที่สุดที่มีมากในธรรมชาติและพบในร่างกาย

2) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid)

กรดไขมันที่มีทั้งพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ มีหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) 1 หมู่ต่ออยู่กับไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะคู่รวมอยู่ด้วย อาจมีตั้งแต่ 1 พันธะคู่ เรียกกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว และ 2 พันธะคู่ขึ้นไป เรียกกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ทั้งนี้พันธะคู่ในกรดไขมันต้องอยู่ห่างกัน 3 คาร์บอนดังนี้ $-CH=CH-CH_2-CH=CH-$ เสมอ

ตัวอย่างกรดไขมันที่พบในธรรมชาติแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างกรดไขมันที่พบในธรรมชาติ [3]

กรดไขมัน	สูตร	จำนวนคาร์บอน และพันธะคู่	แหล่งที่พบ
กรดไขมันอิ่มตัว			
กรดบิวทีริก (butyric acid)	C_3H_7COOH	4 : 0	เนย
กรดคาโปรอิก (caproic acid)	$C_5H_{11}COOH$	6 : 0	เนย น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว
กรดคาพริลิก (caprylic acid)	$C_7H_{15}COOH$	8 : 0	เนย น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว
กรดคาพริก (capric acid)	$C_9H_{19}COOH$	10 : 0	เนย น้ำมันมะพร้าว

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างกรดไขมันที่พบในธรรมชาติ (ต่อ) [3]

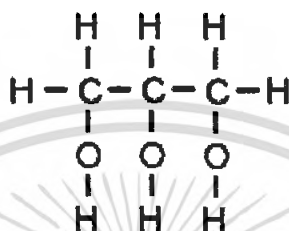
กรดไขมัน	สูตร	จำนวนคาร์บอน และพันธะคู่	แหล่งที่พบ
กรดไขมันอิ่มตัว			
กรดลอริก (lauric acid)	$C_{11}H_{23}COOH$	12 : 0	ไขปลาวาฬ น้ำมันมะพร้าว
กรดปาล์มิติก (palmitic acid)	$C_{15}H_{31}COOH$	16 : 0	ไขมันสัตว์และพืช
กรดสเตียริก (stearic acid)	$C_{17}H_{35}COOH$	18 : 0	ไขมันสัตว์และพืช
กรดไขมันไม่อิ่มตัว			
กรดโอเลอิก (oleic acid)	$C_{17}H_{33}COOH$	18 : 1	ไขมันสัตว์และพืช
กรดลิโนเลอิก (linoleic acid)	$C_{17}H_{31}COOH$	18 : 2	น้ำมันถั่วลิสง
กรดลิโนเลนิก (linolenic acid)	$C_{17}H_{29}COOH$	18 : 3	น้ำมันเมล็ดฝ้าย
กรอออะราทิโคนิก	$C_{19}H_{35}COOH$	20 : 4	น้ำมันถั่วลิสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กลิเซอริน (Glycerine) [4,5]

2.2.1 ความหมายและประวัติการค้นพบกลิเซอริน

กลิเซอริน (Glycerine) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กลิเซอรอล (Glycerol) หมายถึงสารจำพวก โพลีไฮดรริกแอลกอฮอล์ (Polyhydric Alcohol) ที่มีสูตรทางเคมี $C_3H_8O_3$ มีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3-โพรเพนไตรอล (1,2,3-Propanetriol) เป็นแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ไฮดรอกซี 3 หมู่ มีสูตรโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตร โครงสร้างของกลิเซอริน [4,5]

กลิเซอรินถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1779 โดย Scheele ซึ่งได้จากปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification) ระหว่างน้ำมันมะกอก (Olive Oil) กับ Lead Oxide ต่อมาในปี ค.ศ. 1813 Chevreul ได้พบว่ากลิเซอรินเป็นส่วนประกอบในไขมัน (Fats) โดยอยู่ในรูปของกลิเซอรอล-เอสเทอร์ (Glycerol ester) ของกรดไขมัน (Fatty acids) จึงได้ตั้งชื่อว่า “กลิเซอรอล” ซึ่งมาจากคำในภาษากรีกที่มีความหมายว่า มีรสหวาน

กลิเซอรินถูกใช้ในทางอุตสาหกรรมเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1866 เมื่อ Alfred Noble ได้ทำการผลิตไดนาไมท์ หรือไนโตรกลิเซอริน (Nitroglycerine) ในระยะแรกการผลิตกลิเซอรินผลิตจากพืชและสัตว์ สำหรับอุตสาหกรรมการสังเคราะห์กลิเซอรินที่มีความสำคัญมากที่สุด คือ การผลิตโดยใช้โพรเพนเป็นสารตั้งต้น ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นในช่วงปลายทศวรรษที่ 1930 โดย I.G. Farben ในประเทศเยอรมันและโดยบริษัทเซลส์ในประเทศสหรัฐอเมริกา

2.2.2 คุณสมบัติของกลิเซอริน

คุณสมบัติทางกายภาพ

เป็นของเหลวใส หนืด มีรสหวาน ละลายน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดี ละลายได้เล็กน้อยใน ไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลเอสเทอร์ และไดออกเซน ไม่ละลายในไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ที่มีโซ่ยาว น้ำมันจากพืชและสัตว์ ตัวทำละลายอินทรีย์ประเภทเฮโลเจน เช่น คลอโรฟอร์ม ดังนั้นกลิเซอรินจึงเป็นตัวทำละลายที่มีประโยชน์ต่อสารหลายชนิด แสดงค่าคุณสมบัติทางกายภาพของกลิเซอรอล ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรอล [4]

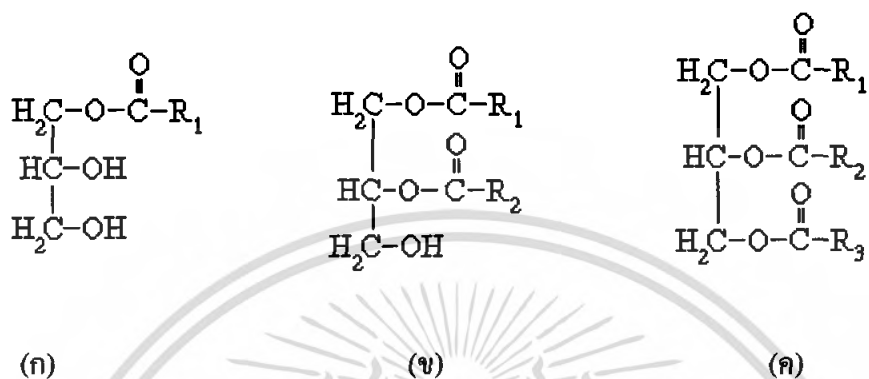
Property	Value
mp, °C	18.17
bp, °C at 101.3 kPa ^a	290
sp gr, 25/25°C in vacuum	1.2617
100% glycerol in air	1.2620
N ²⁰	1.47399
vapor pressure, Pa ^b at 50°C	0.33
at 100°C	26
viscosity at 20°C, mPa.s(=cP)	1499
heat of vaporization, J/mol ^c at 55°C	88.12
at 195°C	76.02
Heat of solution to infinite dilution, kJ/mol ^c	5.778
Heat of formation, kJ/mol ^c	667.8
Thermal conductivity, W/(m.K)	0.28
Fire point, °C	204

คุณสมบัติทางเคมี

กลีเซอรอลเกิดปฏิกิริยาได้เหมือนแอลกอฮอล์ทั่วไป โดยที่หมู่ไฮดรอกซีด้านนอกมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าหมู่ไฮดรอกซีตรงกลางภายใต้สภาวะเป็นกลางหรือด่าง กลีเซอรินสามารถทนความร้อนได้ถึง 275 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดเป็นอะโครลีน (Acrolein) ในทางกลับกันในสภาวะกรดจะเกิดอะโครลีนที่ 160 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส อะโครลีนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นปฏิกิริยาของกลีเซอรอลจึงควรทำในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่างที่อุณหภูมิห้อง กลีเซอรินจะดูดซับน้ำอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ กลีเซอรินยังถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย โดยที่คาร์บอนอะตอมนอกจะถูกออกซิไดซ์เกิดเป็นหมู่คาร์บอกซิล ส่วนคาร์บอนอะตอมกลางจะเกิดเป็นหมู่คาร์บอนิล

2.3 กลิเซอไรด์ (Glyceride) [6,7]

กลิเซอไรด์เป็นเอสเทอร์ระหว่างกลิเซอรินกับกรดไขมัน โดยหมู่ไฮดรอกซิลของกลิเซอรินที่มีอยู่ 3 หมู่ จะรวมตัวกับกรดไขมันโดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันเกิดโมโนกลิเซอไรด์ ไดกลิเซอไรด์และไตรกลิเซอไรด์ ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของ (ก) โมโนกลิเซอไรด์ (ข) ไดกลิเซอไรด์ (ค) ไตรกลิเซอไรด์ [8]

ในธรรมชาติพบไตรกลิเซอไรด์มากกว่าโมโนกลิเซอไรด์ และไดกลิเซอไรด์ โดยหมู่ของไขมันที่ต่อกับกลิเซอรินอาจจะเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน และจะเป็นกรดไขมันที่อิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัวก็ได้ ถ้านำไตรกลิเซอไรด์ไปทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันซึ่งเป็นการย่อยสลายพันธะของเอสเทอร์ด้วยด่าง จะให้ผลิตภัณฑ์เป็นกลิเซอรินและเกลือของกรดไขมันที่อุณหภูมิห้อง ไตรกลิเซอไรด์จะมีสถานะเป็นของเหลวหรือของแข็ง ขึ้นอยู่กับชนิดและธรรมชาติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ

ส่วนโมโนกลิเซอไรด์และไดกลิเซอไรด์ สามารถละลายได้ทั้งในสารที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ด้านที่มีขั้วจะจับหมู่ไฮดรอกซิล ส่วนด้านที่ไม่มีขั้วจะจับกับโมเลกุลของกรดไขมัน จึงจัดเป็นอิมัลซิไฟเออร์ชนิดหนึ่ง นอกจากนี้ยังเป็นสารที่มีกลิ่นอ่อน ไม่มีรส สามารถย่อยสลายได้เองโดยธรรมชาติและปลอดภัย จึงมีความสำคัญและใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยา อาหาร และเครื่องสำอางค์

2.4 ไบโอดีเซล [9]

2.4.1 ความหมายของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (Biodiesel) หรือน้ำมันดีเซลชีวภาพ คือ สิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ สามารถนำมาใช้หรือทำการปรับเปลี่ยนสภาพก่อนนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

2.4.2 การผลิตไบโอดีเซล [9,10]

การผลิตไบโอดีเซลมีหลายวิธีคือ

ก การนำมาใช้โดยตรงและการผสม (Direct use and blending)

