

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบด้วยเมกนีเซียมซิลิเกต



T104371



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 104371  
วัน,เดือน,ปี - 2 พ.ย. 2552

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY ON THE ADSORPTION OF THE FREE FATTY ACID IN  
CRUDE PALM OIL BY MAGNESIUM SILICATE**



**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**

**2008**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง

การศึกษาการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบด้วย  
แมกนีเซียมซัลไฟด์

โดย

นางสาววิณา จันทร์น้อย

นางสาวสุธีรา บุญบุตร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ  
(ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์)

.....กรรมการ  
(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ปริญญานิพนธ์เรื่อง**

การศึกษาการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบด้วย  
แมกนีเซียมซิลิเกต

**โดย**

นางสาววิณา จันทร์น้อย รหัสประจำตัว 48010845

นางสาวสุธีรา บุญบุตร รหัสประจำตัว 48010997

**อาจารย์ที่ปรึกษา**

ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์

**ปริญญานิพนธ์**

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาผลของอัตราส่วน โดยโมลของซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{SiO}_2:\text{MgO}$ ) ในตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตเพื่อดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ แมกนีเซียมซิลิเกตสังเคราะห์ได้จากการตกตะกอนของโซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมไนเตรทหรือแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน เพื่อให้ได้สัดส่วนโดยโมลของซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์เป็น 0.40:1, 0.75:1, 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์(XRF) พบว่าสัดส่วนโดยโมลของซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่ตกตะกอนจากแมกนีเซียมไนเตรทมีค่าเป็น 0.72:1, 0.80:1, 0.91:1, 1.36:1, 1.55:1, 1.68:1 ตามลำดับ และที่ตกตะกอนจากแมกนีเซียมซัลเฟตมีค่าเป็น 0.79:1, 0.84:1, 0.90:1, 1.50:1, 1.66:1, 1.95:1 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของแมกนีเซียมซิลิเกต โดยการตรวจดูความเป็นผลึกด้วยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์(XRD) พบว่าแมกนีเซียมซิลิเกตที่ตกตะกอนจากแมกนีเซียมไนเตรทมีโครงสร้างเป็นผลึกของ  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  ส่วนที่ตกตะกอนจากแมกนีเซียมซัลเฟตมีโครงสร้างเป็นผลึกของ  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  และ  $\text{MgSiO}_3$  แสดงว่าตัวดูดซับที่เตรียมมีผลึกที่แตกต่างกัน และจากการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่เวลา 7 ชั่วโมง อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่าแมกนีเซียมซิลิเกตที่เตรียมจากแมกนีเซียมไนเตรทและแมกนีเซียมซัลเฟตที่อัตราส่วน โดย โมลของซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 0.90:1 มีการดูดซับกรดไขมันอิสระได้ดีที่สุด โดยดูดซับได้ปริมาณ 162.31 และ 232.57 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับตามลำดับ จากการศึกษาขั้นตอนการเตรียมแมกนีเซียมซิลิเกตโดยวิธีการเผาที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส กับไม่เผาตัวดูดซับที่สัดส่วนโดยโมล 0.90:1 ของแมกนีเซียมทั้งสองแหล่ง โดยทำการดูดซับที่เวลา 1 ชั่วโมง พบว่าตัวดูดซับที่ผ่านการเผามีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่าตัวดูดซับที่ไม่ผ่านการเผา อาจเป็นผลเนื่องจากการเผาตัวดูดซับทำให้น้ำและสารเจือปนในผลึกบางส่วนหายไป ส่งผลให้ตัวดูดซับมีรูพรุนในผลึกมากขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น

เอกลีกรุ่นเป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นข้อใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Report title** Study on the adsorption of the free fatty acid in crude palm oil

**By** Miss Weena Junnoi  
Miss Suteera Boonbutra

**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 was concerned with the molar ratio between silica and magnesium oxide ( $\text{SiO}_2:\text{MgO}$ ) in magnesium silicate, which was used for adsorbing free fatty acid in crude palm oil. Magnesium silicate was synthesized from sodium metasilicate and magnesium nitrate or magnesium sulphate by precipitation reaction at various concentration in order to obtain the molar ratio between silica and magnesium oxide at 0.40:1, 0.75:1, 1:1, 2:1, 3:1 and 4:1 in order. In addition, from analysis by using X-Ray Fluorescence, we found that the molar ratio of silica and magnesium oxide by precipitation from magnesium nitrate and magnesium sulphate was 0.72:1, 0.80:1, 0.91:1, 1.36:1, 1.55:1, 1.68:1 and 0.79:1, 0.84:1, 0.90:1, 1.50:1, 1.66:1, 1.95:1 in order. Moreover, from analyzed property of magnesium silicate using X-Ray Diffraction, we found the magnesium silicate has a crystalline structure of  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  by precipitation from magnesium nitrate and a crystalline structure of  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  and  $\text{MgSiO}_3$  by precipitation from magnesium sulphate. It was indicated that both adsorbent has different crystallizations. After using magnesium silicate adsorbed free fatty acid in crude palm oil at  $50^\circ\text{C}$  for 7 hours, the molar ratio 0.90:1 of magnesium nitrate and magnesium sulphate was shown to be the best molar ratio to adsorbed free fatty acid 162.31 and 232.57 milligram per gram of adsorbent in order. Preparing magnesium silicate burnt up in a furnace at  $680^\circ\text{C}$  with magnesium silicate that wasn't burnt at the molar ratio 0.90:1, both magnesium sources adsorbed at 1 hour, we found the adsorbent which was burnt had more efficiency than the one which wasn't burnt. Maybe it depends on lost some water or impurity affected to increase porousness in the crystal and be able to adsorption.

# กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือในการทำโครงการนี้ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท อีกทั้ง รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา และดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ ที่ช่วยให้ปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดีจากคำแนะนำและคำแก้ไขที่ดี คณะผู้ศึกษารัฐศึกษาซึ่งเป็นอย่างมาก พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือตลอดการทำงานโครงการนี้

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณ นายวรัช แพทย์รังษี ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำโครงการนี้  
สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้มีพระคุณสูงสุดในชีวิต ที่ให้การสนับสนุนให้กำลังใจและคำแนะนำตลอดมา หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้ศึกษาขออภัยและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

วิณา จันทรน้อย  
สุธีรา บุญบุตร

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กรดไขมัน (Fatty acid).....	4
2.2 ไขมัน.....	5
2.2.1 ประโยชน์ของผลปาล์ม.....	6
2.2.2 คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันปาล์ม.....	7
2.3 การดูดซับ.....	8
2.4 ประเภทของการดูดซับ.....	8
2.4.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption).....	8
2.4.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption).....	9
2.5 กลไกการดูดซับ.....	10
2.6 ตัวดูดซับ.....	11
2.6.1 คาร์บอนกัมมันต์.....	11
2.6.2 ซิลิกาเจล.....	12
2.6.3 อลูมินัมออกไซด์.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	12
2.8 ซิลิกาเจล (Silica Gel).....	13
2.9 ประโยชน์ของตัวดูดซับ.....	15
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
<b>บทที่ 3</b> วิธีการทดลอง.....	<b>20</b>
3.1 การสังเคราะห์แมกนีเซียมซิลิเกต.....	20
3.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของแมกนีเซียมซิลิเกต.....	23
3.3 การเตรียมน้ำมันปาล์มดิบ.....	23
3.4 การดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกต.....	24
3.4.1 การทดลองการดูดซับของตัวดูดซับที่สัดส่วน โดย โมลต่างๆเวลา 7 ชั่วโมง..	24
3.4.2 การทดลองหาระยะเวลาเข้าสู่สมดุลของตัวดูดซับที่สัดส่วน โดย โมล (SiO <sub>2</sub> : MgO) เท่ากับ 0.90:1.....	26
3.5 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ.....	26
<b>บทที่ 4</b> ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	<b>28</b>
4.1 การวิเคราะห์ผลการสังเคราะห์แมกนีเซียมซิลิเกต.....	28
4.1.1 ผลการตรวจความเป็นผลึกของตัวดูดซับ โดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction, XRD).....	28
4.1.2 ผลการตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence หรือ XRFs).....	30
4.2 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ.....	31
4.2.1 การดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่อัตราส่วน โดย โมลต่าง ๆ เวลา 7 ชั่วโมง.....	31
4.2.2 การดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่อัตราส่วน โดย โมลเท่ากับ 0.90:1 ณ เวลาต่างๆ.....	34
4.2.3 การศึกษาการดูดซับกรดไขมันอิสระที่เผาตัวดูดซับก่อนดูดซับและ ไม่เผาตัวดูดซับก่อนดูดซับที่อัตราส่วนด้วย โมล 0.90:1 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	36
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	36
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	36
เอกสารอ้างอิง.....	37
ภาคผนวก ก.....	40
ภาคผนวก ข.....	50
ภาคผนวก ค.....	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การดูดซับในลักษณะต่างๆ ด้วยแรงทางกายภาพ.....	9
รูปที่ 2.2 กลไกการดูดซับ.....	10
รูปที่ 2.3 โครงสร้างแบบอสมฐานของซิลิกาเจล.....	14
รูปที่ 3.1 การเตรียมสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตมาตรฐาน.....	21
รูปที่ 3.2 การผสมสารละลายโซเดียมเมตตะซิลิเกตกับสารละลายแมกนีเซียมในเตรท หรือสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต.....	22
รูปที่ 3.3 การกรองตะกอนด้วยปั๊มสุญญากาศ.....	22
รูปที่ 3.4 การอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ.....	24
รูปที่ 3.5 การกวนผสมระหว่างตัวดูดซับกับน้ำมันปาล์มดิบและให้ความร้อนอย่างคงที่.....	25
รูปที่ 3.6 การเหวี่ยงแยกตะกอน.....	25
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่ สังเคราะห์จากโซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมในเตรทที่สัดส่วนโดยโมล ของซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ : $\text{MgO}$ ) เท่ากับ 0.90:1.....	28
รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่ สังเคราะห์จากโซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่สัดส่วนโดยโมล ของซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ : $\text{MgO}$ ) เท่ากับ 0.90:1.....	29
รูปที่ 4.3 การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จาก โซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมในเตรทที่สัดส่วนโดยโมลของ ซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ : $\text{MgO}$ ) เท่ากับ 0.90:1 ที่ไม่เผาตัวดูดซับ.....	29
รูปที่ 4.4 การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จาก โซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่สัดส่วนโดยโมลของ ซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ : $\text{MgO}$ ) เท่ากับ 0.90:1 ที่ไม่เผาตัวดูดซับ.....	30
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับของแมกนีเซียมซิลิเกตที่ สังเคราะห์จากแมกนีเซียมในเตรทกับสัดส่วนโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียม ออกไซด์ที่เวลา 7 ชั่วโมง.....	32
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับของแมกนีเซียมซิลิเกตที่ สังเคราะห์จากแมกนีเซียมซัลเฟตกับสัดส่วนโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียม ออกไซด์ที่เวลา 7 ชั่วโมง.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระของตัวดูดซับ แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมที่แตกต่างกัน.....	33
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับและแนวโน้มการดูดซับ กรดไขมันอิสระของแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมที่แตกต่างกันสัดส่วน โดยโมล 1:1 ณ เวลาต่างๆ.....	34
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ ได้ที่สัดส่วนโดยโมล 0.90:1 เปรียบตัวดูดซับกับไม่เฝ้าตัวดูดซับ.....	35
รูปที่ ค.1 การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จาก โซเดียมเมตตะซลิเกตกับแมกนีเซียมไนเตรทที่สัดส่วนโดยโมลของซลิกา กับแมกนีเซียม ออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ : $\text{MgO}$ ) เท่ากับ 0.90:1.....	52
รูปที่ ค.2 การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จาก โซเดียมเมตตะซลิเกตกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่สัดส่วนโดยโมลของซลิกา กับแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ : $\text{MgO}$ ) เท่ากับ 0.90:1.....	53



# สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างกรดไขมันที่พบในธรรมชาติ.....	4
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีของซิลิกาเจล.....	13
ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของซิลิกาเจล.....	14
ตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมไนเตรท.....	31
ตารางที่ 4.2 ผลวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมซัลเฟต.....	31
ตารางที่ ก.1 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมไนเตรทในสัดส่วนโดยโมลต่าง ๆ เวลา 7 ชั่วโมง.....	40
ตารางที่ ก.2 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมซัลเฟตในสัดส่วนโดยโมลต่าง ๆ เวลา 7 ชั่วโมง.....	42
ตารางที่ ก.3 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่สัดส่วนโดยโมล (SiO <sub>2</sub> : MgO) เท่ากับ 0.90:1 ที่เวลา 1 ชั่วโมง.....	44
ตารางที่ ก.4 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่สัดส่วนโดยโมล (SiO <sub>2</sub> : MgO) เท่ากับ 0.90:1 ที่เวลา 3 ชั่วโมง.....	45
ตารางที่ ก.5 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่สัดส่วนโดยโมล (SiO <sub>2</sub> : MgO) เท่ากับ 0.90:1 ที่เวลา 5 ชั่วโมง.....	46
ตารางที่ ก.6 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่สัดส่วนโดยโมล (SiO <sub>2</sub> : MgO) เท่ากับ 0.90:1 ที่เวลา 7 ชั่วโมง.....	47
ตารางที่ ก.7 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระที่เผาตัวดูดซับและไม่เผาตัวดูดซับที่สัดส่วนโดยโมล 0.90:1 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง.....	48

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันประเด็นด้านพลังงานเป็นที่จับตาของทุกประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะพลังงานด้านน้ำมันจากแหล่งฟอสซิลซึ่งเป็นแหล่งเชื้อเพลิงหลัก ในสถานการณ์ที่ความต้องการใช้พลังงานหรืออุปสงค์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่แหล่งผลิตพลังงานยังไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วยอย่างพอเพียง ส่งผลให้พลังงานกำลังจะหมดลงในอนาคตอันใกล้นี้ รวมถึงปัญหาทางการเงินของประเทศที่ต้องการรักษาเงินตราต่างประเทศ และที่สำคัญคือปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลกระทบให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นงานวิจัยใหม่ ๆ จึงมุ่งเน้นคิดค้นพลังงานทดแทนเพื่อรองรับอนาคตอันใกล้นี้ที่จะเกิดภาวะการขาดแคลนพลังงานดังกล่าว พลังงานทางเลือกที่น่าสนใจคือ ไบโอดีเซล ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่เป็นสารเอสเทอร์(Ester) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับเมทานอลหรือเอทานอล ปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวเรียกว่าทรานเอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification) และได้กลีเซอรินเป็นผลพลอยได้ ซึ่งไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนจำเพาะและค่าซีเทนใกล้เคียงน้ำมันดีเซลเป็นอย่างมาก แต่เนื่องจากคุณภาพในการใช้งานกับเครื่องยนต์สันดาปภายในของน้ำมันไบโอดีเซลขึ้นกับคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ความตึงผิว ความหนืด และความเข้มข้นของสิ่งเจือปน โดยเฉพาะกรดไขมันอิสระและกลีเซอไรด์ซึ่งขึ้นกับแหล่งที่มาและกระบวนการผลิต ดังนั้นปัญหาสำคัญของการนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้ก็คือ ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ยังคงเหลืออยู่ในน้ำมัน ซึ่งในกระบวนการผลิตต้องการให้มีกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบไม่เกิน 1 % โดยน้ำหนักเท่านั้น