การนำมาใช้โดยตรง คือ การนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องเติมสารเคมีอื่นเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน วัตถุประสงค์ของการใช้น้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าด เป็นตัวทำละลายผสมกับน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ในสัดส่วนต่างๆ เพื่อต้องการลดความหนืดของน้ำมันพืชและไม่ให้เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาวนั้น ในทางปฏิบัติปัญหาที่เห็นได้ชัด คือ น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์มีความหนืดสูงเพราะมีส่วนประกอบของกรดไขมันอิสระอยู่ ทำให้เกิดเป็นยางเหนียวจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการเก็บรักษา กับปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจากการเผาไหม้ และเกิดคราบคาร์บอนสะสม โดยพบว่าอัตราส่วนโดยมวลของน้ำมันดีเซลต่อน้ำมันพืชที่ 80 : 20 ให้ผลเหมือนกรณีที่ใช้ น้ำมันดีเซล 100% อัตราส่วนนี้จึงนิยมใช้มากที่สุด โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์

ข การทำเป็นไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

เป็นกระบวนการที่ทำให้ของเหลวที่มีสารแขวนลอยกระจายตัวอยู่ โดยของเหลวทั้งสองไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน วัตถุประสงค์ของวิธีการนี้ คือ เพื่อแก้ปัญหาเรื่องความหนืดของน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ที่มีค่าสูง โดยใช้ตัวทำละลาย เช่น เมทานอล เอทานอล และ 1-บิวทานอล

ค การแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking or Pyrolysis)

เป็นการให้ความร้อนกับน้ำมันพืชในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน เพื่อให้ไขมันแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลงและได้สารประกอบอื่นๆ ด้วย วัตถุประสงค์ที่เผาไพโรไลซิสอาจเป็นน้ำมันพืช ไขมันจากสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

ง ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Tranesterification)

เป็นกระบวนการในการผลิตไบโอดีเซลที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบัน ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันจากสัตว์กับแอลกอฮอล์ในสภาวะที่อุณหภูมิ อัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมัน และตัวเร่งปฏิกิริยาเหมาะสม ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน คือปฏิกิริยาการแทนที่ของแอลกอฮอล์ในเอสเทอร์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่คล้ายกับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แต่ต่างกันที่ใช้แอลกอฮอล์แทนน้ำ กระบวนการนี้จะช่วยลดความหนืดของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันในน้ำมันหรือไขมันสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 น้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล [11,12]

โดยทั่วไปไบโอดีเซลผลิตจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ของน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ ซึ่งน้ำมันพืช หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) มีโครงสร้างเป็น C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมันชนิดต่างๆ ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว มีปริมาณของกรดไขมันถึงร้อยละ 94 - 96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ น้ำมันพืชเป็นสารที่ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย และจะรวมตัวเป็นก้อนที่อุณหภูมิสูง หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์ จากการทำน้ำมันพืชมีพันธะคู่ในโครงสร้างโมเลกุลทำให้น้ำมันพืชไม่อยู่ตัว ไม่เสถียร ไม่สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน โดยค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชจะเป็นดัชนีชี้บ่งถึงปริมาณพันธะคู่ (Double Bond) ที่มีอยู่ในโครงสร้างของน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ เป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์ได้มากและเร็วกว่าน้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำกว่าเท่าใด

น้ำมันพืชสามารถแบ่งชนิดตามค่าไอโอดีนได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้ [12]

- 1) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนระหว่าง 160 – 230 หรือเรียกว่าน้ำมันชักแห้ง (Drying Oil) เป็นน้ำมันที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์ได้มาก เช่น น้ำมันลินสีด และน้ำมันมะพอก
- 2) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนระหว่าง 125 – 150 หรือเรียกว่าน้ำมันกึ่งชักแห้ง (Semi-drying Oil) เช่น น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันเมล็ดขางพารา
- 3) น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำกว่า 120 หรือเรียกว่าน้ำมันไม่ชักแห้ง (Non-drying Oil) เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันรำข้าว น้ำมันเมล็ดในปาล์ม และน้ำมันสบู่ดำ

คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ [11]

น้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ ^{21°C} (กรัม/มล.)	ความหนืด ^{21°C} (เซนติพอยต์)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กก.)
ถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
ทานตะวัน	0.918	60	39,490
มะพร้าว	0.915	51.9	37,540
ถั่วลิสง	0.914	67.1	39,470
ปาล์ม	0.898	88.6	39,550
เมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39,720
เมล็ดสบู่ดำ ²	0.915	36.9 ^{38*}	39,000
น้ำมันคิเซล	0.845	3.8	46,800

คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.4
 ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติ และองค์ประกอบกรดไขมันหลัก ของน้ำมันพืชต่างๆ [13]

น้ำมันพืช	ค่าไอโอดีน	องค์ประกอบกรดไขมันหลัก (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						
		C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
น้ำมันปาล์ม	14.1-21.0	ND-0.5	0.5-2.0	39.3-47.5	3.5-6.0	36.0-44.0	9.0-12.0	ND-0.5
น้ำมันปาล์มไฮลีน	> 56	0.1-0.5	0.5-1.5	38.0-43.5	3.5-5.0	39.8-46.0	10.0-13.5	ND-0.6
น้ำมันปาล์มสเตียร์น	< 48	0.1-0.5	1.0-2.0	48.0-74.0	3.9-6.0	15.5-36.0	3.0-10.0	0.5
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	50.0-55.0	45.0-55.0	14.0-18.0	6.5-10.0	1.0-3.0	12.0-19.0	1.0-3.5	ND-0.2
น้ำมันมะพร้าว	6.3-10.6	45.1-53.2	16.8-21.0	7.5-10.2	2.0-4.0	5.0-10.0	1.0-2.5	ND
น้ำมันถั่วลิสง ¹	86-107	ND-0.1	ND-0.1	8.0-14.0	1.0-4.5	35.0-67.0	13.0-43.0	ND-0.3
น้ำมันเมล็ดคอปูค่า ²	101	ND	ND	14.9	6	41.2	37.4	ND
น้ำมันเมล็ดเรป	94-120	ND	ND-0.2	1.5-6.0	0.5-3.1	8.0-60.0	11.0-23.0	5.0-13.0
น้ำมันถั่วเหลือง	124-139	ND-0.1	ND-0.2	8.0-13.5	2.0-5.4	17.7-28.0	49.8-59.0	5.0-11

หมายเหตุ หมายเลขหน้าเครื่องหมาย : หมายถึง จำนวนคาร์บอนอะตอม

หมายเลขหลังเครื่องหมาย : หมายถึง จำนวนพันธะคู่

ND : ไม่พบ

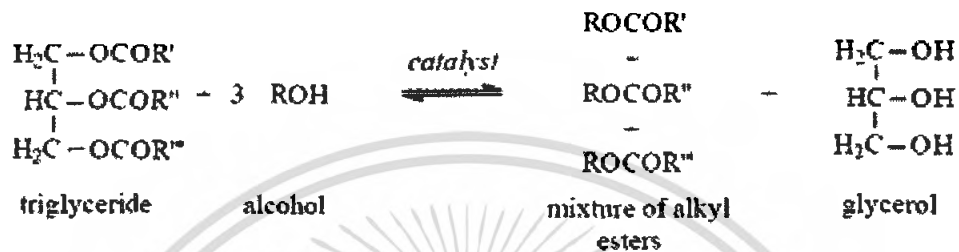
* ที่มา: Codex Alimentarius Commission, FAO/WHO, August 2000, ND: ไม่พบ

1. รวมถึง C20:0 = 1.0-2.0

2. เจนวนิชปัญญากุล (2524)

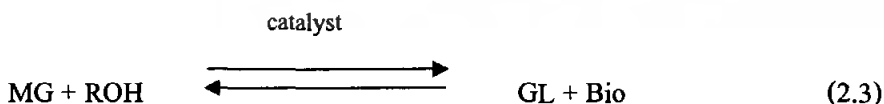
2.5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Tranesterification) [10,14]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาในการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีโซ่ยาวในน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ให้เป็นอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน หรือ ไบโอดีเซล และไดกลีเซอรินเป็นผลพลอยได้ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรม ยา เครื่องสำอางค์ ฯลฯ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สมการเคมีของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

สำหรับกลไกการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ โดยในขั้นตอนแรกไตรกลีเซอไรด์ (TG) จะถูกเปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ (DG) และน้ำมันไบโอดีเซล (Bio) และไดกลีเซอไรด์เกิดปฏิกิริยาเป็น โมโนกลีเซอไรด์ (MG) และเป็นกลีเซอรอล (GL) ในที่สุด ตามสมการที่ 2.1 สมการที่ 2.2 และสมการที่ 2.3 ตามลำดับ



ซึ่งแต่ละปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ และสมดุลจะมีทิศทางไปทางด้านการผลิตเอสเทอร์ของกรดไขมัน และกลีเซอริน

ปัจจัยที่จำเป็นต้องคำนึงถึงในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน มีหลายปัจจัยดังนี้

1. แอลกอฮอล์ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน มีหลายชนิดได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล ไอโซโพรพานอล บิวทานอล และเพนทานอล แต่ที่นิยมใช้คือ เมทานอล และ เอทานอล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมทานอลเนื่องจากเป็นแอลกอฮอล์ที่มีราคาถูก โมเลกุลเล็ก และ มีความเป็นขั้วสูงทำให้สามารถละลายตัวเร่งปฏิกิริยาได้ง่าย

2. ตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน มีหลายชนิดด้วยกันได้แก่ ค่าง กรด และเอนไซม์ เป็นต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบค่างได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมเมทอกไซด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมเมทอกไซด์ โดยตัวเร่งแบบนี้เหมาะกับการทำปฏิกิริยาด้วยน้ำมันพืชที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ และปริมาณน้ำน้อยๆ เนื่องจากอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง คือ ปฏิกิริยาการเกิดสบู่หรือปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) ทำให้ได้ผลผลิตลดลง ส่วนน้ำอาจไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาและทำให้เกิดเกลือของค่างได้ กรณีที่น้ำมันพืชมีปริมาณกรดไขมันอิสระและน้ำสูงจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรดเป็นส่วนใหญ่ เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก หรือกรดซัลโฟนิก โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบนี้จะช่วยทำให้กรดไขมันอิสระเปลี่ยนไปเป็นเอสเทอร์ได้สูง แต่อัตราเร็วของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นเมทิลเอสเทอร์นั้นใช้เวลานานมาก ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์นั้น สามารถใช้กับน้ำมันพืชที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงๆ ได้ แต่ในปัจจุบันเอนไซม์ยังคงมีราคาสูงมาก มีผลต่อค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต ซึ่งอาจจะมีการพัฒนาการใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้นในอนาคต

3. อัตราส่วนโดยโมลของสารตั้งต้น เป็นตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นอัตราส่วนจำนวน โมลของแอลกอฮอล์กับน้ำมันพืชหรือไตรกลีเซอไรด์ จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่าง 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์กับ 3 โมลของแอลกอฮอล์ อย่างไรก็ตามอัตราส่วนจำนวน โมลของแอลกอฮอล์กับน้ำมันพืชที่สูงขึ้นจะมีผลต่อการแยกกลีเซอรินออก เพราะมีการละลายกลีเซอรินในเมทานอลเพิ่มขึ้น เมื่อกลีเซอรินยังคงละลายอยู่ในสารละลายจะช่วยทำให้สมดุลเกิดย้อนกลับ ไปทางซ้ายมือส่งผลให้ได้ผลผลิตลดลง และหากอัตราส่วนจำนวน โมลของแอลกอฮอล์กับน้ำมันพืชมีค่าต่ำเกินไป จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์

4. ปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณน้ำ ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นค่าง สารตั้งต้นทุกตัวควรปราศจากน้ำ (Anhydrous) และไตรกลีเซอไรด์หรือน้ำมันพืชควรมีค่ากรดไขมันอิสระน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ถ้ากรดไขมันอิสระมากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ [15] ต้องมีการทำปฏิกิริยาสะเทินกรดไขมันอิสระ ก่อนนำน้ำมันพืชไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [16] มิฉะนั้นจะทำให้ได้ไบโอดีเซลลดลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันจากกรดไขมันอิสระ ทำให้เกิดน้ำขึ้นในปฏิกิริยาดังนี้

6. การกวนผสม เนื่องจากสารตั้งต้นระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์ละลายเข้ากันได้ไม่ดีจึงเกิดการแยกชั้นกัน ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสของของเหลว อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่พบจึงเกิดขึ้นช้าด้วย

7. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราเร็วในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้นตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา [21]

2.6 การดูดซับ [22]

การดูดซับ คือ กระบวนการจับโมเลกุลของของเหลวหรือก๊าซด้วยของแข็งหรือของเหลว โดยโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) จะอยู่บนผิวของตัวดูดซับ ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นของแข็ง นิยมใช้สารประกอบที่มีรูพรุนเป็นตัวดูดซับ เพราะว่ามีพื้นที่ผิวภายในมาก เมื่อ โมเลกุลของของไหล ผ่านเข้าไปในตัวดูดซับจะถูกดูดไว้ภายในรูพรุน ซึ่งกระบวนการดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างที่ซับซ้อนของตัวดูดซับ คุณสมบัติของทั้งตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ จำนวนชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (Molecular layers) ที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิว และขนาดรูพรุนของตัวดูดซับ การดูดซับโมเลกุลของสารบนผิวของตัวดูดซับ อาจเกิดจากแรงทางกายภาพหรือแรงจากทางเคมีหรือจากทั้งสองแรงร่วมกัน

2.7 ประเภทของการดูดซับ [22-26]

การดูดซับแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

2.7.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

การดูดซับทางกายภาพ มีแรงแวนเดอร์วาลส์เป็นแรงในการดูดซับระหว่างกระบวนการดูดซับทางกายภาพ ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง การดูดซับทางกายภาพเป็นกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นเอง องค์ประกอบหลักของการดูดซับทางกายภาพ คือ ธรรมชาติของสาร แรงระหว่างผิวสัมผัส และความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับ

การดูดซับทางกายภาพเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ และเป็นกระบวนการคายความร้อน อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะถูกจำกัดโดยอัตราการเคลื่อนที่ของมวลในวัฏภาคก๊าซ หรือในตัวดูดซับ ความร้อนของการดูดซับทางกายภาพจะสูงเมื่อก๊าซมีอุณหภูมิต่ำๆ กว่าอุณหภูมิวิกฤต

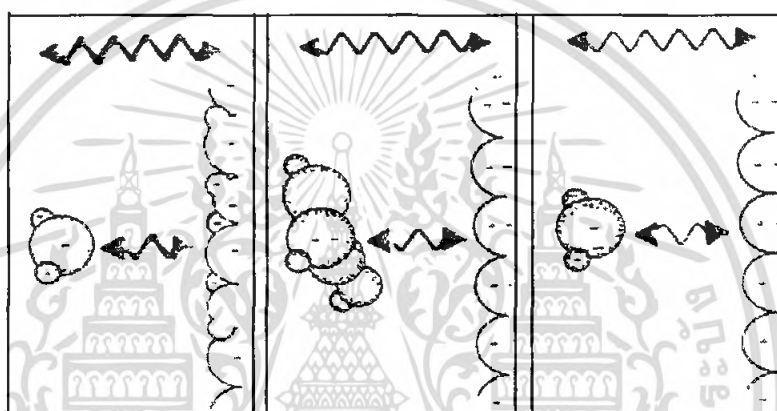
ลักษณะการจับตัวด้วยแรงทางกายภาพเกิดผล 3 อย่าง ดังรูปที่ 2.4

1) เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างเป็น โมเลกุลมีขั้วทั้งคู่

2) เกิดจากหลักการที่ว่า โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว สามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้ ถ้าอิเล็คตรอนเคลื่อนที่มาอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมาก และเมื่อมีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะแบบเดียวกัน เข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดกัน แรงที่เกิดขึ้นจะเป็นแรงอ่อนๆ ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับต่างเป็น โมเลกุลที่ไม่มีขั้วทั้งคู่

3) เกิดจากโมเลกุลมีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว แล้วเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงกันข้ามแล้วเกิดการดึงดูดกัน ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเป็นโมเลกุลมีขั้วและโมเลกุลของตัวดูดซับเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว

โมเลกุลมีขั้ว-โมเลกุลมีขั้ว โมเลกุลไม่มีขั้ว-โมเลกุลไม่มีขั้ว โมเลกุลมีขั้ว-โมเลกุลไม่มีขั้ว



รูปที่ 2.4 การดูดซับ ในลักษณะต่างๆ ด้วยแรงทางกายภาพ

2.7.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

การดูดซับทางเคมี มีพันธะทางเคมีเป็นแรงในการดูดซับ แรงที่เกิดขึ้นจะมากกว่าแรงในการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมีขึ้นอยู่กับธรรมชาติของตัวถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่สามารถทำการดูดซับได้ (Surface site)

ธรรมชาติของการดูดซับ สามารถศึกษาได้จากความสามารถในการเข้าสู่สมดุลของโมเลกุลที่เกี่ยวข้อง สมดุลของการดูดซับที่อ้างอิงจากหลักการทางอุณหพลศาสตร์ คือ อัตราของโมเลกุลถูกดูดซับที่ผิวเท่ากับอัตราที่โมเลกุลนั้นถูกปลดปล่อยออกมา การอธิบายปรากฏการณ์ในการดูดซับนิยมใช้สมมติฐานเกี่ยวกับระบบสมดุลของก๊าซ - ของเหลว (Gas - liquid equilibrium) เป็นพื้นฐาน

การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ

1) การดูดซับทางเคมีที่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น (Activated chemisorption) การดูดซับลักษณะนี้ อัตราเร็วในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิตามสมการของอาร์เรเนียส ($k_a e^{-E/RT}$)

2) การดูดซับทางเคมีที่ไม่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น (Nonactivated chemisorption) การดูดซับลักษณะนี้ อัตราเร็วในการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ค่าพลังงานการกระตุ้นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้วการเกิดการดูดซับทางเคมีในช่วงเริ่มต้น มักจะเป็นการดูดซับที่ไม่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น หลังจากนั้นกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นในอัตราที่ช้าลงและมักจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

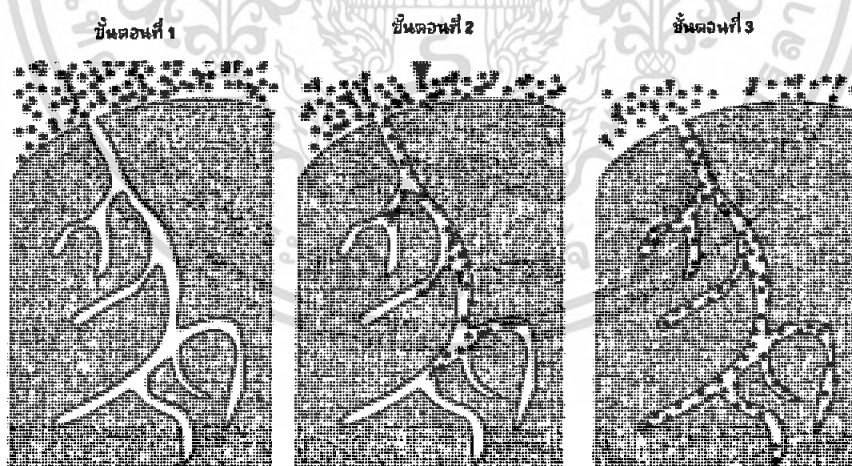
ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

- 1) การดูดซับทางกายภาพไม่มีการถ่ายเทหรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน สามารถผันกลับได้ในสภาวะอุณหภูมิเดียวกัน แต่การดูดซับทางเคมีจะผันกลับไม่ได้
- 2) การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดได้ทุกๆ ไปบนพื้นผิวตัวดูดซับ ไม่มีบริเวณจำเพาะในการเกิดกระบวนการดูดซับภายใต้สภาวะความดัน และอุณหภูมิที่เหมาะสมจะเกิดการดูดซับหลายชั้นได้ การดูดซับทางเคมีจะเกิดในบริเวณจำเพาะและจะเกิดแบบชั้นเดียวเท่านั้น
- 3) ความร้อนที่ได้จากการดูดซับทางกายภาพจะน้อยกว่าการดูดซับทางเคมี

2.8 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับเกิดขึ้น 3 ระยะดังแสดงในรูปที่ 2.5

- 1) โมเลกุลของตัวดูดซับจะไปเกาะที่ผิวรอบนอก
- 2) โมเลกุลของตัวดูดซับจะถูกดูดซับและแพร่เข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ
- 3) เกิดการดูดซับในรูพรุน ระหว่างตัวดูดซับและพื้นที่ผิวเกิดทั้งแรงทางกายภาพและทางเคมี



รูปที่ 2.5 กลไกการดูดซับ

2.9 ตัวดูดซับ [1]

ตัวดูดซับสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

1) ตัวดูดซับแบบไม่มีขั้ว (Non – polar adsorbent) จะเกิดการดูดซับแบบกายภาพ ตัวดูดซับที่สำคัญของกลุ่มนี้ คือ คาร์บอนกัมมันต์

2) ตัวดูดซับแบบมีขั้ว (Polar adsorbent) การดูดซับที่เกิดขึ้นกับสารประเภทนี้เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลก๊าซและผิวของตัวดูดซับ ได้แก่ พวกรอกไซด์ เช่น ออกไซด์ของซิลิกา และออกไซด์ของโลหะ วัสดุจำพวกซิลิกา ได้แก่ ซิลิกาเจล ฟูลเลอร์เอิร์ธ (Fuller's earth)