ในปัจจุบันน้ำมันปาล์มดิบเป็นหนึ่งในน้ำมันที่นิยมนำมาผลิตไบโอดีเซล แต่เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีกรดไขมันอิสระอยู่ประมาณ 3-4 % โดยน้ำหนัก ทำให้ไม่เหมาะสมในการนำมาผลิตไบโอดีเซล ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะลดปริมาณกรดไขมันอิสระโดยใช้ด่างในการทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระในน้ำมันหรือใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชัน หรือวิธีการระเหยและควบแน่น เพื่อจะได้กลายเป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลต่อไป ซึ่งแต่ละวิธีที่กล่าวถึงเป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยาก สูญเสียน้ำมันปาล์มดิบบางส่วนและสิ้นเปลืองพลังงาน ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นอีกด้วย ดังนั้นวิธีที่เหมาะสมในการลดปัญหาเหล่านี้ก็คือ วิธีการดูดซับกรดไขมันอิสระ ซึ่งวิธีนี้สามารถแยกตัวดูดซับออกจากน้ำมันปาล์มดิบได้ง่าย ไม่ยุ่งยากและมีประสิทธิภาพสูง

ในปัจจุบันตัวดูดซับที่ใช้ดูดซับสิ่งเจือปนนั้นมีมาก เช่น คาร์บอนกัมมันต์ ออกไซด์ของโลหะ และแมกนีเซียมซิลิเกต เป็นต้น โครงการนี้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับกรดไขมันอิสระ

เอ็กสเตรนเป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้งานทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ตัวดูดซับคือ แมกนีเซียมซิลิเกต ( $MgSiO_3$ ) เนื่องจากแมกนีเซียมซิลิเกตนี้เป็นตัวดูดซับแบบมีขั้วสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาและเปรียบเทียบสัดส่วน โดยโมลระหว่างซิลิกา กับแมกนีเซียมออกไซด์ของตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแหล่งแมกนีเซียมที่แตกต่างกัน
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ คือ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ กับขั้นตอนการเตรียมแมกนีเซียมซิลิเกต โดยวิธีการเผา กับ ไม่เผาตัวดูดซับ

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาการเตรียมแมกนีเซียมซิลิเกตจาก โซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมไนเตรดที่สัดส่วนโดยโมล ( $SiO_2 : MgO$ ) คือ 0.4:1, 0.75:1, 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 เพื่อใช้ในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ
2. ศึกษาการเตรียมแมกนีเซียมซิลิเกตจาก โซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่สัดส่วนโดยโมล ( $SiO_2 : MgO$ ) คือ 0.4:1, 0.75:1, 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 เพื่อใช้ในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ
3. ศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบของแหล่งแมกนีเซียมที่แตกต่างกัน
4. ศึกษาเวลาที่มีผลต่อการดูดซับกรดไขมันอิสระ โดยศึกษาที่เวลา 1, 3, 5 และ 7 ชั่วโมง
5. ศึกษาการดูดซับกรดไขมันอิสระที่เผาตัวดูดซับที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียสก่อนดูดซับและไม่เผาตัวดูดซับก่อนดูดซับ

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในโรงงาน
2. เตรียมตัวดูดซับ 2 ตัว คือแมกนีเซียมซิลิเกตจาก โซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมไนเตรดและแมกนีเซียมซิลิเกตจาก โซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่สัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกา กับแมกนีเซียมออกไซด์ต่างๆ
3. ทดลองการดูดซับ โดยปรับเปลี่ยนชนิดของตัวดูดซับที่สัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกา กับแมกนีเซียมออกไซด์ต่างๆ
4. ทดลองการดูดซับ โดยปรับเปลี่ยนระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ
5. ทดลองการดูดซับ โดยเผาตัวดูดซับที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียสและไม่เผาตัวดูดซับ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจถึงกระบวนการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ

2. ลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการผลิตไบโอดีเซล โดยช่วยลดต้นทุนในการผลิตอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม
4. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยมาประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กรดไขมัน (Fatty acid) [1,2]

กรดไขมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนอะตอมเกาะกันเป็นเส้นตรง ส่วนใหญ่มักไม่ค่อยพบกรดไขมันเป็นอิสระ โดยมักพบเป็นส่วนประกอบของไขมันหลายชนิดเช่น ไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟกลีเซอไรด์ ในธรรมชาติมักพบกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นจำนวนคู่ระหว่าง 4 – 24 อะตอม ที่พบบ่อยมีจำนวนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมมีสูตรทั่วไปคือ RCOOH มี 2 ประเภทดังนี้

#### 1) กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid)

กรดไขมันที่โมเลกุลมีความอิ่มตัว มีหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) 1 หมู่ต่ออยู่กับไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสายยาว ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีแค่พันธะเดี่ยวอย่างเดียว เช่น กรดปาล์มมิก (Palmitic) มีคาร์บอน 16 ตัวเป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่มีมากในธรรมชาติและพบในร่างกาย

#### 2) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีทั้งพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ 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
<b>กรดไขมันอิ่มตัว</b>			
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
<b>กรดไขมันอิ่มตัว</b>			
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
<b>กรดไขมันไม่อิ่มตัว</b>			
กรดโอเลอิก (oleic acid)	$C_{17}H_{33}COOH$	18 : 1	ไขมันสัตว์และพืช
กรดลิโนเลอิก (linoleic acid)	$C_{17}H_{31}COOH$	18 : 2	น้ำมันลินสีด
กรดลิโนเลนิก (linolenic acid)	$C_{17}H_{29}COOH$	18 : 3	น้ำมันเมล็ดฝ้าย
กรออะราลิตอนิก	$C_{19}H_{35}COOH$	20 : 4	น้ำมันลินสีด ไขมันสัตว์

## 2.2 ปาล์มน้ำมัน [4]

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชยืนต้นที่ทนทานต่อผลกระทบจากภัยธรรมชาติมากกว่าพืชอายุสั้นอื่นๆ ลงทุนเพียงครั้งเดียวก็สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นาน 20 ปี อีกทั้งมีต้นทุนต่ำ ผลผลิตต่อพื้นที่สูง และมีราคาซื้อขายในตลาดไม่สูงนัก

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่อนุรักษ์สภาพแวดล้อม (Ecofriendly crop) เมื่อปลูกปาล์มน้ำมันเป็นระยะเวลานานจะทำให้สภาพนิเวศที่เสียหายไปกลับคืนสู่สภาพธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถสกัดองค์ประกอบจากน้ำมันปาล์ม ได้แก่ กรดไขมันหลายชนิด วิตามินอี และวิตามินเอ นำมาใช้ประโยชน์และใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรม Oleochemical และพลังงานทดแทน

ผลปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้ำมัน 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม (Palm Oil) ได้จากการสกัดเนื้อปาล์ม และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel Oil) สกัดจากเมล็ดปาล์ม

ผลปาล์ม 1 ผล จะมีน้ำมันปาล์ม 9 ส่วน และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 1 ส่วน น้ำมันที่สกัดจากผลปาล์มสดจะมีเบต้าแคโรทีน (Beta-Carotene) โปรวิตามินเอ (Pro Vitamin A) และวิตามินอี (Vitamin E) ในปริมาณสูง

น้ำมันปาล์ม ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว และกรดไขมันที่อิ่มตัวในสัดส่วนที่สมดุล และด้วยเหตุที่มีวิตามินอีสูง จึงทำให้น้ำมันปาล์มมีเสถียรภาพสูง สำหรับกรดไขมันไม่อิ่มตัวนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาเว็บไซต์หรือเนื้อหาเอกสารนี้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะเดี่ยว โอลีอิก (Mono-unsaturated oleic acid) 40% ขณะที่กรดไขมันอิ่มตัวประกอบด้วย กรดปาล์มมิก (palmitic acid) 44% และกรดสเตียริก (Stearic acid) 5% ด้วยสัดส่วนของส่วนผสมดังกล่าว ทำให้น้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติพิเศษ เหมาะสำหรับการใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารหลายประเภท

คุณสมบัติอีกประการหนึ่งของน้ำมันปาล์มคือสามารถใช้ผลิตเป็นไขมันพืชที่มีสภาพเป็นของแข็ง (Solid-fat) โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation process) เป็นการหลีกเลี่ยงการก่อตัวของกรดไขมันทรานส์ (Trans fatty acids) ที่เกิดจากกระบวนการซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

คุณสมบัติพิเศษของน้ำมันปาล์มจึงนำไปใช้ในการปรุงอาหารได้หลากหลาย โดยปราศจากโคเลสเตอรอล และเป็นแหล่งพลังงานของร่างกาย นอกจากนี้ยังมีผลพลอยได้จากน้ำมันปาล์ม ในการนำไปเป็นส่วนผสมของเนยเหลือง หรือมาการีน อีกทั้งใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมผลิตสบู่มงชักฟอก เครื่องสำอาง ยา ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในครัวเรือนและอุตสาหกรรมอื่นๆ

ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ยังมีวัสดุเหลือใช้จากการสกัด นำมาใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

- ทะลายปาล์ม ใช้คลุมดินในสวนปาล์ม รักษาความชื้น และเพิ่มเนื้อดิน นำมาใช้เพาะเห็ด และใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ เนื่องจากมีความร้อนสูง
- เส้นใยแห้ง ใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ
- กะลา ใช้ผสมกับเส้นใย เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ ซึ่งปัจจุบันโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ใช้เป็นแหล่งพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในโรงงาน นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ใช้ในการกรองน้ำ และของเสีย หรือนำมาใช้ปลูกต้นไม้ เช่น กล้วยไม้ หรือ ใช้ซ่อมหัวถนนก็ได้ เพราะแข็งแรง
- น้ำเสีย ใช้รดน้ำในสวนปาล์ม เนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง หรือใช้ผลิตก๊าซมีเทน ใช้หุงต้มโดยผ่านกระบวนการก๊าซชีวภาพ (Bio GAS)
- กากของเสีย ใช้ทำปุ๋ย

### 2.2.1 ประโยชน์ของผลปาล์ม

ในโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มดิบมักใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า และใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ ด้วย โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติทางเคมี หรือ Oleochemical ซึ่งเป็นการสกัดสารเคมีจากไขมันพืชและสัตว์ คล้ายกับ Petrochemical ซึ่งเป็นการสกัดสารเคมีจากน้ำมันปิโตรเลียม โดยสารเคมีพื้นฐานที่สามารถสกัดได้ คือ Fatty acids Fatty ester (Methyl ester) Fatty alcohol Fatty nitrogen compound (Fatty amines) และ Glycerol

มีการใช้คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำมันปาล์มกับอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นจำนวนมาก เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รถยนต์ใช้แทนน้ำมันดีเซล โดยดัดแปลงเครื่องยนต์เล็กน้อย คิววันที่เกิดขึ้นจะไม่มีซัลเฟอร์ และไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งเป็นสารพิษต่อสิ่งแวดล้อม
- อุตสาหกรรมขุดเจาะ ใช้เป็นตัวหล่อลื่นเนื่องจากมีจุดสันดาปสูงกว่าดีเซลและไม่เป็นพิษ
- อุตสาหกรรมสบู่ เนื่องจากองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม มีคุณสมบัติในการเกิดฟอง และชำระล้างได้ดีเคียงกับไขมันสัตว์ และน้ำมันมะพร้าว
- อุตสาหกรรมเคลือบผิว มีคุณสมบัติในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต และให้ความเงางาม
- อุตสาหกรรมสีทาบ้าน ทำให้สีติดทนทาน ไม่หลุดลอกง่าย
- อุตสาหกรรมยาสระผม สามารถใช้เป็นส่วนผสมของยาสระผม
- อุตสาหกรรมเหล็ก มีสารป้องกันสนิมสูงกว่าไขมันที่สกัดจากไขมันสัตว์
- อุตสาหกรรมยา เป็นตัวทำลายช่วยให้เนื้อมาเข้ากัน รวมถึงเพิ่มปริมาณเนื้อมา เนื่องจากเป็นสารไม่มีโทษ และไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ง่าย
- อุตสาหกรรมโพลีเอสเตอร์ ใช้เป็นสารป้องกันการแข็งตัว และถ่ายเทความร้อนได้ดี และยังสามารถใช้เป็นตัวหล่อลื่นในการผลิตโพลีเอสเตอร์
- เทียนไข มีระยะเวลาการติดไฟนาน มีควัน และน้ำตาลเทียนน้อยกว่าเทียนไขที่ทำจากไขปิโตรเลียม
- อุตสาหกรรมผลิตยาง ช่วยในกระบวนการผลิต นอกจากเป็นตัวหล่อลื่นในกระบวนการแล้วยังช่วยให้ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น

### 2.2.2 คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันปาล์ม

ในน้ำมันปาล์ม 1 กรัม ประกอบด้วย

- |                |         |                             |
|----------------|---------|-----------------------------|
| - พลังงาน      | 9       | แคลอรี                      |
| - โคลเลสเตอรอล | 0       | แคลอรี                      |
| - วิตามินอี    | 1,150   | ppm (มากกว่าน้ำมันชนิดอื่น) |
| - วิตามินเอ    | 500-700 | ppm (มากกว่าน้ำมันชนิดอื่น) |

วิตามินอีในน้ำมันปาล์มช่วยควบคุม โคลเลสเตอรอลในเลือดป้องกันการเกิด โรคมะเร็ง

โดยเฉพาะมะเร็งเต้านม ป้องกันผิวจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต ชะลอริ้วรอย และความเหี่ยวย่นของผิว ส่วนวิตามินเอ แคลโรทีนอยด์ และเบต้าแคโรทีน ในน้ำมันปาล์ม เป็นสารต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ทำลายอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นตัวการที่จะทำลายส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์ หรือต้นเหตุของโรคมะเร็ง

นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มยังประกอบด้วยสัดส่วนของกรดไขมันที่ใกล้เคียงกัน คือ กรดไขมัน

อิ่มตัว 49% (กรดปาล์มมิก 44% และกรดสเตียริก 5%) กรดไขมันไม่อิ่มตัว 51% (กรดโอเลอิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40% และกรดไลโนเลอิก 10%) ซึ่งกรดปาล์มมิติกและกรดโอเลอิก เป็นสารที่ร่างกายต้องการ ขณะเดียวกันน้ำมันปาล์มมีจุดเยือกแข็งต่ำ ทนความร้อนได้ดี เกิดควันน้อย จึงมีโอกาสที่โมเลกุลจะแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระน้อยกว่าน้ำมันชนิดอื่น

## 2.3 การดูดซับ [5]

การดูดซับ คือ กระบวนการจับ โมเลกุลของของเหลวหรือก๊าซด้วยของแข็งหรือของเหลว โดยโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) จะอยู่บนผิวของตัวดูดซับ ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นของแข็ง นิยมใช้สารประกอบที่มีรูพรุนเป็นตัวดูดซับ เพราะว่ามีพื้นที่ผิวภายในมาก เมื่อ โมเลกุลของของไหล ผ่านเข้าไปในตัวดูดซับจะถูกดูดไว้ภายในรูพรุน ซึ่งกระบวนการดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะ โครงสร้าง ที่ซับซ้อนของตัวดูดซับ คุณสมบัติของทั้งตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ จำนวนชั้นของ โมเลกุลของ ตัวถูกดูดซับ (Molecular layers) ที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิว และขนาดรูพรุนของตัวดูดซับ การดูดซับ โมเลกุลของสารบนผิวของตัวดูดซับ อาจเกิดจากแรงทางกายภาพหรือแรงจากทางเคมีหรือจาก ทั้งสองแรงร่วมกัน

## 2.4 ประเภทของการดูดซับ [5-9]

การดูดซับแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง โมเลกุล คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

### 2.4.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

การดูดซับทางกายภาพ มีแรงแวนเดอร์วาลส์เป็นแรง ในการดูดซับระหว่างกระบวนการ การดูดซับทางกายภาพนั้นตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง การดูดซับทางกายภาพเป็นกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นเอง องค์ประกอบหลักของ การดูดซับทางกายภาพ คือ ธรรมชาติของสาร แรงระหว่างผิวสัมผัส และความสามารถใน การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับ

การดูดซับทางกายภาพเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ และเป็นกระบวนการคายความร้อน อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะถูกจำกัดโดยอัตราการเคลื่อนที่ของมวลในวัฏภาคก๊าซ หรือในตัวดูดซับ ความร้อนของการดูดซับทางกายภาพจะสูงเมื่อก๊าซมีอุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิวิกฤต

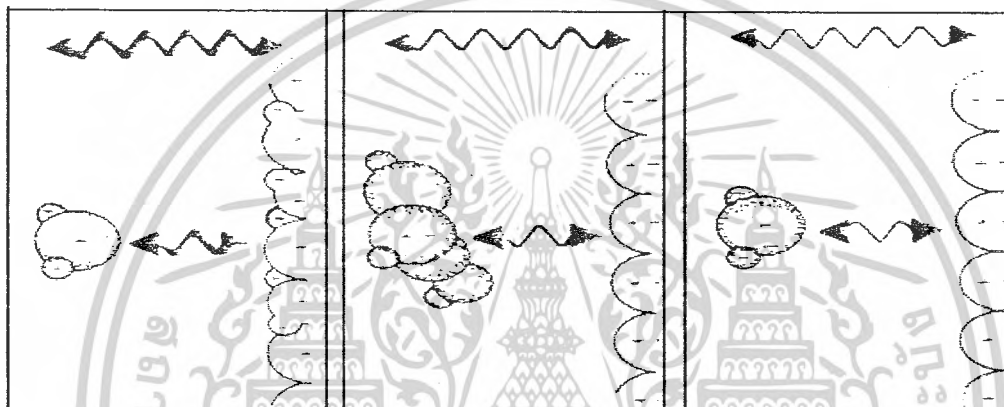
ลักษณะการจับตัวด้วยแรงทางกายภาพเกิดผล 3 อย่าง ดังรูปที่ 2.1

- 1) เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้น เมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างเป็น โมเลกุลมีขั้วทั้งคู่
- 2) เกิดจากหลักการที่ว่า โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว สามารถเปลี่ยนเป็น ไดโพลโมเลกุลได้ ถ้าอิเล็กตรอน

เคลื่อนที่มายู่ด้านใดด้านหนึ่งมาก และเมื่อมีโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะแบบเดียวกันเข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดกัน แรงที่เกิดขึ้นจะเป็นแรงอ่อนๆ ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับต่างเป็น โมเลกุลที่ไม่มีขั้วทั้งคู่

3) เกิดจาก โมเลกุลมีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว แล้วเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงกันข้ามแล้วเกิดการดึงดูดกัน ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเป็นโมเลกุลมีขั้วและโมเลกุลของตัวดูดซับเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว

โมเลกุลมีขั้ว-โมเลกุลมีขั้ว , โมเลกุลไม่มีขั้ว-โมเลกุลไม่มีขั้ว, โมเลกุลมีขั้ว-โมเลกุลไม่มีขั้ว



รูปที่ 2.1 การดูดซับในลักษณะต่างๆ ด้วยแรงทางกายภาพ

#### 2.4.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

การดูดซับทางเคมี มีพันธะทางเคมีเป็นแรงในการดูดซับ แรงที่เกิดขึ้นจะมากกว่าแรงในการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมีขึ้นอยู่กับธรรมชาติของตัวถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่สามารถทำการดูดซับได้ (Surface site)

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

การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ

1) การดูดซับทางเคมีที่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น (Activated chemisorption) การดูดซับลักษณะนี้ อัตราเร็วในการดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิตามสมการของอาร์เรเนียส ( $k_0 e^{-E/RT}$ )

2) การดูดซับทางเคมีที่ไม่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น (Nonactivated chemisorption) การดูดซับลักษณะนี้อัตราเร็วในการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ค่าพลังงานการกระตุ้นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เขียนได้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้วการเกิดการดูดซับทางเคมีในช่วงเริ่มต้น มักจะเป็นการดูดซับที่ไม่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น หลังจากนั้นกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นในอัตราที่ช้าลงและมักจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

- 1) การดูดซับทางกายภาพไม่มีการถ่ายเทหรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน สามารถผันกลับได้ในสภาวะอุณหภูมิเดียวกัน แต่การดูดซับทางเคมีจะผันกลับไม่ได้
- 2) การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดได้ทั่วๆ ไปบนพื้นผิวตัวดูดซับ ไม่มีบริเวณจำเพาะในการเกิดกระบวนการดูดซับภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะเกิดการดูดซับหลายชั้นได้ การดูดซับทางเคมีจะเกิดในบริเวณจำเพาะและจะเกิดแบบชั้นเดียวเท่านั้น
- 3) ความร้อนที่ได้จากการดูดซับทางกายภาพจะน้อยกว่าการดูดซับทางเคมี

## 2.5 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับเกิดขึ้น 3 ระยะดังแสดงในรูปที่ 2.2

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



รูปที่ 2.2 กลไกการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ตัวดูดซับ [1]

ตัวดูดซับสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

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

2) ตัวดูดซับแบบมีขั้ว (Polar adsorbent) การดูดซับที่เกิดขึ้นกับสารประเภทนี้เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลก๊าซและผิวของตัวดูดซับได้แก่ พวกออกไซด์ เช่น ออกไซด์ของโลหะ และวัสดุจำพวกซิลิกา เช่น ซิลิกาเจล ฟูลเลอร์เอิร์ธ (Fuller's earth)

3) ตัวดูดซับประเภทที่อาศัยปฏิกิริยาเคมี ตัวดูดซับนี้จะมีผิวหน้าที่สามารถดูดซับทางเคมีได้ โดยทั่วไปตัวดูดซับที่ใช้ ได้แก่ โคลโลไมด์ ตัวดูดซับ อัลคาไลน์อะลูมินา ซิลิกาเจลกัมมันต์ และแมงกานีสออกไซด์กัมมันต์

### 2.6.1 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 [10-12]

ด้วยเหตุนี้จึงนิยมใช้คาร์บอนกัมมันต์เป็นตัวดูดซับสารทั้งที่อยู่ในสถานะก๊าซและของเหลว ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างแพร่หลาย การใช้คาร์บอนกัมมันต์ปริมาณเพียงเล็กน้อยสามารถกำจัดสี และกลิ่นในของเหลวชนิดต่างๆ ได้ เช่น ในอุตสาหกรรมทำไวน์และน้ำตาล ในการทำให้คาร์บอนกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับดีขึ้นนั้น ต้องนำมาผ่านกระบวนการกระตุ้นซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ไอน้ำ [13]

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

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ในเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า ไม้ กระดูก ลิกไนต์ และฟืน เหมาะสำหรับเป็นวัตถุดิบผลิตคาร์บอนกัมมันต์เพื่อดูดซับสิ่งปนเปื้อนในของเหลว ส่วนกะลามะพร้าว ถ่านหิน กากปีโตรเลียม เหมาะสำหรับเป็นวัตถุดิบผลิตคาร์บอนกัมมันต์เพื่อดูดซับสิ่งปนเปื้อนในก๊าซ

### 2.6.2 ซิลิกาเจล

ซิลิกาเจล (Silica Gel) ทำมาจากโซเดียมซิลิกา เมื่อผสมกับกรดกำมะถันจะได้ผลึกตะกอนคล้ายเจล จากนั้นทำให้แห้งและอบโดยขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ใช้ในการผลิตเจล ทำให้สามารถผลิตเกรดต่างๆ กัน ซึ่งมีลักษณะการใช้งานต่างกัน ได้ โดยปกติแล้วจะใช้ซิลิกาเจลเพื่อกำจัดไอน้ำออกจากกระแสแก๊สที่แห้ง แต่จะไม่มีประสิทธิภาพที่อุณหภูมิซึ่งสูงกว่า 260 องศาเซลเซียส [9]

### 2.6.3 อลูมินัมออกไซด์

เตรียมขึ้นจากอลูมินา หรือ ออกไซด์ ที่ได้รับการกระตุ้น โดยการทำให้ร้อนขึ้นในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย เพื่อให้เกิดเป็นเม็ดอลูมินัมออกไซด์พรุน โดยปกติแล้วจะไม่ใช้อลูมินัมออกไซด์ในงานด้านการควบคุมมลพิษทางอากาศ แต่จะใช้เพื่อทำให้ก๊าซแห้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้ความดันสูง และจะใช้เป็นสารรองรับในปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ยกตัวอย่างเช่น การให้อลูมินาดูดซึมแพลททินัม หรือ แพลเลเดียมเพื่อใช้ในการเผาไหม้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [9]

## 2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (Factor affecting adsorption) [7,8,10]

### 2.7.1 สมบัติของตัวดูดซับ

#### 1) พื้นที่ผิวและ โครงสร้างของรูพรุน (Surface area and pure structure)

ความสามารถในการดูดซับมากขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวมากขึ้น และ โครงสร้างของรูพรุนมีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับมากขึ้น

#### 2) ขนาดของตัวดูดซับ (Adsorption size)

ตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุนพื้นที่ผิวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อขนาดลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าวรูพรุนมีจำนวนมากการดูดซับจะขึ้นกับรูพรุนมากกว่าขนาด

### 2.7.2 สมบัติของตัวถูกดูดซับ

#### 1) ความสามารถในการละลาย

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดึงออกจากน้ำ ไปเกาะบนผิวของตัวดูดซับ ดังนั้นสารที่ละลายน้ำได้ (หรือแตกตัวเป็นไอออนได้) ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นจึงถูกดูดซับได้ยาก และสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อย จะสามารถเกาะติดกับผิวของตัวดูดซับได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล

เมื่อน้ำหนักของโมเลกุลและขนาดของโมเลกุลของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลส่งผลให้ความสามารถในการละลายลดลง

## 3) ความมีขั้วของโมเลกุล

ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อสภาพมีขั้ว (Polarity) เพิ่มขึ้นเพราะการเพิ่มสภาพมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มมากขึ้น

### 2.7.3 อุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

### 2.7.4 เวลา

เวลาเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ สำหรับการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดจะต้องนานเพียงพอที่จะทำให้ตัวดูดซับทำงานได้ดีและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนนำไปใช้จริง

## 2.8 ซิลิกาเจล (Silica Gel) [14]

### 2.8.1 คุณสมบัติทางเคมี

ซิลิกาเจล (Silica Gel) เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างโซเดียมซิลิกา และกรดกำมะถัน ได้ผลิตภัณฑ์คอนกรีตซิลิกา มีคุณสมบัติทางเคมีที่มีเสถียรภาพสูง เป็นตัวดูดซับที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีพิษ มีรูพรุนจำนวนมาก มีพื้นที่ผิวกว้างและมีความแข็งแรงสูง

คุณสมบัติทางเคมีของซิลิกาเจล สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเคมีของซิลิกาเจล

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

### 2.8.2 โครงสร้างและส่วนประกอบ

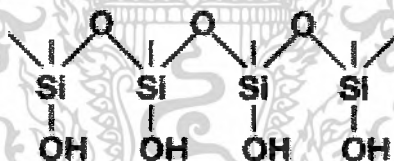
ซิลิกาเจล มีส่วนประกอบมาจากซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) เป็นส่วนใหญ่ดังตารางที่ 2.2

ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบออสซิลอน ดังรูปที่ 2.3 โดยโครงสร้างภายในมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของซิลิกาเจล [15]

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



รูปที่ 2.3 โครงสร้างแบบออสซิลอนของซิลิกาเจล [16]

กระบวนการดูดซับในซิลิกาเจลเป็นกระบวนการทางกายภาพ โดยตัวถูกดูดซับจะถูกเก็บไว้ในโพรงเล็ก ๆ ที่อยู่ภายในซิลิกาเจลซึ่งสามารถดูดซับได้มากถึง 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว โดยประสิทธิภาพในการดูดซับขึ้นกับพื้นที่ผิว โครงสร้างของรูพรุน ขนาดตัวดูดซับ อุณหภูมิและเวลาในการดูดซับ ซึ่งซิลิกาเจลมีประสิทธิภาพสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้ประสิทธิภาพจะลดลง และอาจคายตัวถูกดูดซับกลับออกมาได้ นอกจากนี้เมื่อซิลิกาเจลดูดซับเต็มที่แล้วยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ด้วยวิธีการอบที่อุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานประมาณ 3 ชั่วโมง ข้อดีของซิลิกาเจลคือไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยาและไม่เป็นพิษ ปลอดภัย

ที่จะใช้กับอาหารและยา จึงนิยมใช้ซิลิกาเจล สำหรับการห่ออาหาร สีน้า และใช้ทางเภสัชกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 ประโยชน์ของตัวดูดซับ [17, 18]

### 2.9.1 การทำน้ำให้บริสุทธิ์

ใช้ตัวดูดซับดูดซับคลอรีนและสารอื่นๆที่อยู่ในน้ำประปาหรือน้ำบาดาล หรืออาจนำมาดัดแปลงทำเครื่องกรองน้ำเพื่อให้ น้ำบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย

### 2.9.2 อุตสาหกรรมเครื่องดื่มน้ำที่มีแอลกอฮอล์

ก. ใช้ตัวดูดซับกำจัดรสและกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากวิสกี โดยให้วิสกีไหลผ่านชั้นของตัวดูดซับ หรือใส่ตัวดูดซับกับวิสกีโดยตรงแล้วกรองออก

ข. ใช้ตัวดูดซับเติมลงในเบียร์ เพื่อกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากการแช่เย็น โดยตัวดูดซับจะทำหน้าที่ดูดซับตะกอนโปรตีนที่เอนไซม์ย่อยไม่ได้ และยังใช้ตัวดูดซับในการเตรียมน้ำสะอาดก่อนนำไปต้มเพื่อผลิตเบียร์อีกด้วย

### 2.9.3 อุตสาหกรรมผลิตไขมันและน้ำมัน

ใช้ตัวดูดซับเพื่อกำจัดสิ่งปลอมปนในน้ำมันพืช

### 2.9.4 อุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล

ใช้ตัวดูดซับเพื่อฟอกสีของน้ำตาลในโรงงานน้ำตาล

### 2.9.5 อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหาร

ก. ใช้ตัวดูดซับดูดสีและกลิ่นที่ไม่ต้องการออกจากเจลาติน

ข. ใช้ตัวดูดซับดูดซับเพกติน (Pectin) ออกจากน้ำผลไม้ ทำให้น้ำผลไม้ใส และยังกำจัดกลิ่นที่ไม่ต้องการได้ แต่ต้องใช้ตัวดูดซับในปริมาณที่พอเหมาะ มิฉะนั้นจะทำให้รสและกลิ่นของน้ำผลไม้เปลี่ยนไป

### 2.9.6 การทำให้ตัวทำละลายบริสุทธิ์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

ใช้ตัวดูดซับเป็นตัวดูดซับสิ่งเจือปนในตัวทำละลายที่ใช้แล้วเพื่อสามารถนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตดินปืนชนิดไม่มีควัน อุตสาหกรรมผลิตฟิล์มถ่ายรูป อุตสาหกรรมผลิตหนังเทียม

### 2.9.7 การประยุกต์ใช้งานด้านอื่นๆ

ก. ใช้ดูดควันหรือกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ในห้องปรับอากาศหรือตู้เย็น

ข. ใช้ดูดซับสิ่งสกปรกออกจากก๊าซธรรมชาติ หรือกำจัดสารที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบในโรงแยกแก๊สธรรมชาติ