3) ตัวดูดซับประเภทที่อาศัยปฏิกิริยาเคมี ตัวดูดซับนี้จะมีผิวหน้าที่สามารถดูดซับทางเคมีได้ โดยทั่วไปตัวดูดซับที่ใช้ ได้แก่ โคลโลไมด์ ตัวดูดซับ อัลคาไลน์อะลูมินา ซิลิกาเจลกัมมันต์ และแมงกานีสออกไซด์กัมมันต์

2.9.1 คาร์บอนกัมมันต์

คาร์บอนกัมมันต์ (Activated Carbon) คือวัสดุที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยนำวัตถุดิบไปผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์ (Carbonization) และกระบวนการกระตุ้น (Activation) คาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตได้เป็นที่รู้จักกันมานานในแง่ของการใช้เป็นตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับสูง ทั้งนี้เนื่องจากตัวดูดซับมีพื้นที่ผิวสูงและมีรูพรุนมาก นอกจากนี้ตามผิวของรูพรุนเหล่านี้ยังมีอิเล็กตรอนอิสระที่พร้อมจะแลกเปลี่ยนประจุ และยึดเหนี่ยวโมเลกุลของสารต่างๆ ได้อย่างดี

คาร์บอนกัมมันต์เป็นรูปอสัณฐานของถ่าน คือ มีรูปร่างไม่แน่นอน ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาเป็นพิเศษเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุด โดยการทำให้มีรูพรุนหรือโพรงในเนื้อคาร์บอนมากที่สุด พื้นที่ผิวจะอยู่ระหว่าง 500 – 2000 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดรูพรุนตั้งแต่ 20 - 2000 อังสตรอม ใช้สำหรับดูดซับ ก๊าซ หรือสารปนเปื้อนอื่นๆ ความพรุนของคาร์บอนกัมมันต์เป็นผลเนื่องมาจากการกระตุ้นทางกายภาพหรือเคมี ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผลึก (Element crystallites) เพิ่มขึ้น มีพื้นที่ผิวภายใน (Internal surface area) เพิ่มขึ้น สามารถดูดซับและกักเก็บได้มากกว่าถ่านธรรมดา [27-29]

ด้วยเหตุนี้จึงนิยมใช้คาร์บอนกัมมันต์เป็นตัวดูดซับสารทั้งที่อยู่ในสถานะก๊าซและของเหลว ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างแพร่หลาย การใช้คาร์บอนกัมมันต์ปริมาณเพียงเล็กน้อยสามารถกำจัดสี และกลิ่นในของเหลวชนิดต่างๆ ได้ เช่น ในอุตสาหกรรมทำไวน์และน้ำตาล ในการทำให้คาร์บอนกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับดีขึ้นนั้น ต้องนำมาผ่านกระบวนการกระตุ้นซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ไอน้ำ [30]

วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตคาร์บอนกัมมันต์ควรมีปริมาณคาร์บอนสูงและขี้เถ้า (Ash) ต่ำ โดยมักเป็นพวกอินทรีย์สารซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่มักเป็นพวกเซลลูโลสที่มาจากพืชและต้นไม้ เช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้ง และวัสดุเหลือทิ้งทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่หวังกำไรใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกษตร เช่น แกลบ กะลามะพร้าว ชี้อเลื้อย ช้างข้าวโพด เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ แอนทราไซต์ เป็นต้น ส่วนวัตถุดิบที่มาจากสัตว์นั้นมีไม่มาก เช่น กระดูก เลือด และเขาสัตว์

ในเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า ไม้ กระดูก ลิกไนต์ และฟิท เหมาะสำหรับเป็นวัตถุดิบผลิตคาร์บอนกัมมันต์เพื่อดูดซับสิ่งปนเปื้อนในของเหลว ส่วนกะลามะพร้าว ถ่านหิน ถากปีโตรเลียม เหมาะสำหรับเป็นวัตถุดิบผลิตคาร์บอนกัมมันต์เพื่อดูดซับสิ่งปนเปื้อนในก๊าซ

2.9.2 ซิลิกาเจล

ซิลิกาเจล (Silica Gel) ทำมาจากโซเดียมซิลิกา เมื่อผสมกับกรดกำมะถันจะได้ผลิตภัณฑ์คอนคัลยเจล จากนั้นทำให้แห้งและอบโดยขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ใช้ในการผลิตเจล ทำให้สามารถผลิตเกรดต่างๆ กัน ซึ่งมีลักษณะการใช้งานต่างกันได้ โดยปกติแล้วจะใช้ซิลิกาเจลเพื่อกำจัดไอน้ำออกจากกระแสแก๊สทั้ง แต่จะ ไม่มีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิซึ่งสูงกว่า 260 องศาเซลเซียส [26]

2.9.3 อลูมินัมออกไซด์

เตรียมขึ้นจากอลูมินา หรือ ออกไซด์ ที่ได้รับการกระตุ้น โดยการทำให้ร้อนขึ้นในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย เพื่อให้เกิดเป็นเม็ดอลูมินัมออกไซด์พอร์น โดยปกติแล้วจะไม่ใช้อลูมินัมออกไซด์ในงานด้านการควบคุมมลพิษทางอากาศ แต่จะใช้เพื่อทำให้ก๊าซแห้งโดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้ความดันสูง และจะใช้เป็นสารรองรับในปฏิกิริยาใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ยกตัวอย่างเช่น การให้อลูมินาคูคซิมแพลททินัม หรือ แพลเลเดียมเพื่อใช้ในการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [26]

2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (Factor affecting adsorption) [24,25,27]

2.10.1 สมบัติของตัวดูดซับ

1) พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพอร์น (Surface area and pore structure)

ความสามารถในการดูดซับมากขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวมากขึ้น และโครงสร้างของรูพอร์นมีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับมากขึ้น

2) ขนาดของตัวดูดซับ (Adsorption size)

ตัวดูดซับที่ไม่มีรูพอร์นพื้นที่ผิวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อขนาดลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้ารูพอร์นมีจำนวนมากการดูดซับจะขึ้นกับรูพอร์นมากกว่าขนาด

2.10.2 สมบัติของตัวถูกดูดซับ

1) ความสามารถในการละลาย

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดึงออกจากน้ำไปเกาะบนผิวของตัวดูดซับ ดังนั้นสารที่ละลายน้ำได้ (หรือแตกตัวเป็นไอออนได้) ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นจึงถูกดูดซับได้ยาก และสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อย จะสามารถเกาะติดกับผิวของตัวดูดซับได้ดี

2) น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของ โมเลกุล

เมื่อน้ำหนักของ โมเลกุลและขนาดของ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มน้ำหนัก โมเลกุลส่งผลให้ความสามารถในการละลายลดลง

3) ความมีขั้วของ โมเลกุล

ความมีขั้วของ โมเลกุล ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อสภาพมีขั้ว (Polarity) เพิ่มขึ้นเพราะการเพิ่มสภาพมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มมากขึ้น

2.10.3 อุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

2.10.4 เวลา

เวลาเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ สำหรับการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดจะต้องนานเพียงพอที่จะทำให้ตัวดูดซับทำงาน ได้ดีและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนนำไปใช้จริง

2.11 ซิลิกาเจล (Silica Gel) [31]

2.11.1 คุณสมบัติทางเคมี

ซิลิกาเจล (Silica Gel) เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไฮดรอกไซด์ซิลิกา และกรดกำมะถัน ได้ผลึกตะกอนคล้ายเจล มีคุณสมบัติทางเคมีที่มีเสถียรภาพสูง เป็นตัวดูดซับที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีพิษ มีรูพรุนจำนวนมาก มีพื้นที่ผิวกว้างและมีความแข็งแรงสูง

คุณสมบัติทางเคมีของซิลิกาเจล สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางเคมีของซิลิกาเจล

Trade name/ Synonym	Silica gel
Molecular weight	60.08
Boiling point	2230 °C
Melting point	1610 °C

2.11.2 โครงสร้างและส่วนประกอบ

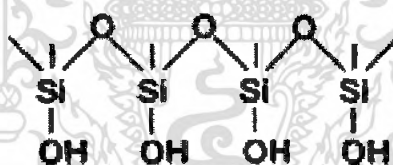
ซิลิกาเจล มีส่วนประกอบมาจากซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นส่วนใหญ่ดังตารางที่ 2.5 มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน ดังรูปที่ 2.6 โดยโครงสร้างภายในมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะแหล่งที่มาของซิลิกอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก ภายในซิลิกาเจลมีรูพรุนเล็กๆ มากมาย ทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากกว่า 800 ตารางเมตรต่อกรัม ถ้าเปรียบเทียบระหว่างซีโอไลต์กับซิลิกาเจล พบว่าซิลิกาเจลมีระยะเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าซีโอไลต์ โดยอยู่ระหว่าง 5 ถึง 3000 อังสตรอม ซึ่งโดยทั่วไปซิลิกาเจลมีขนาดของรูพรุน 110 อังสตรอม

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบของซิลิกาเจล [32]

องค์ประกอบ	ร้อยละ (%)
SiO ₂	99.71
Fe ₂ O ₃	0.03
Al ₂ O ₃	0.10
TiO ₂	0.09
CaO	0.01
ZrO ₂	0.02
Na ₂ O	0.02
Lg.loss	0.02



รูปที่ 2.6 โครงสร้างแบบอสมฐานของซิลิกาเจล [33]

กระบวนการดูดซับในซิลิกาเจลเป็นกระบวนการทางกายภาพ โดยตัวถูกดูดซับจะถูกเก็บไว้ในโพรงเล็ก ๆ ที่อยู่ภายในซิลิกาเจลซึ่งสามารถดูดซับได้มากถึง 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว โดยประสิทธิภาพในการดูดซับขึ้นกับพื้นที่ผิว โครงสร้างของรูพรุน ขนาดตัวดูดซับ อุณหภูมิและเวลาในการดูดซับ ซึ่งซิลิกาเจลมีประสิทธิภาพสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้ประสิทธิภาพจะลดลง และอาจคายตัวถูกดูดซับกลับออกมาได้ นอกจากนี้เมื่อซิลิกาเจลดูดซับเต็มที่แล้วยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ด้วยการอบที่อุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานประมาณ 3 ชั่วโมง ข้อดีของซิลิกาเจลคือไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยาและไม่เป็นพิษ ปลอดภัยที่จะใช้กับอาหารและยา จึงนิยมใช้ซิลิกาเจล สำหรับการห่ออาหาร สีนํ้า และใช้ทางเภสัชกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 ประโยชน์ของตัวดูดซับ [34,35]

2.12.1 การทำน้ำให้บริสุทธิ์

ใช้ตัวดูดซับดูดซับคลอรีนและสารอื่นๆ อยู่ในน้ำประปาหรือน้ำบาดาล หรืออาจนำมาดัดแปลงทำเครื่องกรองน้ำเพื่อให้น้ำบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย

2.12.2 อุตสาหกรรมเครื่องคั้นที่มีแอลกอฮอล์

ก. ใช้ตัวดูดซับกำจัดรสและกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากวิสกี โดยให้วิสกีไหลผ่านชั้นของตัวดูดซับ หรือใส่ตัวดูดซับกับวิสกีโดยตรงแล้วกรองออก

ข. ใช้ตัวดูดซับเติมลงในเบียร์เพื่อกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากการแช่เย็น โดยตัวดูดซับจะทำหน้าที่ดูดซับตะกอนโปรตีนที่เอนไซม์ย่อยไม่ได้ และยังใช้ตัวดูดซับในการเตรียมน้ำสะอาดก่อนนำไปต้มเพื่อผลิตเบียร์อีกด้วย

2.12.3 อุตสาหกรรมผลิตไขมันและน้ำมัน

ใช้ตัวดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปลอมปนในน้ำมันพืช

2.12.4 อุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล

ใช้ตัวดูดซับเพื่อฟอกสีน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล

2.12.5 อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหาร

ก. ใช้ตัวดูดซับดูดสีและกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากเจลาติน

ข. ใช้ตัวดูดซับดูดซับเพกติน (Pectin) ออกจากน้ำผลไม้ ทำให้น้ำผลไม้ใส และยังกำจัดกลิ่นที่ไม่ต้องการได้ แต่ต้องใช้ตัวดูดซับในปริมาณที่เหมาะสม มิฉะนั้นจะทำให้รสและกลิ่นของน้ำผลไม้เปลี่ยนไป

2.12.6 การทำให้ตัวทำละลายบริสุทธิ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

ใช้ตัวดูดซับเป็นตัวดูดซับสิ่งเจือปนในตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อสามารถนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตดินปืนชนิดไม่มีควัน อุตสาหกรรมผลิตฟิล์มถ่ายภาพ อุตสาหกรรมผลิตหนังเทียม

2.12.7 การประยุกต์ใช้งานด้านอื่นๆ

ก. ใช้ดูดควันหรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในห้องปรับอากาศหรือตู้เย็น

ข. ใช้ดูดซับสิ่งสกปรกออกจากก๊าซธรรมชาติ หรือกำจัดสารที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบในโรงแยกก๊าซธรรมชาติ

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐพงษ์ เสาะแสวงหา และรัฐพงษ์ โอตาการ [36] ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา เอสเทอร์ฟิเคชันในการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มก่อนที่จะนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการลดกรดแล้วไปผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยกรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับเมทานอล ได้ผลิตภัณฑ์เป็น เมทิลเอสเทอร์ (น้ำมันดีเซลชีวภาพ) และน้ำในสถานะที่มีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยมวลของกรดไขมันอิสระต่อเมทานอลต่อ กรดซัลฟิวริกเป็น 1 : 2.25 : 0.05 ตามลำดับ และศึกษาผลของการเติมตัวทำละลายร่วมเมทิล-เทอร์เทอริบิวทิลอีเทอร์ เพื่อให้ไขมันปาล์มและเมทานอลผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อนำของเหลว ตัวอย่างมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ในปฏิกิริยา แล้ววิเคราะห์ข้อมูล ที่ได้ให้เป็นแบบจำลองปฏิกิริยาฐานอันดับ 1 พบว่าพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยา เอสเทอร์ฟิเคชันอยู่ในช่วง 40.64 – 48.63 กิโลจูล/โมลของกรดไขมันอิสระ

ลลิตา อัตนโธ อรเพ็ญ หนูสุวรรณ และพิศมัย เจนวนิชปัญญกุล [37] ได้ศึกษาถึงวิธีการ วิเคราะห์คุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี โดย เตรียมเมทิลเอสเทอร์ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ระหว่างน้ำมันมะพร้าว และเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ โดยมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นำ เมทิลเอสเทอร์ มาผ่านขั้นตอนการทำอนุพันธ์เพื่อช่วยเพิ่มการกลายเป็นไอของสาร โดยใช้ MSTFA เป็นสารก่ออนุพันธ์ จากนั้นวิเคราะห์องค์ประกอบเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ซึ่งประกอบด้วย DB-5ht capillary column (15 ม. x 0.32 มม.) และ เฟลมไอออไนเซชัน ดีเทคเตอร์ (FID) จากผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพของเมทิลเอสเทอร์ในเมทิลเอสเทอร์ จากน้ำมันมะพร้าว โดยวิธีการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ให้ผลดี โดยมีการแยกของสารเมทิลเอสเทอร์ โมโน- ได- และ ไตรกลีเซอไรด์ เมื่อใช้โปรแกรมอุณหภูมิจาก 50-350 องศาเซลเซียส

ธิดิมา อินทร์ลี และสุริดา อรรถยานันทน์ [38] ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา เอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในไขปาล์ม เพื่อลดกรดไขมันอิสระก่อนที่จะนำไปสังเคราะห์ น้ำมันดีเซลชีวภาพ โดยใช้ไขปาล์มที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ 85 เปอร์เซ็นต์ทำปฏิกิริยากับ กลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันชีวภาพโดยใช้กรดซัลฟิวริก 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ของกรดไขมันอิสระเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็น โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ และน้ำ โดยใช้ตัวแปรในการทำปฏิกิริยา ดังนี้ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 150, 175 และ 200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรินและกรดไขมันอิสระ 1 : 1 และ 1.5 : 1 ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรินและกรดไขมันอิสระ 1.5 : 1 ที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง จะมีปริมาณของกรดไขมันอิสระเหลือน้อยที่สุด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักศึกษาเห็นว่าไม่เหมาะสมหรือไม่ควรเปิดเผยแก่สาธารณะ หรือหากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.38 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยามูลฐาน ที่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยา $-r_{FFA} = kC_{FFA}C_{GL}$ กรัมโมลกรดไขมันอิสระ/ลิตรชั่วโมง เมื่อ $k = 0.174 \exp\left[\frac{E_A}{8.314}\left(\frac{1}{423} - \frac{1}{T}\right)\right]$ ลิตร/โมลชั่วโมง และค่าพลังงานกระตุ้นมีค่าเท่ากับ 66.82 กิโลจูล/โมล

นพรัตน์ พุทธสุวรรณและสุขสถิตย์ บำรุงยา [39] ได้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ สารละลายสีของโกเรด เพื่อใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นโครงการนี้จึงศึกษาการดูดซับสารละลายสีของโกเรดออกจากน้ำเสียด้วยตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ในเบดนิ่ง โดยใช้อัตราการไหลของสารป้อน 10 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง และจากการศึกษาผลของความสูงคอลัมน์ที่ 5, 10, 15 และ 20 เซนติเมตร เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีของโกเรดเป็น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณของสารละลายสีของโกเรด ที่ถูกดูดซับไว้เพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของคอลัมน์มากขึ้น และจากการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีของโกเรดที่ 10, 20, 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้ความสูงของคอลัมน์เป็น 10 เซนติเมตร พบว่าเวลาที่ใช้ในการดูดซับจนถึงจุดอิ่มตัวจะลดลง เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีของโกเรดเพิ่มขึ้น สำหรับการศึกษาคือ ไอโซเทอร์มการดูดซับพบว่าการทดลองเป็นการดูดซับแบบ unfavorable isotherm

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 การสังเคราะห์แมกนีเซียมซัลไฟด์

สารเคมีและอุปกรณ์

- สารเคมี
 1. โซเดียมเมตตะซัลไฟด์
 2. แมกนีเซียมไนเตรท
 3. น้ำกลั่น
- อุปกรณ์
 1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดชนิดชั่ง 4 ตำแหน่ง
 2. บีกเกอร์
 3. เครื่องกรองสุญญากาศ
 4. ตู้อบ
 5. เตาเผา
 6. เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็ก
 7. เครื่องเหวี่ยงแยก
 8. แผ่นให้ความร้อน
 9. บีกเกอร์ 500 มิลลิลิตร และ 1 ลิตร
 10. ขวดวัดปริมาตร 250 มิลลิลิตร
 11. กระบอกตวง 100 มิลลิลิตร
 12. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
 13. ปิเปต 25 มิลลิลิตร
 14. ครุฑเข็ม
 15. กรวยแก้ว
 16. กระจกกรอง
 17. แท่งแก้วคนสาร
 18. ช้อนตักสาร
 19. นาฬิกาจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 การเตรียมสารเคมีสำหรับการทดลอง

- สารละลายโซเดียมเมตตะซิติเกตเข้มข้น 1.0 โมลาร์

ชั่งโซเดียมเมตตะซิติเกต 30.67 กรัม ในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ คนให้ละลายบนแผ่นให้ความร้อน แล้วจึงเก็บในขวดวัดปริมาตร

- สารละลายแมกนีเซียมไนเตรทเข้มข้น 0.8 โมลาร์

ชั่งแมกนีเซียมไนเตรท 51.26 กรัม ในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ คนให้ละลาย แล้วจึงเก็บในขวดวัดปริมาตร

3.1.2 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย

- สารละลายโซเดียมเมตตะซิติเกต

ปีเปตสารละลายโซเดียมเมตตะซิติเกตเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร โดยคำนวณหาปริมาตรสารละลายที่ความเข้มข้น 0.33, 0.50, 0.60 และ 0.67 โมลาร์ ตามลำดับ ได้จากสมการ

$$V_2 = \frac{(N_1 \times V_1)}{N_2} \quad (3.1)$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตตะซิติเกตเริ่มต้น (โมลาร์)
 V_1 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมเมตตะซิติเกตที่ปีเปตมา (มิลลิลิตร)
 N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตตะซิติเกตที่เตรียม (โมลาร์)
 V_2 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมเมตตะซิติเกตที่เตรียม (มิลลิลิตร)

- สารละลายแมกนีเซียมไนเตรท

ปีเปตสารละลายแมกนีเซียมไนเตรทเข้มข้น 0.8 โมลาร์ ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร โดยคำนวณหาปริมาตรสารละลายที่ความเข้มข้น 0.30, 0.44, 0.52 และ 0.57 โมลาร์ ตามลำดับ ได้จากสมการ

$$V_2 = \frac{(N_1 \times V_1)}{N_2} \quad (3.1)$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายแมกนีเซียมไนเตรทเริ่มต้น (โมลาร์)
 V_1 = ปริมาตรของสารละลายแมกนีเซียมไนเตรทที่ปีเปตมา (มิลลิลิตร)
 N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายแมกนีเซียมไนเตรทที่เตรียม (โมลาร์)
 V_2 = ปริมาตรของสารละลายแมกนีเซียมไนเตรทที่เตรียม (มิลลิลิตร)

3.1.3 การสังเคราะห์แมกนีเซียมซัลไฟด์

1. ปิเปตสารละลายโซเดียมเมตตะซัลไฟด์มาตรฐานความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ จำนวน 50 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นจำนวน 100, 50, 33.33 และ 25 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตตะซัลไฟด์ 0.33, 0.50, 0.60 และ 0.67 โมลาร์ ตามลำดับ
2. ทำการกวนอย่างคงที่โดยใช้เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็กที่อุณหภูมิห้อง
3. ปิเปตสารละลายแมกนีเซียมไนเตรทมาตรฐานความเข้มข้น 0.8 โมลาร์ จำนวน 50 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นจำนวน 80, 40, 26.67 และ 20 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายแมกนีเซียมไนเตรท 0.30, 0.44, 0.52 และ 0.57 โมลาร์ ตามลำดับ
4. นำมาใส่ในบิวเรต เพื่อนำมาผสมกับสารละลายโซเดียมเมตตะซัลไฟด์โดยทำการหยดอย่างช้า ๆ และคงที่
5. กวนผสมอย่างคงที่เป็นเวลา 4 – 5 นาที
6. ทำการแกว่งแยกเพื่อแยกตะกอนโดยเครื่องเหวี่ยงแยก ที่ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
7. ใช้น้ำกลั่นล้างตะกอนที่ได้จำนวน 4 ครั้ง
8. นำน้ำล้างตะกอนมารอง โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ
9. นำตะกอนทั้งหมดที่ได้มาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน
10. บดตะกอนที่ได้ให้ละเอียด
11. เผาที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที
12. เก็บแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์ได้ในบีกเกอร์

3.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของแมกนีเซียมซิติเกต

3.2.1 การตรวจดูความเป็นผลึกของตัวดูดซับโดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction หรือ XRD)

การวิเคราะห์ลักษณะผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ความละเอียดสแกนที่ 2θ และลำดับชั้นการสแกนอยู่ระหว่าง $0 - 90$ องศา

3.2.2 การตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence หรือ XRFs)

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง โดยใช้การวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง



3.3 การเตรียมไบโอดีเซล

สารเคมีและอุปกรณ์

- สารเคมี
 1. น้ำมันพืช
 2. เมทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
 3. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- อุปกรณ์
 1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
 2. แผ่นให้ความร้อน
 3. เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็ก
 4. กรวยแยกขนาด 500 มิลลิลิตร
 5. บีเปตขนาด 25 มิลลิลิตร
 6. บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร
 7. บีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร
 8. กรวยแก้ว
 9. เทอร์โมมิเตอร์
 10. ข้อนัดกสาร
 11. นาฬิกาจับเวลา

วิธีการทดลอง

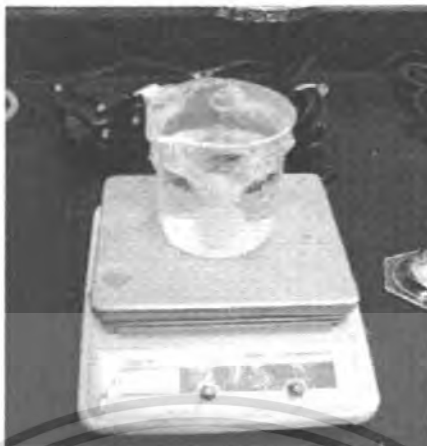
1. บีเปตเมทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาณ 250 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 400 มิลลิลิตร
2. ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.91 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวน 6.30 กรัมมาละลายในเมทานอลที่เตรียมไว้



รูปที่ 3.1 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.91%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำสารละลายไปอุ่นบนแผ่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที



รูปที่ 3.2 การเตรียม โฟแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล

4. เทน้ำมันพืชปริมาณ 1 ลิตรลงในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร แล้วนำไปอุ่นบนแผ่นให้ความร้อนเมื่อมีอุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียสจึงนำไปตั้งไว้บนเครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็ก



(ก)

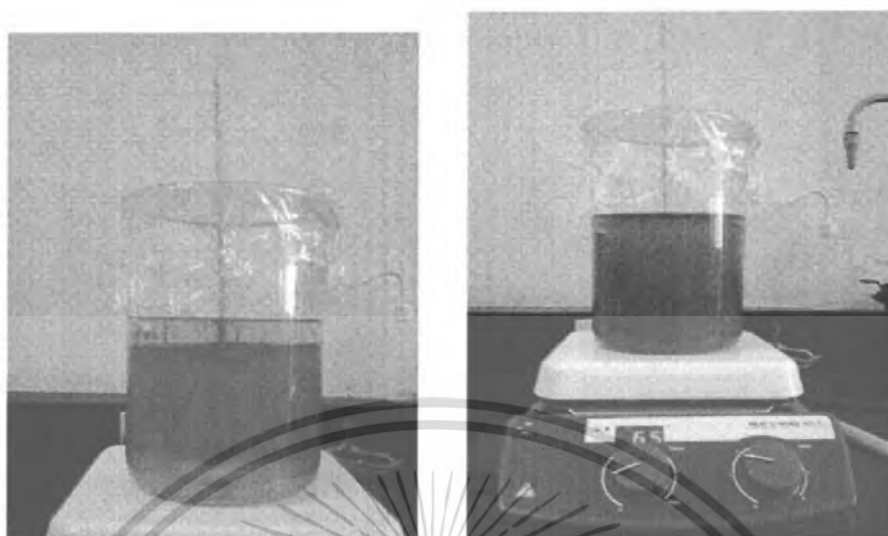
(ข)

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันพืช

(ก) น้ำมันปาล์ม (ข) การให้ความร้อนแก่น้ำมันพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำสารละลายเมทานอลมาผสม เริ่มจับเวลา ใช้เวลา 75 นาที



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.4 การกวนผสมระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอล

(ก) เมื่อเติมเริ่มเมทานอลลงในน้ำมันพืช

(ข) เมื่อทำการกวนผสมและให้ความร้อนอย่างคงที่

6. ยกส่วนผสมลงแล้วตั้งทิ้งไว้จนเกิดการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) กับ กลีเซอริน



รูปที่ 3.5 การแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) กับ กลีเซอริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. แยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอริน โดยใช้กรวยแยก



รูปที่ 3.6 การแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอริน

8. เก็บ ไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่แยกได้ในบีกเกอร์



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.7 การเก็บไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่ได้

(ก) ไบโอดีเซล (ข) กลีเซอริน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การดูดซับสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลด้วยตัวดูดซับ

สารเคมีและอุปกรณ์

- สารเคมี
 1. ตัวดูดซับ
 2. ไบโอดีเซล
- อุปกรณ์
 1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
 2. เครื่องเหวี่ยงแยก
 3. หลอดแก้วเหวี่ยงแยก
 4. บีมสูญญากาศ
 5. กรวยกรองเครื่องกรองสูญญากาศ
 6. เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็ก
 7. คูือบ
 8. เคตติกเตอร์
 9. ปิเปตขนาด 25 มิลลิลิตร
 10. ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
 11. กระดาษกรอง
 12. กระจกนาฬิกา
 13. แท่งแก้วคนสาร
 14. ข้อนตักสาร
 15. นาฬิกาจับเวลา

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตไบโอดีเซล จำนวน 100 มิลลิลิตรใส่ในปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. ชั่งตัวดูดซับจำนวน 2.50 กรัมมาเติมลงในไบโอดีเซล
3. นำสารละลายไปตั้งไว้บนเครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็กเป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
4. นำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกเพื่อแยกตัวดูดซับออกจากไบโอดีเซล โดยใช้ความเร็วรอบเท่ากับ 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
5. นำไบโอดีเซลที่ได้ไปกรองด้วยบีมสูญญากาศเพื่อแยกตัวดูดซับที่หลงเหลือออก
6. เก็บไบโอดีเซลในภาชนะบรรจุแล้วจึงนำไปทดสอบหาปริมาณสิ่งเจือปนที่หลงเหลืออยู่ด้วย เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบในไบโอดีเซล

ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ในไบโอดีเซลก่อนการดูดซับ ไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์ได้เป็นตัวดูดซับ และไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซัลไฟด์ทางการค้าเป็นตัวดูดซับ ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี โดยใช้เฟลมไอออไนเซชัน ดีเทกเตอร์ (FID) เป็นตัวตรวจวัด โดยองค์ประกอบที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรินอิสระ และกลีเซอรินทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

4.1 การสังเคราะห์แมกนีเซียมซัลไฟด์

ศึกษาผลของการเตรียมแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นของโซเดียมเมตตะซัลไฟด์ และแมกนีเซียมไนเตรทแตกต่างกัน โดยใช้ปริมาตรของโซเดียมเมตตะซัลไฟด์และแมกนีเซียมไนเตรทอย่างละ 50 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4.1 ผลของแมกนีเซียมซัลไฟด์จากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาคกตะกอนระหว่างโซเดียมเมตตะซัลไฟด์และแมกนีเซียมไนเตรทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (M)		น้ำหนักแมกนีเซียมซัลไฟด์ (g)	
โซเดียมเมตตะซัลไฟด์	แมกนีเซียมไนเตรท	อบที่ $T = 100^{\circ}\text{C}$ $t = 24 \text{ h}$	เผาที่ $T = 680^{\circ}\text{C}$ $t = 40 \text{ min}$
0.33	0.30	7.4350	3.7454
0.50	0.44	4.7730	3.4340
0.60	0.52	6.2043	4.2963
0.67	0.57	9.2116	4.5396

ตาราง 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์แมกนีเซียมซัลไฟด์สุทธิจากการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาคกตะกอนระหว่างโซเดียมเมตตะซัลไฟด์และแมกนีเซียมไนเตรท พบว่าน้ำหนักของแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์ได้ที่ความเข้มข้นของโซเดียมเมตตะซัลไฟด์ 0.67 โมลาร์ และแมกนีเซียมไนเตรท 0.57 โมลาร์มีค่าสูงที่สุด ดังนั้นจึงใช้ตัวคูณแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์ได้ที่ความเข้มข้นดังกล่าว ไปใช้ในการวิเคราะห์และคูณหาค่าสิ่งเจือปนในไบโอดีเซล