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วราช แพทย์รังสี [19] ได้ศึกษาผลขององค์ประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตในการดูดซับกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยแมกนีเซียมซิลิเกตได้จากการตกตะกอนของสารผสมระหว่างสารละลายโซเดียมซิลิเกตจากแคลบที่เตรียมวิธีไฮโดรเทอร์มัลกับสารละลายแมกนีเซียมในเตรทที่ใช้มีความเข้มข้น 0.1 1 2 3 และ 4 โมลาร์ เพื่อให้ได้องค์ประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตที่แตกต่างกัน องค์ประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตที่ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่าแมกนีเซียมซิลิเกตที่ได้มีส่วน โดย โมลระหว่างซิลิกา กับแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{SiO}_2 : \text{MgO}$ ) คือ 9.64, 3.76, 2.74, 2.40 และ 1.99 ตามลำดับ เปรียบเทียบความสามารถการดูดซับของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์ได้กับแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า ( $\text{SiO}_2 : \text{MgO} = 1.59 : 1$ ) โดยการนำไปทดสอบการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ จากผลการทดลองพบว่าแมกนีเซียมซิลิเกตที่ได้จากแคลบมีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ โดยแมกนีเซียมซิลิเกตที่มีสัดส่วน โดย โมลระหว่างซิลิกา กับแมกนีเซียมออกไซด์ เท่ากับ 1.99 2.40 2.74 และ 3.76 ไม่มีความแตกต่างในการดูดซับที่ระยะเวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง โดยสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระอยู่ในช่วง 130 – 140 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ ในขณะที่แมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้าสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระประมาณ 70 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ และจากการทดลองหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับของแมกนีเซียมซิลิเกตซึ่งมีส่วน โดย โมลระหว่างซิลิกา กับแมกนีเซียมออกไซด์ เท่ากับ 3.76 พบว่าตัวดูดซับเข้าสู่สมดุลที่เวลา 5 ชั่วโมง สามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 350 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ เมื่อเทียบกับแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้าที่ดูดซับ ได้เพียง 120 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ

จิรพา วรงค์สิงหราช และ ภัทราภรณ์ หลัททอง [20] ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสิ่งเจือปนในไบโอดีเซลโดยใช้ตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกต ( $\text{Mg}(\text{SiO}_3)_2$ ) โดยทำการสังเคราะห์ตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตด้วยปฏิกิริยาการตกตะกอนระหว่างโซเดียมเมตตะซิลิเกตและแมกนีเซียมในเตรทที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าแมกนีเซียมซิลิเกตที่มีความเข้มข้นของโซเดียมเมตตะซิลิเกต 0.67 โมลาร์และแมกนีเซียมในเตรท 0.57 โมลาร์ให้น้ำหนักแมกนีเซียมซิลิเกตสูงสุด ซึ่งแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์ได้ถูกวิเคราะห์คุณสมบัติโดยการตรวจดูความเป็นผลึกด้วยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ และตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบ โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ โดยพบว่าแมกนีเซียมซิลิเกตมีโครงสร้างผลึกเป็นรูปแบบบอซันฐาน และมีอัตราส่วนระหว่างแมกนีเซียมกับซิลิกาที่วิเคราะห์ทั้งในรูปธาตุและออกไซด์เท่ากันคือ 1.02 : 1 นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรินอิสระ และกลีเซอรินทั้งหมดในไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซิลิเกตเป็นตัวดูดซับด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าเฉพาะกลีเซอรินอิสระและกลีเซอรินทั้งหมดมีปริมาณลดลง โดยในไบโอดีเซลที่

ใช้แมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์ได้ และแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้าเป็นตัวดูดซับมีปริมาณลดลง 33.33 และ 66.67 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และปริมาณกลีเซอรินทั้งหมดในไบโอดีเซลที่ใช้แมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้าเป็นตัวดูดซับมีปริมาณลดลง 12.50 เปอร์เซ็นต์

สาวตรี จันทรานุกฤษ และศดานันท์ เจียมสันคุษฎี [21] ได้ศึกษาความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่เลิกใช้จากการทอดอาหารชนิดต่างๆ เช่นอาหารจานด่วน, อุตสาหกรรมขนมปังสำเร็จรูป และปาห้องโก้ โดยตัวดูดซับจำพวกซิลิกาที่ใช้มี 4 ชนิด ได้แก่ Silica Hydrogel and Alumina Blend (R100), Silica Hydrogel and Perlite Blend (C201), Silica Xerogel (C930) และ Spray-Dried Sodium Silicate (F100) ที่ระดับความเข้มข้น 1-3% พบว่า ตัวดูดซับที่มีความสามารถในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ดีที่สุดคือ Sodium Silicate โดยที่ระดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นจะมีประสิทธิภาพในการลดกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น โดย 3% Sodium Silicate สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ถึงร้อยละ 90.35-102.04 แต่เนื่องจากมีสมบัติเป็นเบสทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสบู่ ซึ่งส่งผลให้ความหนืดและสีคล้ำของน้ำมันเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อศึกษาประสิทธิภาพในการลดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร พบว่า 3% Silica Xerogel มีความสามารถในการลดสีคล้ำของน้ำมันปาล์มที่เลิกใช้แล้วได้ร้อยละ 39.57 เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของ Silica Xerogel จะสามารถลดสีคล้ำของน้ำมันได้มากขึ้น และการปรับปรุงคุณภาพด้วย 3% Silica Xerogel เป็นเวลา 10 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการดำเนินงาน

ณัฐพงษ์ เสาะแสวงหา และรัฐพงษ์ โอตาการ [22] ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันในการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มก่อนที่จะนำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการลดกรดแล้วไปผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยกรดไขมันอิสระจะทำปฏิกิริยากับเมทานอล ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเอสเทอร์ (น้ำมันดีเซลชีวภาพ) และน้ำในสภาวะที่มีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยมวลของกรดไขมันอิสระต่อเมทานอลต่อกรดซัลฟิวริกเป็น 1 : 2.25 : 0.05 ตามลำดับ และศึกษาผลของการเติมตัวทำละลายร่วมเมทิลเทอร์เทอริบิวทิลอีเทอร์ เพื่อให้ น้ำมันปาล์มและเมทานอลผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อนำของเหลวตัวอย่างมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ในปฏิกิริยา แล้ววิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ให้เป็นแบบจำลองปฏิกิริยามูลฐานอันดับ 1 พบว่าพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันอยู่ในช่วง 40.64 – 48.63 กิโลจูลต่อโมลของกรดไขมันอิสระ

Sevil Özgül-Yücel และ Selma Türkyay [23] ได้ศึกษาการดูดซับกรดไขมันอิสระในไบโอดีเซลที่สภาวะบรรยากาศ โดยใช้ตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบและซิลิกาเจล ซึ่งใช้วิธีวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลจากการไทเทรตกับสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ จากผลการทดลองพบว่าการดูดซับกรดไขมันอิสระที่ 2 เฟอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของไบโอดีเซลในเฮกเซนที่ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 4 กรัม พบว่าความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระของถ่านแกลบและชิลิกาเจมีค่าใกล้เคียงกัน แต่หากเป็นที่ปริมาณตัวดูดซับน้อยกว่า 4 กรัมจะแสดงความแตกต่างของความสามารถในการดูดซับ

J. Stephen Hartman และ Roberta L. Millard [24] ได้ศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างแมกนีเซียมกับชิลิกาจากการสังเคราะห์ตัวดูดซับแมกนีเซียมชิลิเกต โดยแมกนีเซียมชิลิเกตได้จากสารผสมระหว่างสารละลายโซเดียมชิลิเกตหรือโซเดียมเมตาชิลิเกต ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ กับสารละลายแมกนีเซียมในเตรทหรือแมกนีเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ เพื่อให้ได้สัดส่วนระหว่างแมกนีเซียมกับชิลิกาเท่ากับ 1 : 1 หรือ 2 : 1 แยกตะกอนที่ได้ออกจากสารละลาย แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 กับ 750 องศาเซลเซียส ซึ่งสัดส่วนของแมกนีเซียมชิลิเกตที่สังเคราะห์ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีของ  $^{29}\text{Si}$  MAS nmr เพื่อดูผลความแตกต่างของพีคที่ได้จากกราฟ ซึ่งจากการทดลองพบว่า อุณหภูมิในการอบแห้ง ไม่มีผลต่อตัวดูดซับแมกนีเซียมชิลิเกต สำหรับการอบแห้งที่ไม่เกิน 750 องศาเซลเซียส แต่จะมีค่าขึ้นกับสัดส่วนระหว่างแมกนีเซียมกับชิลิกาเป็นอย่างมาก ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการเกิดพีคของแมกนีเซียมชิลิเกตที่มีสัดส่วนโดยโมลระหว่างแมกนีเซียมกับชิลิกาเท่ากับ 1 : 1 หรือ 2 : 1 ให้ผลของพีคที่ใกล้เคียงกันแม้จะทำการอบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกันก็ตาม แต่หากทำการอบแห้งที่อุณหภูมิมากกว่า 750 องศาเซลเซียสก็จะทำให้แมกนีเซียมชิลิเกตที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

F.Ciesielczyk และคณะ [25] ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของแมกนีเซียมชิลิเกตที่ได้จากการตกตะกอนระหว่างสารละลาย โซเดียมเมตาชิลิเกตกับสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต โดยการทดลองจะทำการผสมสารละลายทั้งสองด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 3 แบบ

วิธีที่1 ผสมระหว่างสารละลาย โซเดียมเมตาชิลิเกตกับสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต โดยมี

Reactive system คือ น้ำ

วิธีที่2 สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตผสมกับ Reactive systemคือสารละลาย โซเดียมเมตาชิลิเกต

วิธีที่3 สารละลายโซเดียมเมตาชิลิเกตผสมกับ Reactive systemคือสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

และใช้อุณหภูมิในการผสมที่ 20 40 60 และ 80 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการผสมสารละลาย ไม่มีผลต่อองค์ประกอบภายในของแมกนีเซียมชิลิเกตที่ได้เนื่องจากผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence หรือ XRFs) ในรูปออกไซด์จากการเตรียมด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกันให้ผลของปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบในรูปออกไซด์ของแมกนีเซียมชิลิเกตที่ใกล้เคียงกัน และจากการศึกษาคุณลักษณะของแมกนีเซียมชิลิเกตด้วยการตรวจความเป็นผลึกของตัวดูดซับ โดยวิธีการ

กระเจิงแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction หรือ XRD) พบว่าแมกนีเซียมซิติเคตที่สังเคราะห์ได้ มีลักษณะพีคที่ไม่ชัดเจน ซึ่งแสดงว่ามีลักษณะเป็นอสัณฐาน (Amorphous) สำหรับการเตรียมแมกนีเซียมซิติเคตทั้ง 3 วิธีที่อุณหภูมิการผสมสารละลายเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการทดลอง

#### 3.1 การสังเคราะห์แมกนีเซียมซัลไฟด์

##### สารเคมีและอุปกรณ์

- สารเคมี
  1. โซเดียมเมตตะซัลไฟด์
  2. แมกนีเซียมไนเตรท
  3. แมกนีเซียมซัลเฟต
  4. น้ำกลั่น
- อุปกรณ์
  1. เครื่องซึ่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
  2. ปิ๊มสุญญากาศ
  3. เครื่องกรองสุญญากาศ
  4. ตู้อบ
  5. เตาเผา
  6. เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็ก
  7. เครื่องเหวี่ยงแยก
  8. แผ่นให้ความร้อน
  9. บีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร
  10. ขวดวัดปริมาตร 250 มิลลิลิตร
  11. กระบอกตวง 100 มิลลิลิตร
  12. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
  13. ครูซีเบิต
  14. กรวยแก้ว
  15. กระดาษกรอง
  16. แท่งแก้วคนสาร
  17. ช้อนตักสาร
  18. นาฬิกาจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 การเตรียมสารเคมีสำหรับการทดลอง

#### - สารละลายโซเดียมเมตตะซลิเกตเข้มข้น 1.0 โมลาร์

ชั่งโซเดียมเมตตะซลิเกต 12.21 กรัม ในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร คนให้ละลายบนแผ่นให้ความร้อน แล้วจึงเก็บในขวดวัดปริมาตร

#### - สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเข้มข้น 0.25, 0.33, 0.5, 1.0, 1.33 และ 2.5 โมลาร์

ชั่งแมกนีเซียมซัลเฟต 6.16, 8.13, 12.32, 24.65, 32.05 และ 61.78 กรัม ในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร คนให้ละลายบนแผ่นให้ความร้อน แล้วจึงเก็บในขวดวัดปริมาตร

#### - สารละลายแมกนีเซียมไนเตรทเข้มข้น 0.25, 0.33, 0.5, 1.0, 1.33 และ 2.5 โมลาร์

ชั่งแมกนีเซียมไนเตรท 6.41, 8.46, 12.82, 25.65, 33.33 และ 64.10 กรัม ในบีกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร คนให้ละลายบนแผ่นให้ความร้อน แล้วจึงเก็บในขวดวัดปริมาตร

### 3.1.2 การสังเคราะห์แมกนีเซียมซลิเกต

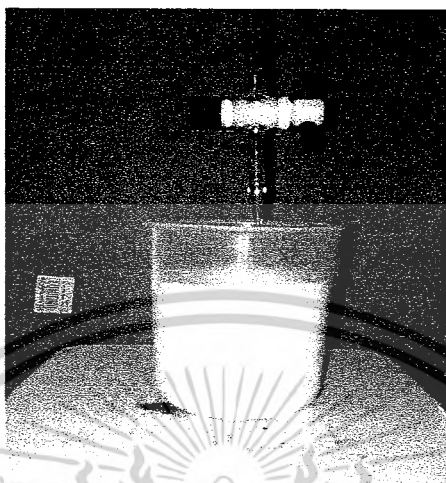
1. ชั่งโซเดียมเมตตะซลิเกตจำนวน 12.21 กรัม เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตรเพื่อให้ได้สารละลายโซเดียมเมตตะซลิเกตมาตรฐานความเข้มข้น 1.0 โมลาร์
2. ชั่งแมกนีเซียมซัลเฟตจำนวน 6.16, 8.13, 12.32, 24.65, 32.05 และ 61.78 กรัม เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตรเพื่อให้ได้สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตมาตรฐานความเข้มข้น 0.25, 0.33, 0.5, 1.0, 1.33 และ 2.5 โมลาร์ ตามลำดับ
3. ทำการกวนอย่างคงที่โดยใช้เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็กที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 3.1 การเตรียมสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตมาตรฐาน

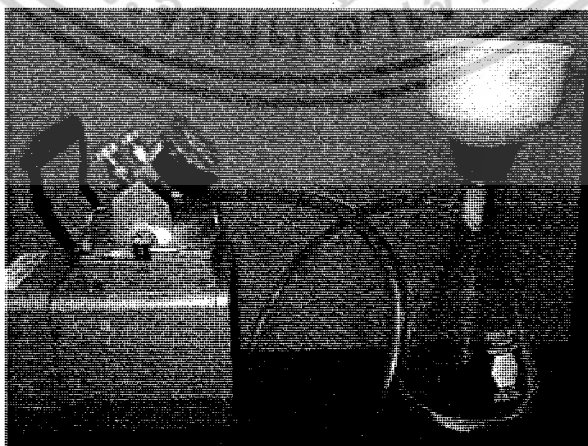
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำมาใส่ในบิวเรต เพื่อนำมาผสมกับสารละลายโซเดียมเมตตะซิติลเกต โดยทำการหยดอย่างช้า ๆ และคงที่



**รูปที่ 3.2** การผสมสารละลายโซเดียมเมตตะซิติลเกตกับสารละลายแมกนีเซียมไนเตรท หรือสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

- กวนผสมอย่างคงที่เป็นเวลา 4 – 5 นาที
- ทำการแกว่งแยกเพื่อแยกตะกอน โดยเครื่องเหวี่ยงแยก ที่ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
- ใช้น้ำกลั่นล้างตะกอนที่ได้จำนวน 4 ครั้ง
- นำตะกอนมากรอง โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ



**รูปที่ 3.3** การกรองตะกอนด้วยปั๊มสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรู๊ปของเราใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้ดูแลให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. นำตะกอนทั้งหมดที่ได้มาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน
10. บดตะกอนที่ได้ให้ละเอียด
11. เผาที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที
12. ได้แมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมซัลเฟตแล้วนำไปเก็บในเดซิเคเตอร์
13. จากนั้นทำการเตรียมแมกนีเซียมซัลไฟด์อีกครั้ง โดยเปลี่ยนสารที่ใช้จากแมกนีเซียมซัลเฟตเป็นแมกนีเซียมไนเตรทแทน

### 3.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของแมกนีเซียมซัลไฟด์

#### 3.2.1 การตรวจดูความเป็นผลึกของตัวดูดซับโดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction หรือ XRD)

การวิเคราะห์ลักษณะผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ความละเอียดสแกนที่  $2\theta$  และลำดับชั้นการสแกนอยู่ระหว่าง 0 – 90 องศา

#### 3.2.2 การตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence หรือ XRFs)

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง โดยใช้การวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนส์ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง

### 3.3 การเตรียมน้ำมันปาล์มดิบ

#### สารเคมีและอุปกรณ์

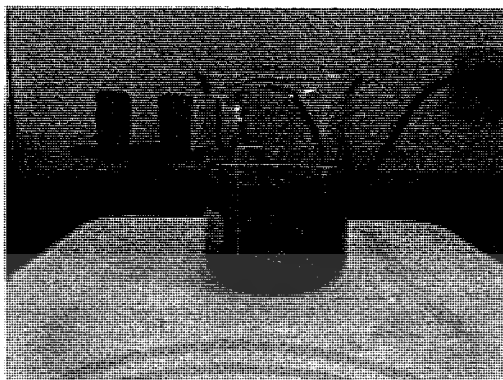
- สารเคมี
  1. น้ำมันปาล์มดิบ
- อุปกรณ์
  1. แผ่นให้ความร้อน
  2. บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
  3. นาฬิกาจับเวลา
  4. แท่งแก้วคนสาร

#### วิธีการทดลอง

1. ใช้แท่งแก้วคนสารคนน้ำมันปาล์มดิบให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำน้ำมันปาล์ม ไปอุ่นบนแผ่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 40 นาที



รูปที่ 3.4 การอุ่นน้ำมันปาล์มคิบ

### 3.4 การดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มคิบด้วยตัวดูดซับเมกนีเซียมซิลิเกต

#### 3.4.1 การทดลองการดูดซับของตัวดูดซับที่สกัดส่วนโดยโมลต่าง ๆ เวลา 7 ชั่วโมง

##### สารเคมีและอุปกรณ์

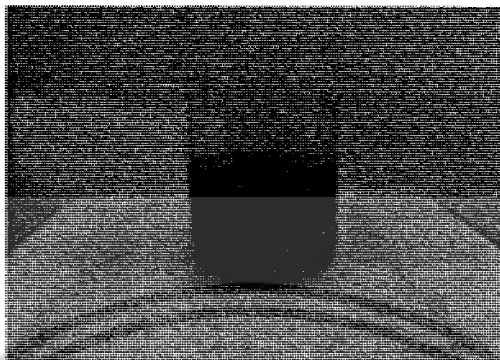
- สารเคมี
  1. ตัวดูดซับ
  2. น้ำมันปาล์มคิบ
- อุปกรณ์
  1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
  2. เครื่องเหวี่ยงแยก
  3. หลอดแก้วเหวี่ยงแยก
  4. เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็ก
  5. ปิเปตขนาด 25 มิลลิลิตร
  6. ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
  7. ช้อนตักสาร
  8. นาฬิกาจับเวลา

##### วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำมันปาล์มคิบ 50 กรัมใส่ในปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปอุ่นบนแผ่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสแล้วให้ความร้อนสม่ำเสมอ
2. ชั่งตัวดูดซับจำนวน 1.0 กรัมมาเติมลงในน้ำมันปาล์มคิบที่อยู่บนแผ่นให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำสารละลายไปตั้งไว้บนเครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็กเป็นเวลา 7 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.5 การกวนผสมระหว่างตัวคูดซับกับน้ำมันปาล์มดิบ และให้ความร้อนอย่างคงที่

4. นำเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกเพื่อแยกตัวคูดซับออกจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ความเร็วรอบเท่ากับ 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที



รูปที่ 3.6 การเหวี่ยงแยกตะกอน

ก) เครื่องเหวี่ยงแยก ข) หลอดเหวี่ยงแยกตะกอน

5. นำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้ไปทดสอบหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การทดลองหาระยะเวลาเข้าสู่สมดุลของตัวดูดซับที่สัดส่วนโดยโมล ( $\text{SiO}_2$ : $\text{MgO}$ ) เท่ากับ

0.90:1

#### สารเคมีและอุปกรณ์

- สารเคมี
  1. ตัวดูดซับ
  2. น้ำมันปาล์มดิบ
- อุปกรณ์
  1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
  2. เครื่องเหวี่ยงแยก
  3. หลอดแก้วเหวี่ยงแยก
  4. เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็ก
  5. บีเปตขนาด 25 มิลลิลิตร
  6. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
  7. ช้อนตักสาร
  8. นาฬิกาจับเวลา

#### วิธีดำเนินการทดลอง

1. ชั่งน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัมใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร 4 บีกเกอร์ แล้วนำไปอุ่นบนแผ่นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยให้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอ
2. ชั่งตัวดูดซับที่สัดส่วนโดยโมล 0.90:1 จำนวน 1.0 กรัมมาเติมลงในน้ำมันปาล์มดิบที่อยู่บนแผ่นให้ความร้อน
3. นำสารละลายไปตั้งไว้บนเครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็กเป็นเวลา 1, 3, 5 และ 7 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
4. นำเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกเพื่อแยกตัวดูดซับออกจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ความเร็วรอบเท่ากับ 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
5. นำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้ไปทดสอบหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่

### 3.5 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ

ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบก่อนการดูดซับ และหลังการดูดซับที่ใช้เมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์ได้เป็นตัวดูดซับตามวิธีของAOCS มีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งน้ำมันปาล์มดิบประมาณ 10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร 3 ใบ นำไปให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิ 50 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดได้ หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หยดฟีนอล์ฟทาลีน 5-7 หยด
4. นำน้ำมันที่ได้ไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ จนสารเปลี่ยนจากสีส้มอ่อนเป็นสีส้มเข้ม บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้
4. คำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระ (ภาคผนวก ข)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

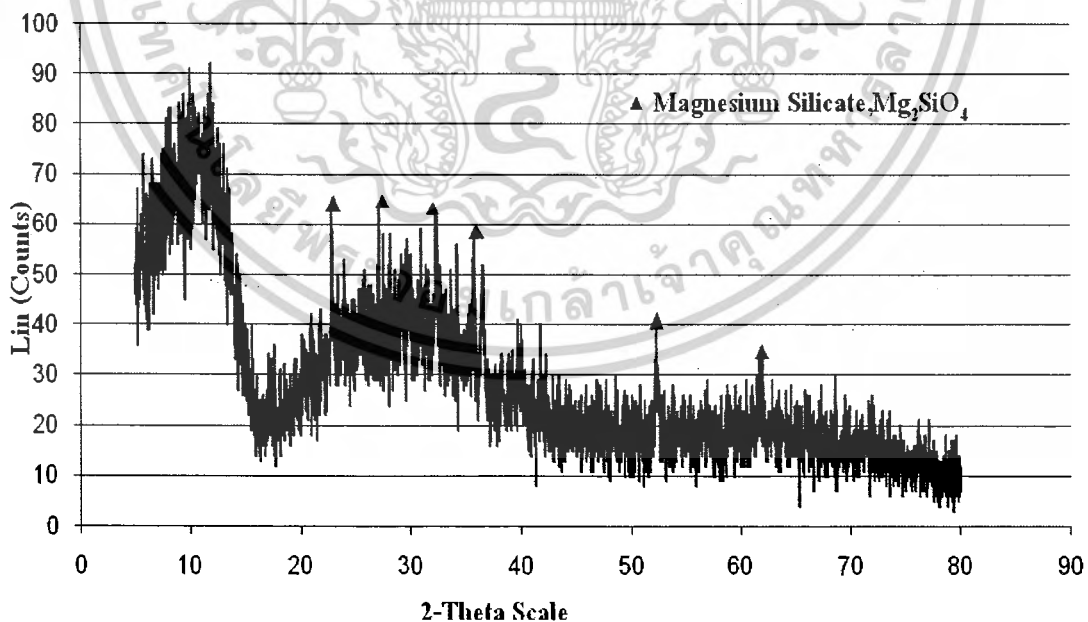
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 การวิเคราะห์ผลการสังเคราะห์แมกนีเซียมซิลิเกต

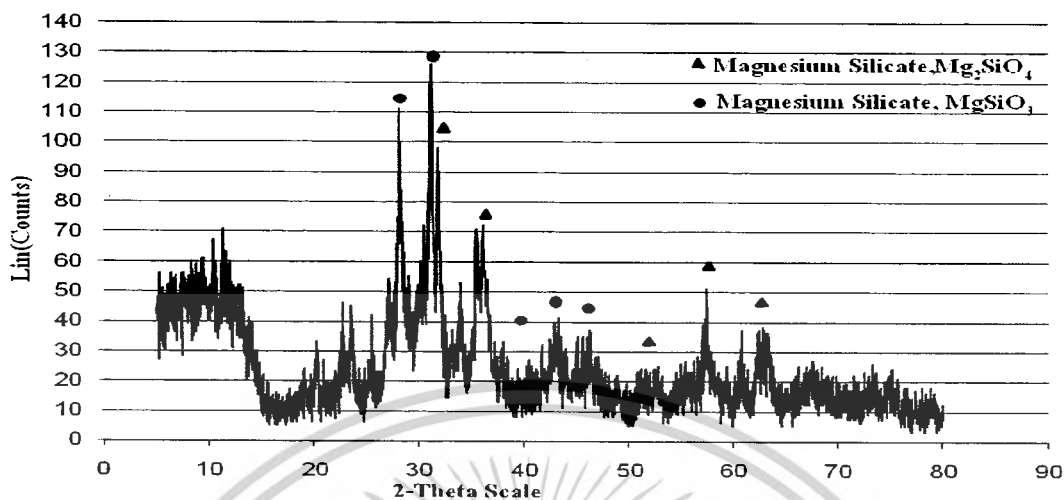
##### 4.1.1 ผลการตรวจดูความเป็นผลึกของตัวดูดซับโดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction, XRD)

ศึกษาลักษณะผลึกของตัวดูดซับโดยใช้หลักการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ใช้ความละเอียดสแกนที่  $2\theta$  และลำดับชั้นสแกนอยู่ระหว่าง  $0 - 90$  องศาจากรูปที่ 4.1 พบว่าที่สัดส่วนโดยโมลของซิลิกา กับแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{SiO}_2:\text{MgO}$ ) เท่ากับ 0.90:1 ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่ตกตะกอนจากแมกนีเซียมไนเตรท ปรากฏผลึกและเป็นผลึกของแมกนีเซียมซิลิเกตที่มีโครงสร้างเป็น  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  แสดงให้เห็นว่าตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นผลึก ส่วนที่สัดส่วนโดยโมลของซิลิกา กับแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{SiO}_2:\text{MgO}$ ) เท่ากับ 0.90:1 ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่ตกตะกอนจากแมกนีเซียมซัลเฟต พบผลึกชัดเจนของแมกนีเซียมซิลิเกตที่มีโครงสร้างเป็น  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  และ  $\text{MgSiO}_3$  แสดงให้เห็นว่าตัวดูดซับที่เตรียมจากแมกนีเซียมซัลเฟตมีผลึกแตกต่างจากตัวดูดซับที่เตรียมจากแมกนีเซียมไนเตรท แสดงดังรูปที่ 4.2



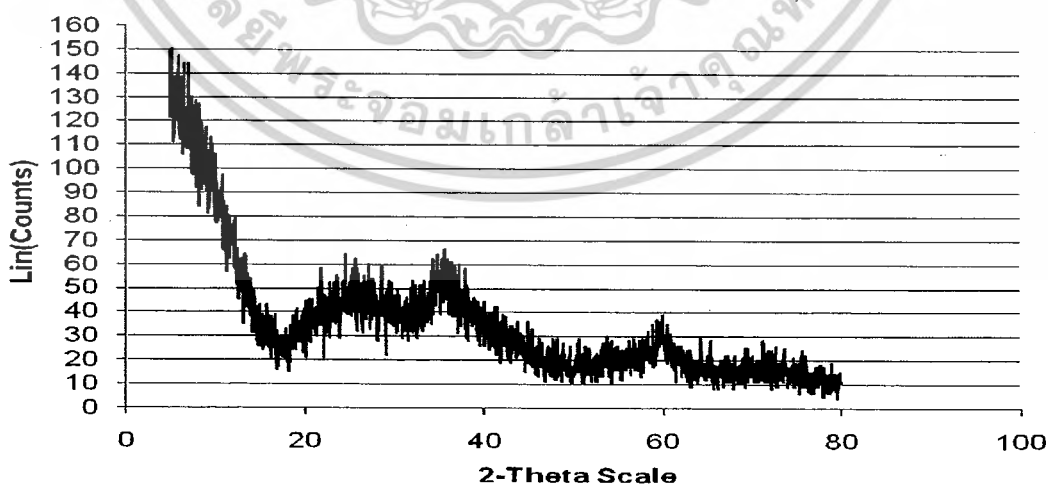
รูปที่ 4.1 การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จาก โซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมไนเตรทที่สัดส่วนโดยโมลของซิลิกา กับแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{SiO}_2: \text{MgO}$ ) เท่ากับ 0.90:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากโซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมซิลเฟตที่สัดส่วนโดย โมลของซิลิกา กับแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{SiO}_2:\text{MgO}$ ) เท่ากับ 0.90:1

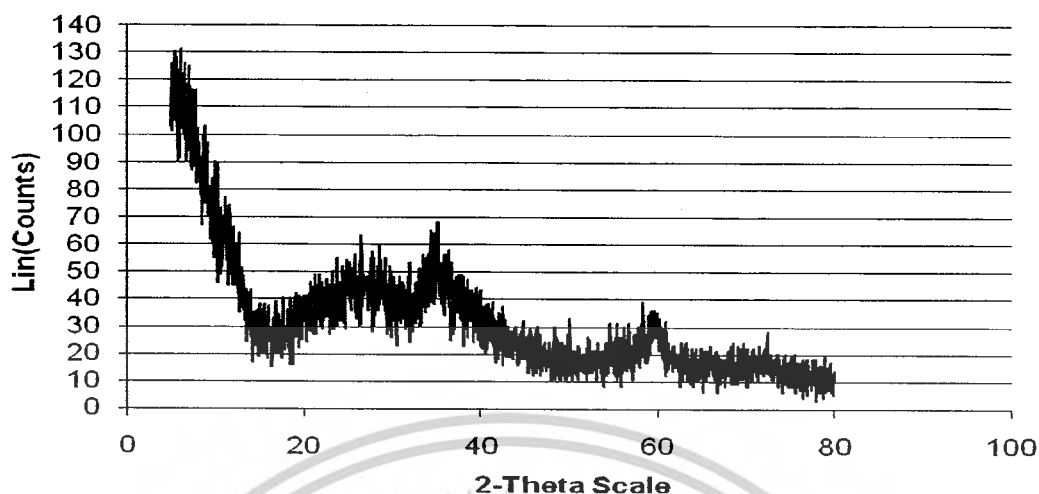
และเมื่อศึกษาลักษณะผลึกของตัวดูดซับที่สัดส่วนโดยโมลของ  $\text{SiO}_2:\text{MgO}$  ของแมกนีเซียมซิลิเกต เท่ากับ 0.90:1 ที่ไม่ผ่านการเผาก่อนการดูดซับ โดยใช้หลักการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ พบว่าแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จาก โซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมไนเตรทหรือแมกนีเซียมซิลเฟต แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ ไม่พบการเกิดพีคที่ชัดเจนของตัวดูดซับ ทำให้สามารถกล่าวได้ว่า ตัวดูดซับที่ไม่ผ่านการเผานี้มีรูปแบบอสัณฐาน (Amorphous) อนุภาคจัดเรียงตัวโดยไม่มีระเบียบแบบแผน ผิวหน้าของวัสดุไม่เรียบ และมีมุมแตกต่างกัน



รูปที่ 4.3 การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากโซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมไนเตรทที่สัดส่วน โดย โมลของซิลิกา กับแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{SiO}_2:\text{MgO}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
เท่าที่ 0.90:1 ที่ไม่เผาตัวดูดซับ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.4** การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากโซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมซัลเฟตที่สัดส่วน โดย โมลของซิลิกา กับแมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ :  $\text{MgO}$ ) เท่ากับ 0.90:1 ที่ไม่เผาตัวคูดซ์

#### 4.1.2 ผลการตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวคูดซ์โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence หรือ XRFs)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวคูดซ์ โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากโซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมไนเตรตที่สัดส่วน โมลของ  $\text{SiO}_2$ :  $\text{MgO}$  ที่คำนวณเท่ากับ 0.40:1, 0.75:1, 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 เมื่อนำไปวิเคราะห์ XRF จะได้สัดส่วนโดยโมลของ  $\text{SiO}_2$ :  $\text{MgO}$  เป็น 0.72:1, 0.80:1, 0.91:1, 1.36:1, 1.55:1 และ 1.68:1 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ในทำนองเดียวกันผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวคูดซ์โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากโซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมซัลเฟตแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่ามีสัดส่วนโดยโมลของ  $\text{SiO}_2$ :  $\text{MgO}$  ที่คำนวณเท่ากับ 0.40:1, 0.75:1, 1:1, 2:1, 3:1 และ 4:1 เมื่อนำไปวิเคราะห์ XRF พบว่าสัดส่วนโดยโมลของ  $\text{SiO}_2$ :  $\text{MgO}$  เป็น 0.79:1, 0.84:1, 0.90:1, 1.50:1, 1.66:1 และ 1.95:1 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของเมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากเมกนีเซียมไนเตรท

Molar Ratio SiO <sub>2</sub> :MgO จากการคำนวณ	องค์ประกอบ(%โดยน้ำหนัก)							Molar Ratio SiO <sub>2</sub> :MgO จาก XRF
	SiO <sub>2</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Cl	
0.40:1	49.8	45.8	4.17	0.03	0.09	0.00	0.02	0.72:1
0.75:1	52.4	43.4	3.92	0.04	0.08	0.00	0.01	0.80:1
1:1	51.5	37.6	10.6	0.03	0.10	0.01	0.04	0.91:1
2:1	54.2	26.5	18.9	0.04	0.17	0.03	0.02	1.36:1
3:1	53.2	22.9	23.3	0.03	0.27	0.03	0.03	1.55:1
4:1	54.3	21.5	23.8	0.04	0.44	0.04	0.06	1.68:1

ตารางที่ 4.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของเมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากเมกนีเซียมซัลเฟต

Molar Ratio SiO <sub>2</sub> :MgO จากการคำนวณ	องค์ประกอบ(%โดยน้ำหนัก)							Molar Ratio SiO <sub>2</sub> :MgO จาก XRF
	SiO <sub>2</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Cl	
0.40:1	48.2	40.8	3.30	7.83	0.08	0.00	0.02	0.79:1
0.75:1	51.9	41.0	3.41	3.54	0.08	0.00	0.02	0.84:1
1:1	44.6	33.1	12.0	10.1	0.07	0.03	0.02	0.90:1
2:1	50.9	21.8	20.6	6.26	0.21	0.03	0.04	1.56:1
3:1	52.2	20.9	22.9	4.04	0.30	0.04	0.04	1.66:1
4:1	51.8	17.7	25.9	4.45	0.80	0.04	0.06	1.95:1

## 4.2 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ

### 4.2.1 การดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยเมกนีเซียมซิลิเกตที่อัตราส่วนโดยโมลต่าง ๆ เวลา 7 ชั่วโมง

จากการทดลองเป็นการศึกษาความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับเมกนีเซียมซิลิเกต

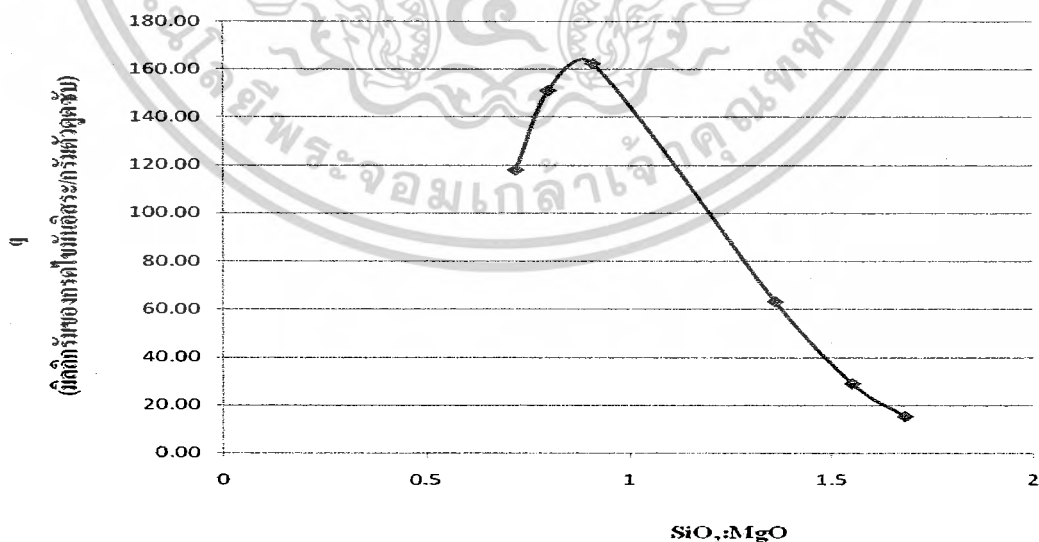
โดยจะทำการทดลองดูดซับกรดไขมันอิสระเป็นเวลา 7 ชั่วโมง ซึ่งจะได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

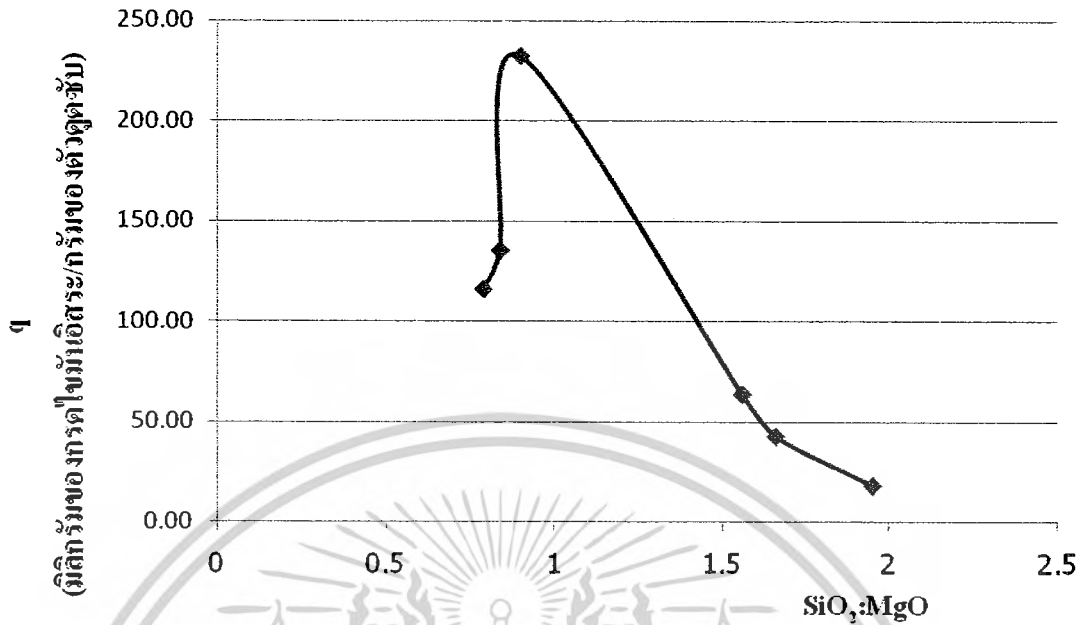
จากรูปที่ 4.5 แสดงการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากโซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ โดยจะสังเคราะห์ที่สัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์ต่างๆ คือ 0.72, 0.80, 0.91, 1.36, 1.55 และ 1.68 ซึ่งกราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นระฆังคว่ำและจะเห็นว่าที่สัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 0.91 มีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระได้ดีที่สุดคือสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 162.31 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ ซึ่งที่สัดส่วนโดยโมลนี้ถือว่าเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปศึกษาต่อ ส่วนการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากโซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ โดยจะสังเคราะห์ที่สัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์ต่างๆ คือ 0.79, 0.84, 0.90, 1.56, 1.66 และ 1.95 แสดงดังรูปที่ 4.6 ซึ่งกราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าที่สัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 0.90 มีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระได้ดีที่สุดคือสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 232.57 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ ซึ่งที่สัดส่วนโดยโมลนี้ถือว่าเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด

จากรูปที่ 4.7 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระที่สังเคราะห์โดยใช้แหล่งของแมกนีเซียมที่แตกต่างกัน คือ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์กับแมกนีเซียมซัลเฟต ซึ่งจากกราฟจะพบว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมซัลเฟตมีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระได้ดีกว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมซัลเฟตมีความเป็นผลึกมากกว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

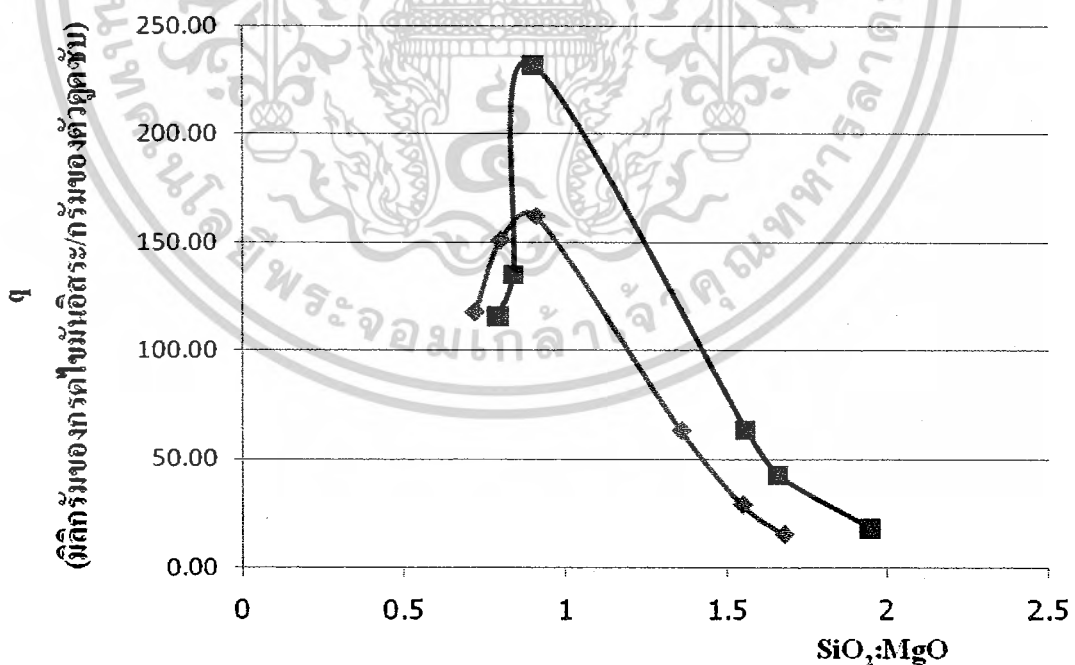


**รูปที่ 4.5** ความสามารถในการดูดซับของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์กับ

สัดส่วนโดย โมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ที่เวลา 7 ชั่วโมง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสามารถในการดูดซับของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมซัลเฟตกับ สังกะสี โดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ที่เวลา 7 ชั่วโมง



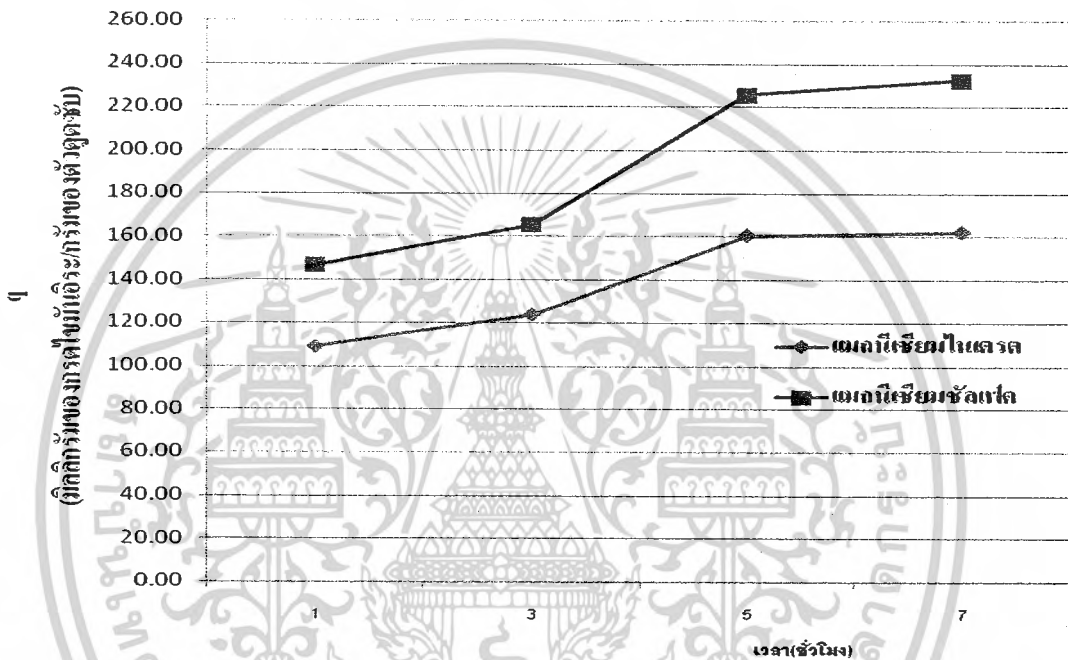
รูปที่ 4.7 ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระของตัวดูดซับ

แมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 การดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่อัตราส่วนโดยโมลของ $\text{SiO}_2$ : $\text{MgO}$ เท่ากับ 0.90:1 ณ เวลาต่างๆ

จากการทดลองเป็นการศึกษาเวลาที่เข้าสู่สมดุลของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมไนเตรทและแมกนีเซียมซัลเฟต แสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่าอัตราการดูดซับลดลงที่เวลาประมาณ 5 ชั่วโมงและจะคงที่ที่เวลา 7 ชั่วโมง



รูปที่ 4.8 ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมที่แตกต่างกันสัดส่วนโดยโมล 0.90:1 ณ เวลาต่างๆ

#### 4.2.3 การศึกษาการดูดซับกรดไขมันอิสระที่เผาตัวดูดซับก่อนดูดซับและไม่เผาตัวดูดซับก่อนดูดซับที่อัตราส่วนด้วยโมลของ $\text{SiO}_2$ : $\text{MgO}$ เท่ากับ 0.90:1 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เป็นการศึกษาผลกระทบทางความร้อนที่มีผลต่อตัวดูดซับคือ การนำตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ที่อัตราส่วนโดยโมล 0.90:1 ไปเผาที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที

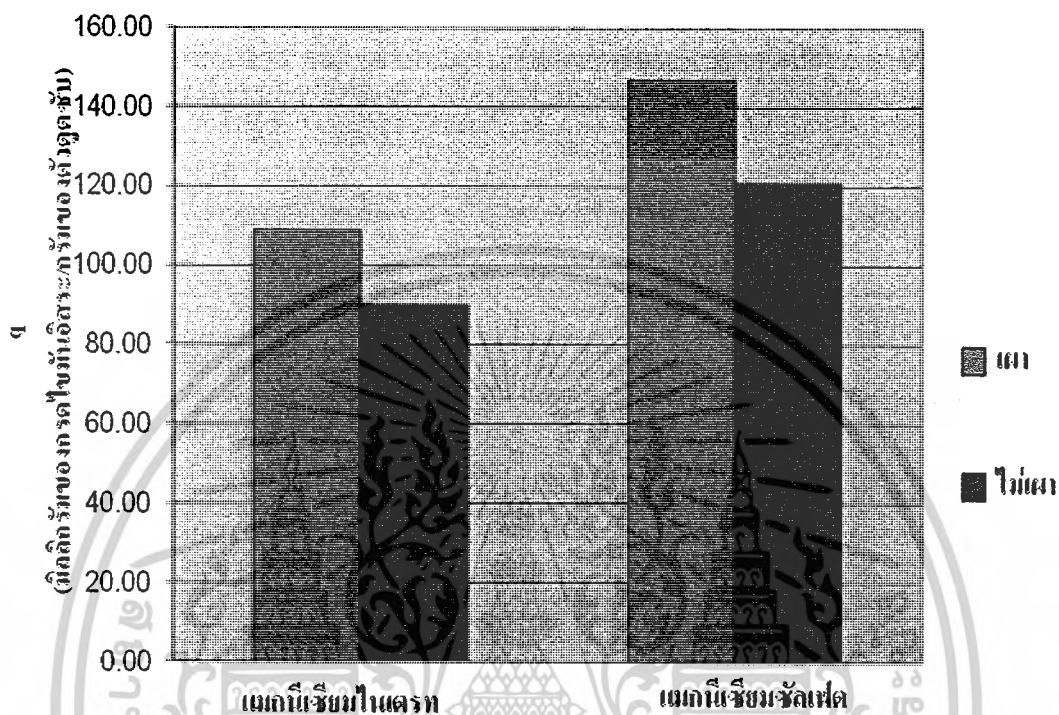
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวดูดซับ โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence หรือ XRFs) ได้ผลคือ สัดส่วนโดยโมลซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ของตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมไนเตรทที่ผ่านการเผากับไม่เผา คือ 0.91:1 กับ 0.85:1 และสัดส่วนโดยโมลซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ของตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมซัลเฟตที่ผ่านการเผากับ

ไม่เผา คือ 0.90:1 กับ 0.88:1 เมื่อนำตัวดูดซับไปดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ ได้ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.9 พบว่าการนำตัวดูดซับไปเผาก่อนนั้นมีความสามารถในการดูดซับได้ดีกว่า การที่ไม่ได้เผาตัวดูดซับ อาจเนื่องจากตัวดูดซับที่ผ่านการเผาทำให้น้ำและสิ่งเจือปนในผลึกบางส่วน หายไป ส่งผลให้ตัวดูดซับมีรูพรุนในผลึกมากขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.9 ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ที่สัดส่วนโดยโมลของ  $\text{SiO}_2$ :  $\text{MgO}$  เท่ากับ 0.90:1 ที่เผาตัวดูดซับกับไม่เผาตัวดูดซับ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแหล่งของแมกนีเซียมที่แตกต่างกันคือ แมกนีเซียมในเตรท กับ แมกนีเซียมซัลเฟต โดยการทดลองดูดซับกรดไขมันอิสระเป็นเวลา 7 ชั่วโมงที่สัดส่วนโดยโมลของซลิกา กับ แมกนีเซียมออกไซด์แตกต่างกัน พบว่าแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมในเตรทและแมกนีเซียมซัลเฟต ที่มีสัดส่วนโดยโมลของซลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 0.91:1 และ 0.90:1 ตามลำดับ มีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ ได้ดีที่สุดคือ 162.31 และ 232.57 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากแหล่งของแมกนีเซียมที่แตกต่างกันพบว่า ที่อัตราส่วนโดยโมล 0.90:1 แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมซัลเฟตมีการดูดซับได้ดีกว่าแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมในเตรท เนื่องจากตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมซัลเฟตมีความเป็นผลึกมากกว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมในเตรท ซึ่งเป็นแนวทางที่ดีเนื่องจากราคาของแมกนีเซียมซัลเฟตมีราคาที่ถูกกว่าแมกนีเซียมในเตรทมาก

การทดลองนำตัวดูดซับที่สัดส่วนโดยโมล 0.90:1 ของแมกนีเซียมทั้งสองแหล่งมาศึกษาขั้นตอนการเตรียมแมกนีเซียมซลิเกตโดยวิธีการเผาที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียสกับไม่เผาตัวดูดซับ โดยทำการดูดซับเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าตัวดูดซับที่ผ่านการเผามีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่าตัวดูดซับที่ไม่ผ่านการเผา เนื่องจากการนำตัวดูดซับไปเผามีโครงสร้างเป็นผลึกส่วนตัวดูดซับที่ไม่ได้เผามีโครงสร้างเป็นอสัณฐานซึ่งเห็นว่าความเป็นผลึกมีผลต่อการดูดซับ และจากการนำตัวดูดซับไปเผาจะทำให้น้ำและสิ่งเจือปนในผลึกบางส่วนหายไป ส่งผลให้ตัวดูดซับมีรูพรุนในผลึกมากขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ศึกษาไอโซเทอร์มของตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกต
- 5.2.2 ศึกษาการนำตัวดูดซับไปเผากับไม่เผาโดยดูดซับที่เวลาต่าง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร.คาวลีย์ ฉิมภู, **ชีวเคมี เล่ม 1 โมเลกุลชีวภาพ**, พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ประกายพริก. 2538.
- [2] อุษณีย์ วณิชเขตค่านวน, **คู่มือเรียนชีวเคมี โดย E-learning**, เชียงใหม่.: โรงพิมพ์ดาวคอมกราฟฟิค. 2548.
- [3] [http://teacher.nsruc.ac.th/sumolta/sumolta/new\\_page\\_2.htm](http://teacher.nsruc.ac.th/sumolta/sumolta/new_page_2.htm)
- [4] พรรณนีย์ วิชชาญ, **หนังสือพิมพ์กสิกร ปีที่ 78 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม – มิถุนายน 2548**.
- [5] Frank L. Slejko, **Adsorption Technology: A Step-by-Step Approach to process Evaluation and Applications**. New York: Marcel Dekker, 1985.
- [6] Charles, N., Satterfield, 1991, **Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice**. 2<sup>nd</sup> ed., New York: McGraw-Hill Book Company, pp. 31-50.
- [7] Noll, K.E., Gounarous, V. and Hou, W., 1992, **Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control**. Michigan, Lewis, pp. 199-216.
- [8] Oscik, J., **Adsorption**. New York, John Wiley & Sons, pp. 157-193.
- [9] <http://www2.diw.go.th/KM/pdf%5Cknow%5Cgas.pdf>
- [10] กรมวิทยาศาสตร์บริการ, **การศึกษาเรื่องการทำคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยการกระตุ้นด้วย ไอ้ น้ำ**, รายงานกิจกรรมกรมวิทยาศาสตร์บริการ, ฉบับที่ 38, 2523: 65-73.
- [11] มานัด แก้วถาวร, **ผลของโซเดียมคลอไรด์ ซิงค์คลอไรด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากกะลามะพร้าว**, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, 2537.
- [12] ศักดิ์จิตรา ดันสมบุรี่ ลัดดา ขาววิรัชน์ และ ชลธา ไกรวิถุนุสรณ์, **การผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากชานอ้อย**, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538: 15-18.
- [13] Hassler J.W. **Purification with Activated Carbon**. New York: Chemical Publishing Co. Inc. 1974. pp. 87-191
- [14] <http://www.dccchem.co.kr/English/index.asp>
- [15] <http://www.dud-d.com>
- [16] [http://siweb.dss.go.th/dss\\_doc/fulltext/radio/T53.pdf](http://siweb.dss.go.th/dss_doc/fulltext/radio/T53.pdf)
- [17] Hu Z. and Srinivasan.M.P. , **Preparation of High – Surface – Area Activated Carbon**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- from Coconut Shell, Microporous and Mesoporous Materials, vol. 27, May, 1999, pp. 11-18.
- [18] 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.
- [19] วรช แพทย์รังษี, **การดูดซับกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้แมกนีเซียมซิดิเกตที่สังเคราะห์จากแกลบ**, รายงานจาก The 18<sup>th</sup> Thailand Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference October 20 – 21, 2008, Pattaya Thailand.
- [20] จีรพา วงศ์สิงหรา และภัทรภรณ์ หลักทอง, **การศึกษาการดูดซับสิ่งเจือปนในน้ำมันไบโอดีเซล**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2550.
- [21] สาวิตรี จันทรานุรักษ์ และศดานันท์ เจียมสันคุษฎี, **ความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่เลิกใช้จากการทอดอาหารชนิดต่างๆ**, คณะอุตสาหกรรมและการเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549.
- [22] ณัฐพงษ์ เสาะแสวงหา และรัฐพงษ์ โอตาการ, **การศึกษาการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2549.
- [23] S. Ozgul Yucel and S. Turkey, **Purification of FAME by Rice Hull Ash Adsorption**, J. Am. Oil Chem, Soc. 80, 2003, pp.373 – 376.
- [24] J. Stephen Hartman และ Roberta L. Millard, **Gel Synthesis of Magnesium Silicates: A <sup>29</sup>Si Magic Angle Spinning Nmr Study**, Phys Chem Minerals(1990) 17 : 1-8.
- [25] Filip Ciesielczyk, Andrzej Krysztafkiewicz and Teofil Jesionowski, **Physicochemical studies on precipitation magnesium silicates**, J. Master. Sci. vol.42, 2007, pp.3831 – 3840.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบ

ตารางที่ ก.1 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในสัดส่วนโดยโมลต่าง ๆ เวลา 7 ชั่วโมง

สัดส่วนโดยโมล (SiO <sub>2</sub> :MgO)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ใน การทดลอง(กรัม)	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ ในการไทเทรต (กรัม)	ปริมาตร NaOH ที่ ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	เปอร์เซ็นต์ ของกรด ไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรด ไขมันอิสระโดย เฉลี่ย	ความสามารถใน การดูดซับ (มิลลิลิตร/กรัม)
ไม่ผ่านการดูดซับ	-	-	10.0725	12.2	3.2775	3.2743	-
			10.0648	12.2	3.2801		
			10.0278	12.1	3.2652		
0.40:1	50.1017	1.0035	10.0255	11.2	3.0230	3.0419	116.0305
			10.0180	11.3	3.0523		
			10.0245	11.3	3.0503		
0.75:1	50.0442	1.0052	10.0139	11.2	3.0265	3.0024	135.3138
			10.0745	11.1	2.9814		
			10.0140	11.1	2.9994		

ตารางที่ ก.1 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยเมกนีเซียมซัลเฟตที่สังเคราะห์จากเมกนีเซียมไนเตรทในสัดส่วนโดยโมลต่าง ๆ เวลา 7 ชั่วโมง (ต่อ)

สัดส่วนโดยโมล (SiO <sub>2</sub> :MgO)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ใน การทดลอง(กรัม)	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ ในการไทเทรต (กรัม)	ปริมาตร NaOH ที่ ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	เปอร์เซ็นต์ ของกรด ไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรด ไขมันอิสระโดย เฉลี่ย	ความสามารถใน การดูดซับ (มิลลิลิตร/กรัม)
1:1	50.0558	1.0070	10.0203	10.9	2.9427	2.9477	162.3103
			10.0395	11.0	2.9649		
			10.1396	11.0	2.9356		
2:1	50.0540	1.0152	10.0207	11.7	3.1595	3.1461	60.2013
			10.0233	11.6	3.1317		
			10.0601	11.7	3.1471		
3:1	50.0903	1.0215	10.0197	11.9	3.2138	3.2151	29.0178
			10.0140	12.0	3.2427		
			10.0134	11.8	3.1888		
4:1	50.0096	1.0085	10.0245	12.0	3.2393	3.2433	15.3683
			10.0480	12.0	3.2317		
			10.0472	12.1	3.2589		

ตารางที่ ก.2 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิดิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมซัลเฟตในสัดส่วนโดยโมลต่าง ๆ เวลา 7 ชั่วโมง

สัดส่วนโดยโมล (SiO <sub>2</sub> :MgO)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ใน การทดลอง(กรัม)	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ ในการไทเทรต (กรัม)	ปริมาตร NaOH ที่ ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	เปอร์เซ็นต์ ของกรด ไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรด ไขมันอิสระโดย เฉลี่ย	ความสามารถใน การดูดซับ (มิลลิลิตร/กรัม)
ไม่ผ่านการดูดซับ	-	-	10.0725	12.2	3.2775	3.2743	-
			10.0648	12.2	3.2801		
			10.0278	12.1	3.2652		
0.40:1	50.0831	1.0087	10.0225	11.3	3.0509	3.0367	117.9523
			10.0253	11.2	3.0231		
			10.0713	11.3	3.0361		
0.75:1	50.0503	1.0015	10.0400	11.0	2.9647	2.9719	151.0963
			10.0267	11.0	2.9687		
			10.0714	11.1	2.9824		

ตารางที่ ก.2 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมซิลเฟตในสัดส่วนโดยโมลต่าง ๆ เวลา 7 ชั่วโมง (ต่อ)

สัดส่วนโดยโมล (SiO <sub>2</sub> :MgO)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ใน การทดลอง(กรัม)	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ ในการไทเทรต (กรัม)	ปริมาตร NaOH ที่ ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	เปอร์เซ็นต์ ของกรด ไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรด ไขมันอิสระโดย เฉลี่ย	ความสามารถใน การดูดซับ (มิลลิลิตร/กรัม)
1:1	50.0880	1.0011	10.0179	10.4	2.8092	2.8094	232.5745
			10.0322	10.3	2.7782		
			10.0019	10.5	2.8408		
2:1	50.0031	1.0005	10.1237	11.5	3.0739	3.0926	90.7790
			10.0569	11.5	3.0943		
			10.0070	11.5	3.11097		
3:1	50.0425	1.0021	10.0221	11.6	3.1320	3.1344	69.8579
			10.0449	11.6	3.1249		
			10.0631	11.7	3.1462		
4:1	50.1136	1.0009	10.0438	11.8	3.1792	3.1839	45.2257
			10.0948	11.9	3.1899		
			10.0324	11.8	3.1828		

ตารางที่ ก.3 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตที่สกัดส่วนโดยโมล (SiO<sub>2</sub>; MgO) เท่ากับ 0.90:1 ที่เวลา 1 ชั่วโมง

แหล่งของแมกนีเซียม	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง(กรัม)	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการไทเทรต (กรัม)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับ (มิลลิลิตร/กรัม)
ไม่ผ่านการดูดซับ	-	-	10.0725	12.2	3.2775	3.2743	-
			10.0648	12.2	3.2801		
			10.0278	12.1	3.2652		
แมกนีเซียมไนเตรท	50.0418	1.0019	10.0230	11.3	3.0508	3.0561	108.9829
			10.0250	11.3	3.0502		
			10.0572	11.4	3.0673		
แมกนีเซียมซัลเฟต	50.0520	1.0035	10.0230	11.1	2.9968	2.9801	146.7025
			10.0160	11.0	2.9718		
			10.0161	11.0	2.9718		