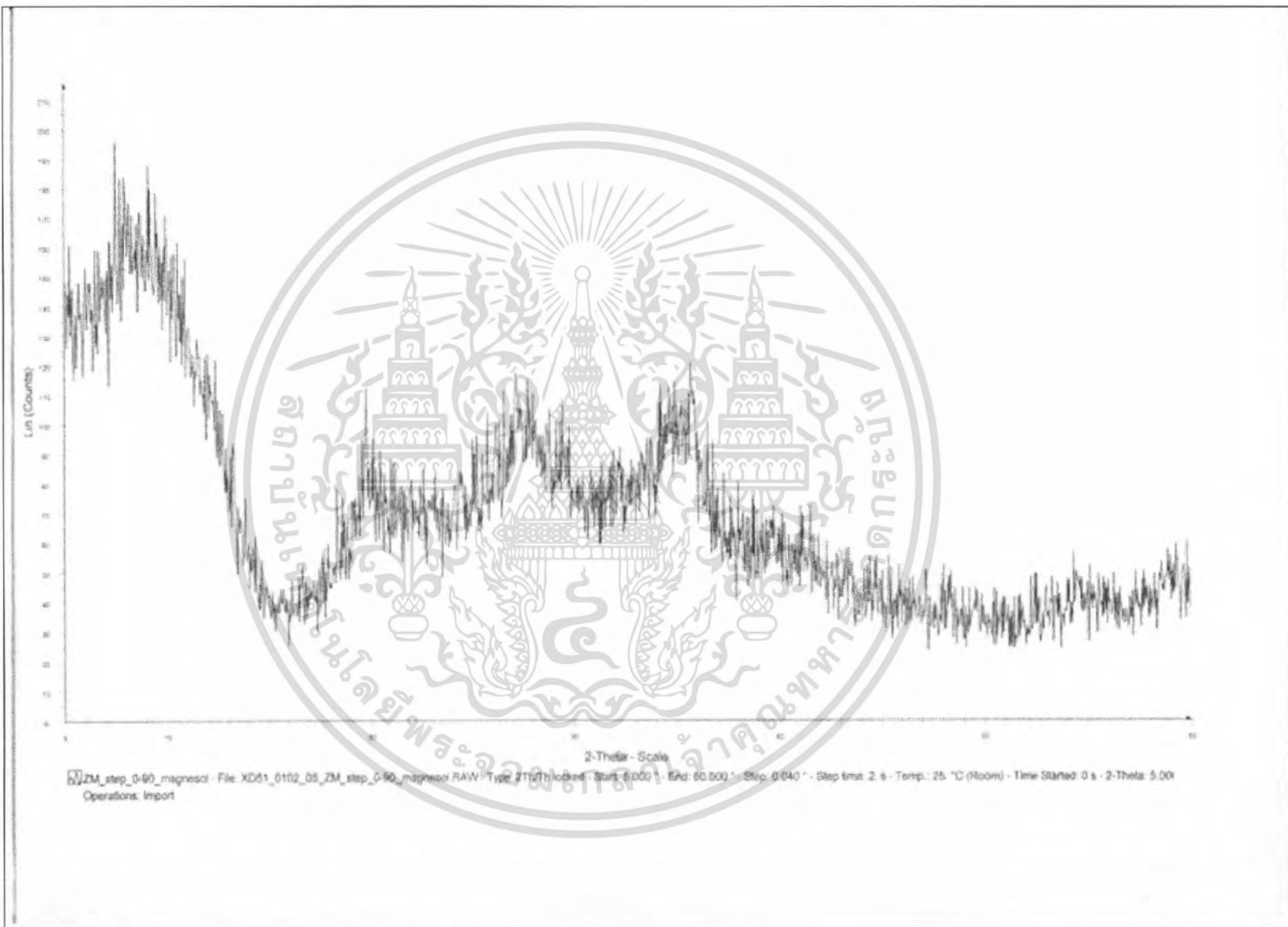
4.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะคุณสมบัติของแมกนีเซียมซัลไฟด์

4.2.1 ผลการตรวจดูความเป็นผลึกของตัวดูดซับโดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction หรือ XRD)

ศึกษาลักษณะผลึกของตัวดูดซับโดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ใช้ความละเอียดสแกนที่ 2θ และลำดับชั้นการสแกนอยู่ระหว่าง $0 - 90$ องศา จากรูปที่ 4.1 พบว่าไม่ปรากฏพีคที่ชัดเจนของตัวดูดซับ ทำให้สามารถกล่าวได้ว่า ตัวดูดซับนี้มีรูปแบบอสัณฐาน (Amorphous) อนุภาคจัดเรียงตัวโดยไม่มีระเบียบแบบแผน ผิวหน้าของวัสดุไม่เรียบ และมีมุมแตกต่างกัน



รูปที่ 4.1 ผลการตรวจดูความเป็นผลึกของตัวดูดซับ โดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอกซ์



4.2.2 ผลการตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence หรือ XRFs)

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับ โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ ในรูปของธาตุและในรูปออกไซด์

ในรูปธาตุ		ในรูปออกไซด์	
องค์ประกอบ	% โดยน้ำหนัก	องค์ประกอบ	% โดยน้ำหนัก
O	43.60		
Na	13.30	Na ₂ O	17.90
Mg	19.50	MgO	32.40
Al	0.46	AlO ₃	0.86
Si	22.40	SiO ₂	48.00
Fe	0.18	Fe ₂ O ₃	0.25
Cu	0.22	CuO	0.27
Pd	0.19	Pd	0.19
W	0.10	WO ₃	0.13
Sum	100.00	Sum	100.00

ตารางที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักขององค์ประกอบต่างๆ ในตัวดูดซับทั้งในรูปของธาตุและรูปของออกไซด์ โดยสามารถนำไปคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างแมกนีเซียมและซิลิกเกต (Mg : Si) ในตัวดูดซับได้ จากการคำนวณพบว่าอัตราส่วนระหว่างแมกนีเซียมและซิลิกเกตที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งในรูปของธาตุและออกไซด์มีค่าเท่ากันคือมีอัตราส่วนเท่ากับ 1.02 : 1 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนจากการคำนวณคือ 0.80 : 1

4.3 การเตรียมไบโอดีเซล

ศึกษาการเตรียมไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เมทานอล 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่สภาวะที่เหมาะสม อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 75 นาที ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ไบโอดีเซลที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การดูดซับสิ่งเจือปนด้วยตัวดูดซับ

ศึกษาการดูดซับสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลโดยใช้ตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกต จากนั้นนำสารละลายมาทำการกวนผสมอย่างคงที่เป็นเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพระหว่างไบโอดีเซลบริสุทธิ์ ไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์ได้เป็นตัวดูดซับ และไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซลิเกตทางการค้าเป็นตัวดูดซับ

จากรูปที่ 4.3 พบว่าสีของไบโอดีเซลที่ได้มีความแตกต่างกัน โดยไบโอดีเซลบริสุทธิ์มีสีเข้มและขุ่นมากที่สุด รองลงมาคือไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์ได้เป็นตัวดูดซับ และไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซลิเกตทางการค้าเป็นตัวดูดซับมีสีอ่อนและใสมากที่สุด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกตนี้มีส่วนช่วยให้คุณสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลเปลี่ยนแปลงไป โดยมีผลทำให้ไบโอดีเซลมีสีจางลงและมีความใสมากขึ้น

4.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบในไบโอดีเซล

ศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ในไบโอดีเซลโดยการวิเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรินอิสระ และกลีเซอรินทั้งหมด โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างไบโอดีเซลก่อนการดูดซับ ไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์ได้เป็นตัวดูดซับและ ไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซลิเกตทางการค้าเป็นตัวดูดซับ ซึ่งได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในไบโอดีเซล

รายการทดสอบ	ไบโอดีเซลก่อนการดูดซับ	ไบโอดีเซลหลังการดูดซับด้วยแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์		ไบโอดีเซลหลังการดูดซับด้วยแมกนีเซียมซลิเกตทางการค้า	
	(ร้อยละที่มี)	(ร้อยละที่มี)	ลดลง (%)	(ร้อยละที่มี)	ลดลง (%)
โมโนกลีเซอไรด์	0.23	0.25	-	0.24	-
ไคกลีเซอไรด์	0.18	0.21	-	0.18	คงที่
ไตรกลีเซอไรด์	0.44	0.51	-	0.41	6.82
กลีเซอรินอิสระ	0.03	0.02	33.33	น้อยกว่า 0.01	66.67
กลีเซอรินทั้งหมด	0.16	0.17	-	น้อยกว่า 0.14	12.50

จากตารางที่ 4.3 พบว่าปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ ในไบโอดีเซลที่ใช้ที่แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์ได้และทางการค้าเป็นตัวดูดซับไม่เปลี่ยนแปลง แต่กลีเซอรินอิสระ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ยังคงหลงเหลืออยู่จากการแยกกลีเซอรินออกจากไบโอดีเซล เมื่อใช้แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์ได้และทางการค้าเป็นตัวดูดซับ พบว่ากลีเซอรินอิสระมีปริมาณลดลง 33.33 และ 66.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และกลีเซอรินทั้งหมด ซึ่งเป็นผลรวมของกลีเซอไรด์และกลีเซอรินอิสระในไบโอดีเซล เมื่อใช้แมกนีเซียมซลิเกตทางการค้าเป็นตัวดูดซับพบว่ากลีเซอรินทั้งหมดมีปริมาณลดลง 12.50 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการสังเคราะห์ตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกตเพื่อใช้ในการดูดซับ สิ่งเจือปนในน้ำมันไบโอดีเซล พบว่าที่ความเข้มข้นของโซเดียมเมตตะซลิเกต 0.67 โมลาร์และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 0.57 โมลาร์ ให้น้ำหนักแมกนีเซียมซลิเกตสูงสุดคือ 4.5396 กรัม

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของแมกนีเซียมซลิเกตโดยการตรวจสอบความเป็นผลึกด้วยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ พบว่าแมกนีเซียมซลิเกตมีโครงสร้างผลึกเป็นรูปแบบออสถาน และจากการตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแมกนีเซียมซลิเกต โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ พบว่าอัตราส่วนระหว่างแมกนีเซียมและซลิเกตที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งในรูปของธาตุและออกไซด์ มีค่าเท่ากันที่ 1.02 : 1

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรินอิสระ และกลีเซอรินทั้งหมด ในไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซลิเกตเป็นตัวดูดซับ พบว่าเฉพาะกลีเซอรินอิสระและกลีเซอรินทั้งหมดมีปริมาณลดลง โดยในไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์ได้ และแมกนีเซียมซลิเกตทางการค้าเป็นตัวดูดซับมีปริมาณลดลง 33.33 เปอร์เซ็นต์ และ 66.67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และปริมาณกลีเซอรินทั้งหมดในไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซลิเกตทางการค้าเป็นตัวดูดซับมีปริมาณลดลงเท่ากับ 12.50 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาไอโซเทอร์มของตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกต

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร.ดาวัตย์ จิมภู , **ชีวเคมี เล่ม 1 โมเลกุลชีวภาพ** , พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ประกายพรึก. 2538.
- [2] อุษณีย์ วนิจเขตคำนวณ , **คู่มือเรียนชีวเคมี โดย E-learning** , เชียงใหม่. : โรงพิมพ์ดาวคอมกราฟฟิค. 2548.
- [3] http://teacher.nsrp.ac.th/sumolta/sumolta/new_page_2.htm
- [4] Kirk Othmer , **Encyclopedia of Chemical Technology** , New York : John Wiley & Sons. 1997. vol. 12. pp. 681-694.
- [5] Barbara E .et. al. 1994 , **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemical** , 5th Ed. Germany : VCH.1994. vol. A12. pp. 477-489.
- [6] สุนันทา ภิญญาวัฒน์ , **ชีวเคมี 1** , ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2542.
- [7] Ridchard, O.D., **Fats and Oil Formulating and Processing for Application** , Technomic Publishing, Texas, 1998, pp. 288-294.
- [8] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Accueil>
- [9] ป๊วย อุ๋นใจ และสยาม ภพลือชัย , **ไบโอดีเซล เชื้อเพลิงชีวภาพแห่งยุคสมัย** , Update. สิงหาคม, 2544. หน้า. 50-56.
- [10] Fangrui Ma, Milford A. Hanna. 1999 , **Biodiesel Production : A Review Bioresource Technology** , vol. 70 , 1999. pp. 1-15.
- [11] พิสมัย เจนวนิชปัญกุล , **ไบโอดีเซล พลังงานทางเลือก** , วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 16, 2544 ฉบับที่ 3. หน้า. 5-7.
- [12] พิสมัย เจนวนิชปัญกุล ลลิตา อัดตนโ , **รอบรู้...เรื่องราว ไบโอดีเซล** , สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 1. สมุทรปราการ : โรงพิมพ์ พิมพ์พินิจ การพิมพ์. กันยายน 2549. หน้า. 29-30.
- [13] http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=90&i2=10000
- [14] Gerpen J.V. , **Biodiesel Processing and Production** , **Fuel Processing Technology** , vol.86, Issue 10, 2005 , pp. 1097-1107.
- [15] Wright H.J. , **A Report on Ester Interchange** , **Oil and Soap** , vol.21, 1944, pp. 145-148.
- [16] Sprules F.J. and Price D. , **Production of Fatty Esters** , U.S patent no.2, 1950, pp. 366-494.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [17] Bradshaw G.B. and Meuly W.C. , **Preparation of Detergents** , U.S. patent no.2, 1944, pp. 360-844.
- [18] Feuge R.O. and Grose T. , **Modification of Vegetable Oils , VII , Alkali Catalyzed Interesterification of Peanut Oil with Ethanol** , JAOCS , vol.26, 1949, pp.97-102
- [19] Salunkhe D.K. , Chavan J.K. , Adsule R.N. and Kadam S.S. , **World Oilseeds , Chemistry, Technology and Utilization**, New York, 1992, pp. 217-242.
- [20] Freedman B., Pryde E.H. and Mounts T.L. , **Variable Affecting the Yield of Fatty Ester from Transerterified Vegetable Oils** , JAOCS , vol.61, no.10, 1984, pp.1638-1643
- [21] <http://www.vcharkarn.com/varticle/409/4>
- [22] Frank L. Slejko, **Adsorption Technology: A Step-by-Step Approach to process Evaluation and Applications**. New York: Marcel Dekker, 1985.
- [23] Charles, N., Satterfield, 1991, **Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice**. 2nd ed., New York: McGraw-Hill Book Company, pp. 31-50.
- [24] Noll, K.E., Gounarious, V. and Hou, W., 1992, **Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control**. Michigan, Lewis, pp. 199-216.
- [25] Oscik, J., **Adsorption**. New York, John Wiley & Sons, pp. 157-193.
- [26] <http://www2.diw.go.th/KM/pdf%5Cknow%5Cgas.pdf>
- [27] กรมวิทยาศาสตร์บริการ, **การศึกษาเรื่องการทำคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วย ไออน้ำ**, รายงานกิจกรรมกรมวิทยาศาสตร์บริการ, ฉบับที่ 38, 2523: 65-73.
- [28] มานัด แก้วถาวร, **ผลของโซเดียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว**, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, 2537.
- [29] ศักดิ์จิตรา ดันสมบุรี ลัดดา ยาวีร์ชน และ ชลธา ไกรวัฒน์สรณ์, **การผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากขาน้อย**, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538: 15-18.
- [30] Hassler J.W. **Purification with Activated Carbon**. New York : Chemical Publishing Co. Inc. 1974. pp. 87-191
- [31] <http://www.dccchem.co.kr/English/index.asp>
- [32] <http://www.dud-d.com>
- [33] http://siweb.dss.go.th/dss_doc/fulltext/radio/T53.pdf

- [34] Hu Z. and Srinivasan.M.P. , **Preparation of High – Surface – Area Activated Carbon from Coconut Shell** , Microporous and Mesoporous Materials, vol. 27, May, 1999, pp. 11-18.
- [35] Ahmadpour A. and Do D.D , **The Preparation of Activated Carbons from Macadamia Nut Shell by Chemical Activation** , Carbon, vol. 35, no. 12, 1997, pp. 1723 – 1732.
- [36] ณัฐพงษ์ เสาะแสวงหา และรัฐพงษ์ โอตาการ, **การศึกษาการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม. ปรินญาณิพนธ์ปรินญาณิวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2549.**
- [37] ลลิตา อัครนโถ อรเพ็ญ หนูสุวรรณ และพิศมัย เจนวนิชปัญญากุล ,**การศึกษาในเบื้องต้นถึงวิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวโดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี. ฝ่ายสิ่งแวดล้อม นิเวศวิทยา และพลังงาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)**
- [38] ธิดิมา อินทร์ลี และสุริดา อรรถยานันท์ ,**การลดปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. ปรินญาณิพนธ์ปรินญาณิวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2549.**
- [39] นพรัตน์ พุทธสุวรรณ และสุขสถิตย์ บำรุงยา, **การดูดซับสารละลายสีข้อมองโกเรดด้วยถ่านกัมมันต์ในเบคกิ้ง. ปรินญาณิพนธ์ปรินญาณิวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2549.**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณ

ก.1 การคำนวณหาปริมาณสารละลายที่ใช้ในการเตรียมสารละลายโซเดียมเมตตะซิลิเกตและแมกนีเซียมไนเตรทที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตารางที่ ก.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมเมตตะซิลิเกตและแมกนีเซียมไนเตรทที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (M)		ปริมาณสารละลาย (ml)	
Na ₂ SiO ₃	Mg(NO ₃) ₂	Na ₂ SiO ₃	Mg(NO ₃) ₂
0.33	0.30	150	130
0.50	0.44	100	90
0.60	0.52	83.33	76.67
0.67	0.57	75	70

วิธีคำนวณหาปริมาณสารละลายที่เตรียม จากสมการ

$$V_2 = \frac{(N_1 \times V_1)}{N_2} \quad (ก.1)$$

- เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น (โมลาร์)
 V_1 = ปริมาตรของสารละลายที่ไปเปตมา (มิลลิลิตร)
 N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียม (โมลาร์)
 V_2 = ปริมาตรของสารละลายที่เตรียม (มิลลิลิตร)

ตัวอย่างการคำนวณ การเตรียมสารละลายโซเดียมเมตอะซิเลต ความเข้มข้น 0.33 โมลาร์

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรสารละลาย } V_2 &= \frac{1 \times 50}{0.33} \\ &= 150 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณ การเตรียมสารละลายแมกนีเซียม ไนเตรท ความเข้มข้น 0.30 โมลาร์

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรสารละลาย } V_2 &= \frac{0.8 \times 50}{0.30} \\ &= 130 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

ก.2 การหาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการเตรียมไบโอดีเซล

ตัวอย่างการคำนวณ น้ำมันปาล์มจำนวน 1 ลิตร
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.7% โดยน้ำหนัก
ความหนาแน่นน้ำมันปาล์ม 0.91 กรัมต่อมิลลิลิตร

จากสมการ น้ำหนักน้ำมันปาล์ม, $M = V \times D \times 1,000$

เมื่อ $M =$ น้ำหนักน้ำมันปาล์ม (กรัม)
 $V =$ ปริมาตรน้ำมันปาล์ม (ลิตร)
 $D =$ ความหนาแน่นน้ำมันปาล์ม (กรัมต่อมิลลิลิตร)

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักน้ำมันปาล์ม} &= 1 \times 0.91 \times 1,000 \\ &= 910 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้} &= \frac{(M \times 0.7)}{100} \\ &= \frac{(910 \times 0.7)}{100} \\ &= 6.37 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอกซ์ในรูปของธาตุและในรูปออกไซด์ (Oxide)

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{อัตราส่วนระหว่างแมกนีเซียมและซิลิกเกต} = \frac{A}{B} : \frac{C}{D}$$

เมื่อ A = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแมกนีเซียม

B = มวลโมเลกุลของแมกนีเซียม

C = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกเกต

D = มวลโมเลกุลของซิลิกเกต

อัตราส่วนระหว่างแมกนีเซียมและซิลิกเกตที่ได้จากการวิเคราะห์ในรูปของธาตุ (Mg : Si)

$$\begin{aligned} \text{Mg : Si} &= \frac{19.5}{24} : \frac{22.4}{28} \\ &= 1.02 : 1 \end{aligned}$$

อัตราส่วนระหว่างแมกนีเซียมและซิลิกเกตที่ได้จากการวิเคราะห์ในรูปของออกไซด์ (MgO : SiO₂)

$$\begin{aligned} \text{Mg : Si} &= \frac{32.4}{40} : \frac{48}{60} \\ &= 1.02 : 1 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข

รายละเอียดแบบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน
เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน
พ.ศ. 2548

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด		วิธีทดสอบ 1/
1	เมทิลเอสเตอร์, ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Methyl Ester, % wt.)	ไม่ต่ำกว่า	96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C, กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (Density at 15°C, kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C, เซนติสโตกส์ (Viscosity at 40°C, cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	3.5 5.0	ASTM D 445
4	จุดวาบไฟ, องศาเซลเซียส (Flash Point, °C)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
5	กำมะถัน, ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Sulphur, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 2622
6	กากถ่าน, ร้อยละ โดยน้ำหนัก (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon Residue, on 10 %distillation residue, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D 613
8	เถ้าซัลเฟต, ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Sulfated Ash, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
9	น้ำ, ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Water, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.050	ASTM D 2709
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด, ร้อยละ โดยน้ำหนัก (Total Contaminate, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0024	ASTM D 5452
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส, ชั่วโมง (Oxidation Stability at 110°C, hours)	ไม่ต่ำกว่า	6	EN 14112

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่กรมธุรกิจพลังงาน ไม่อนุญาตให้แก้ไขโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด		วิธีทดสอบ 1/
13	ค่าความเป็นกรด, มิลลิกรัม โปแตสเซียม ไฮดรอกไซด์/กรัม (Acid Value , mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	0.05	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน, กรัมไอโอดีน/100 กรัม (Iodine Value , g Iodine/100 g)	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Linolenic Acid Methyl Ester, %wt.)	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16	เมทานอล, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Methanol, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17	โมนอกลิเซอไรด์, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Monoglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.08	EN 14105
18	ไดกลีเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Diglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
19	ไตรกลีเซอไรด์, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Triglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระ, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Free glycerin, %wt)	ไม่สูงกว่า	0.02	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Total glycerin, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโปแตสเซียม), มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Group I metals (Na+K) mg/kg) โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม), มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Group II metals (Ca+Mg) mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14108 และ EN 14109
23	ฟอสฟอรัส, ร้อยละโดยน้ำหนัก (Phosphorus, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจาก อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

หมายเหตุ 1. วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มิมีข้อได้แก่ให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้