ตารางที่ ก.4 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตที่สกัดส่วนโดยโมล (SiO<sub>2</sub>: MgO) เท่ากับ 0.90:1 ที่เวลา 3 ชั่วโมง

แหล่งของแมกนีเซียม	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง(กรัม)	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการไทเทรต (กรัม)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับ (มิลลิลิตร/กรัม)
ไม่ผ่านการดูดซับ	-	-	10.0725	12.2	3.2775	3.2743	-
			10.0648	12.2	3.2801		
			10.0278	12.1	3.2652		
แมกนีเซียมไนเตรท	50.0418	1.0019	10.0275	11.2	3.0224	3.0293	123.9069
			10.0018	11.2	3.0302		
			10.0744	11.3	3.0352		
แมกนีเซียมซัลเฟต	50.0520	1.0035	10.0237	10.9	2.9426	2.9456	165.4786
			10.0720	11.0	2.9553		
			10.0365	10.9	2.9388		

ตารางที่ ก.5 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซิลิเกตที่สกัดส่วนโดยโมล (SiO<sub>2</sub>: MgO) เท่ากับ 0.90:1 ที่เวลา 5 ชั่วโมง

แหล่งของแมกนีเซียม	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง(กรัม)	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการไทเทรต (กรัม)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับ (มิลลิลิตร/กรัม)
ไม่ผ่านการดูดซับ	-	-	10.0725	12.2	3.2775	3.2743	-
			10.0648	12.2	3.2801		
			10.0278	12.1	3.2652		
แมกนีเซียมไนเตรท	50.1915	0.9563	10.0655	11.0	2.9572	2.9681	160.6963
			10.0938	11.1	2.9757		
			10.1089	11.1	2.9713		
แมกนีเซียมซัลเฟต	50.0994	1.0824	10.0087	10.3	2.7848	2.7869	225.5737
			10.0187	10.3	2.7820		
			10.0724	10.4	2.7940		

ตารางที่ ก.6 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตที่สกัดส่วนโดยโมล (SiO<sub>2</sub>: MgO) เท่ากับ 0.90:1 ที่เวลา 7 ชั่วโมง

แหล่งของแมกนีเซียม	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง(กรัม)	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการไทเทรต (กรัม)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับ (มิลลิลิตร/กรัม)
ไม่ผ่านการดูดซับ	-	-	10.0725	12.2	3.2775	3.2743	-
			10.0648	12.2	3.2801		
			10.0278	12.1	3.2652		
แมกนีเซียมไนเตรท	50.0558	1.0070	10.0232	10.9	2.9427	2.9477	160.6963
			10.0395	11.0	2.9649		
			10.1396	11.0	2.9356		
แมกนีเซียมซัลเฟต	50.0880	1.0011	10.0179	10.4	2.8092	2.8094	232.5745
			10.0322	10.3	2.7782		
			10.0019	10.5	2.8408		

ตารางที่ ก.7 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระที่เผาตัวดูดซับอุณหภูมิตั้งที่ 680 องศาเซลเซียสและไม้เผาตัวดูดซับที่สกัดด้วยโมล 0.90:1 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

แหล่งของ แมกนีเซียม	ลักษณะ ตัวดูด ซับ	ปริมาณน้ำมันที่ ใช้ในการ ทดลอง(กรัม)	น้ำหนักตัว ดูดซับ (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ ในการไทเทรต (กรัม)	ปริมาตร NaOH ที่ ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	เปอร์เซ็นต์ ของกรด ไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรด ไขมันอิสระโดย เฉลี่ย	ความสามารถใน การดูดซับ (มิลลิลิตร/กรัม)
ไม่ผ่านการดูดซับ		-	-	10.0725	12.2	3.2775	3.2743	-
				10.0648	12.2	3.2801		
				10.0278	12.1	3.2652		
แมกนีเซียมไนเตรท	เผา	50.0418	1.0019	10.0230	11.3	3.0508	3.0561	108.9829
				10.0250	11.3	3.0502		
				10.0572	11.4	3.0673		
	ไม่เผา	50.0582	1.0227	10.0130	11.4	3.0808	3.0902	90.0752
				10.0085	11.4	3.0822		
				10.0136	11.5	3.1077		

ตารางที่ ก.7 ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระที่เผาตัวดูดซับอุณหภูมิตั้งที่ 680 องศาเซลเซียสและไม่เผาตัวดูดซับที่สัดส่วนโดยโมล 0.90:1 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ต่อ)

แหล่งของแมกนีเซียม	ลักษณะตัวดูดซับ	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง(กรัม)	น้ำหนักตัวดูดซับ (กรัม)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการไทเทรต (กรัม)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับ (มิลลิลิตร/กรัม)
แมกนีเซียมซัลเฟต	เผา	50.0520	1.0035	10.0230	11.1	2.9968	2.9801	146.7025
				10.0160	11.0	2.9718		
				10.0161	11.0	2.9718		
	ไม่เผา	50.0940	1.0012	10.0280	11.2	3.0222	3.0329	120.7430
				10.0568	11.3	3.0405		
				10.0715	11.3	3.0361		

## ภาคผนวก ข

## ตัวอย่างการคำนวณ

ข.1 การคำนวณหาสัดส่วนโดยโมลของซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวดูดซับโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescence หรือ XRFs) วิธีการคำนวณหาสัดส่วนโดยโมลของซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์จากผลการวิเคราะห์ XRFs สามารถหาได้

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

เมื่อ A = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกา  
 B = มวลโมเลกุลของซิลิกา  
 C = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแมกนีเซียมออกไซด์  
 D = มวลโมเลกุลของแมกนีเซียมออกไซด์

## ตัวอย่างการคำนวณ

จากตาราง 4.1 องค์ประกอบของตัวดูดซับที่สังเคราะห์จากแมกนีเซียมในเตรทสัดส่วนโดยโมลของซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์จากการคำนวณเท่ากับ 0.90:1 นั้น มีองค์ประกอบของซิลิกาเป็น 51.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีแมกนีเซียมออกไซด์ 37.65 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถคำนวณหาสัดส่วนโดยโมลของซิลิกาต่อแมกนีเซียมได้คือ

$$\begin{aligned} \text{สัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์} &= \frac{51.50}{60} : \frac{37.65}{40} \\ &= 0.91:1 \end{aligned}$$

## ข.2 การคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ

วิธีการคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ สามารถหาได้จากสมการ

$$\% \text{FFA} = \frac{C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} \times 26.945}{W_{\text{Oil}}}$$

เมื่อ % FFA = ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

$C_{\text{NaOH}}$  = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 M  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่บริษัทฯ ผลิตขึ้นเพื่อให้บริการแก่ลูกค้าเท่านั้น เมื่อผู้ซื้อได้สินค้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_{NaOH}$  = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

$W_{oil}$  = น้ำหนักของน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ไทเทรต (กรัม)

### ตัวอย่างการคำนวณ

จากตาราง ก.1 ที่สัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ที่ 0.90:1 ใช้ปริมาณน้ำมันในการทดลองไทเทรตเท่ากับ 10.0203, 10.0395 และ 10.1396 มิลลิลิตร และปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เท่ากับ 10.9, 11.0 และ 11.0 มิลลิลิตร ดังนั้นปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับ

ปริมาณน้ำมันในการทดลองไทเทรตเฉลี่ย  $(10.0203+10.0395+10.1396)/3= 10.0665$

ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เฉลี่ย  $(10.9+11.0+11.0)/3= 10.97$

$$\%FFA = \frac{0.1 \times 10.97 \times 26.945}{10.0665} = 2.9477\%$$

### ข.3 การคำนวณความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบของตัวดูดซับ

วิธีการคำนวณหาความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C = \frac{(\%FFA_i - \%FFA_f) \times V_{oil} \times 1000}{W_{abs} \times 100}$$

เมื่อ C คือ ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมตัวถูกดูดซับต่อกรัมตัวดูดซับ)

$\%FFA_i$  คือ ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบก่อนการดูดซับ

$\%FFA_f$  คือ ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบหลังการดูดซับ

$V_{oil}$  คือ น้ำหนักของน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)

$W_{abs}$  คือ น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)

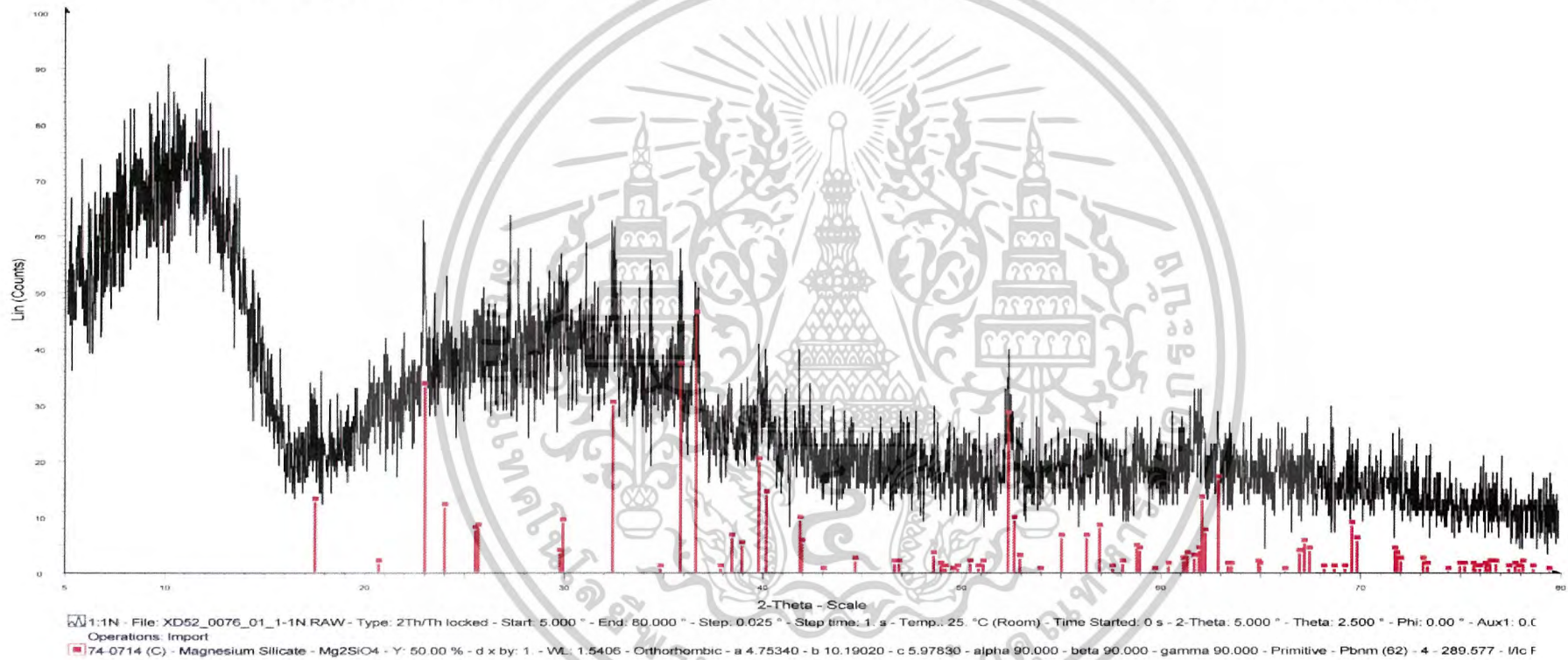
### ตัวอย่างการคำนวณ

จากตาราง ก.1 น้ำหนักของน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 50.0558 กรัม ปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนการทดลองเท่ากับ 3.2743 % และปริมาณกรดไขมันอิสระหลังการทดลองเท่ากับ 2.9477 % เพราะฉะนั้นความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับที่สภาวะนี้เท่ากับ

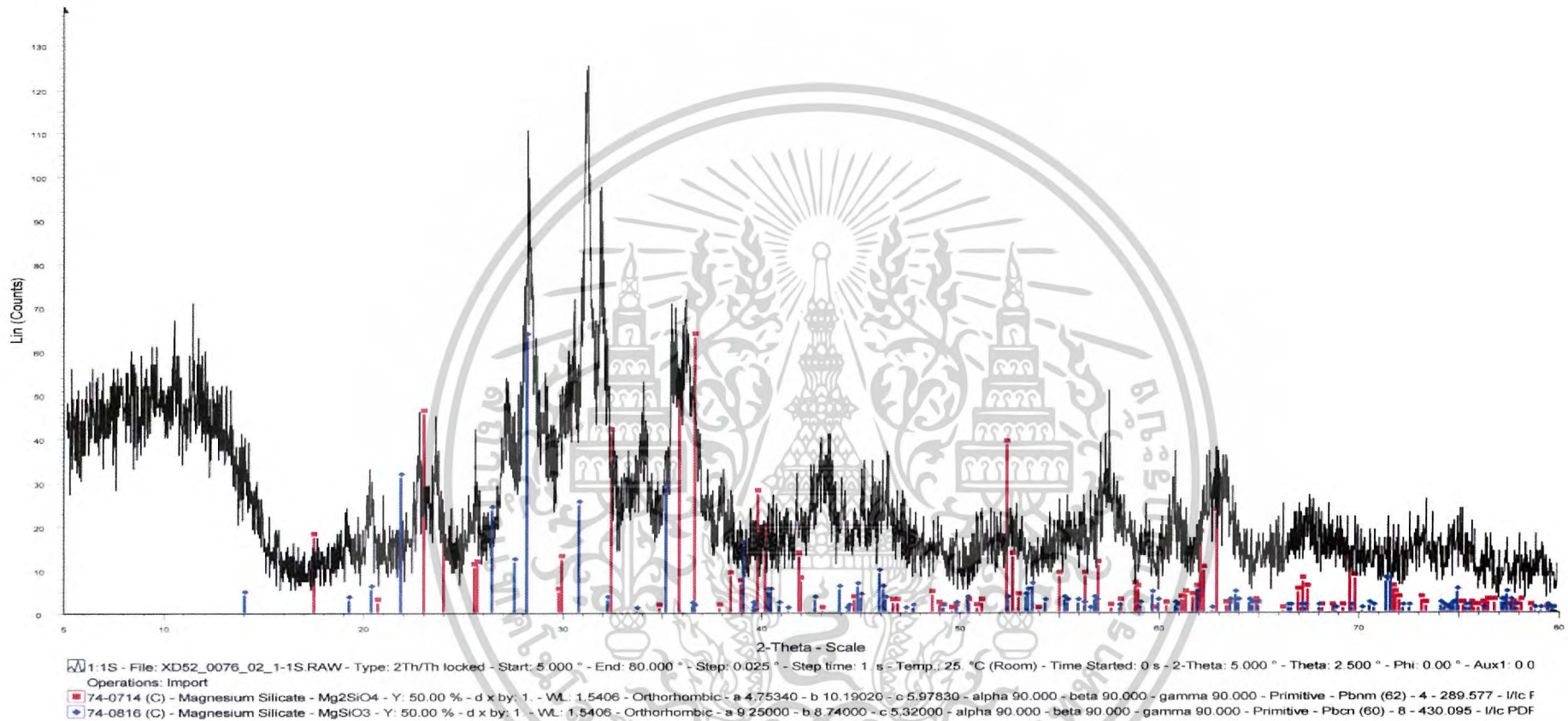
$$C = \frac{(3.2743 - 2.9477) \times 50.0558 \times 1000}{1.0070 \times 100} = 162.3130$$

## ภาคผนวก ค

### การตรวจดูความเป็นผลึกของตัวดูดซับโดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction, XRD)



รูปที่ ค.1 การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากโซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมไนเตรทที่สำคัญ โดย โมลของซิลิกา กับแมกนีเซียม ออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>: MgO) เท่ากับ 0.90:1



รูปที่ ค.2 การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากโซเดียมเมตตะซิลิเกตกับแมกนีเซียมซิลเฟตที่สัดส่วนโดย โมลของซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>:MgO) เท่ากับ 0.90:1