

การดูดซับกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้
หมกนี้เขียนซิลิเกตที่ได้จากแกลบ

*Adsorption of Free Fatty Acid from Crude Palm Oil using
Magnesium Silicate Derived from Rice Husk*

วรช พัทธรังษี

WAROD PATRUNGSEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะเทคโนโลยีชีวภาพปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M 220-150

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การดูดซับกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้แมกนีเซียมซิลิเกต
ที่สังเคราะห์จากแกลบ

Adsorption of Free Fatty Acid from Crude Palm Oil Using
Magnesium Silicate Derived from Rice Husk



T105533

วรัช แพทย์รังษี

WAROD PATRUNGSEE

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....105533
วัน,เดือน,ปี. 26 พ.ย. 2552



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2552

KMITL - 2009 - EN - M - 220 - 150

**ADSORPTION OF FREE FATTY ACID FROM CRUDE PALM OIL USING
MAGNESIUM SILICATE DERIVED FROM RICE HUSK**

WAROD PATRUNGSEE

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FUFILMENT
OF REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2009

KMITL - 2009 - EN - M - 220 - 150

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การดูดซับกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้แมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแกลบ
Thesis Title Adsorption of Free Fatty Acid from Crude Palm Oil using Magnesium Silicate
Derived from Rice Husk
นักศึกษา นายวรัช แพทย์รังษี
รหัสประจำตัว 50061105
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-220-150

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ประกอบ	กิจไชยา	
รศ.ดร.ดวงกมล	ณ ระนอง	
ดร.สันติ	วัฒนานุสรณ์	
ผศ.ดร.สุธาสินี	เนรมิตดกพงศ์	
ดร.พรสวรรค์	อัสวแสงรัตน์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ ๕ ตุลาคม พ.ศ. 2552 เวลา 12.30-14.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2552

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจล.
วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
วันที่ 29 เดือน ต.ค. พ.ศ. 38
ลงชื่อ.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การดูดซับกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแกลบ
นักศึกษา	นายวรัช แพทย์รังษี
รหัสประจำตัว	50061105
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ (SiO_2/MgO) ของแมกนีเซียมซลิเกตในการดูดซับกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มดิบ แมกนีเซียมซลิเกตได้จากการตกตะกอนของสารผสมระหว่างสารละลายโซเดียมซลิเกตจากแกลบกับสารละลายแมกนีเซียมไนเตรดหรือสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมซลิเกตที่เตรียมได้จากการตกตะกอนโดยใช้สารละลายแมกนีเซียมไนเตรดมี SiO_2/MgO เท่ากับ 3.93, 3.75, 2.74, 2.40 และ 1.99 และที่เตรียมได้จากการตกตะกอนโดยใช้สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตมี SiO_2/MgO เท่ากับ 3.96, 3.61, 3.51, 2.91 และ 2.69 นำแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม ค่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม ที่ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบก่อนการดูดซับ 2.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าที่ SiO_2/MgO เท่ากับ 1.99 มีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระมากที่สุด คือสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 185 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ และความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระของแมกนีเซียมซลิเกตลดลงเมื่อ SiO_2/MgO ของแมกนีเซียมซลิเกตเพิ่มขึ้น คาดว่าเกิดจากความสามารถในการดูดซับทางเคมีบนแมกนีเซียมซลิเกตลดลง นำแมกนีเซียมซลิเกตที่ SiO_2/MgO เท่ากับ 1.99 มาศึกษาผลของปริมาณของแมกนีเซียมซลิเกตต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่เวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ พบว่าความสามารถในการดูดซับของกรดไขมันอิสระลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ นำข้อมูลสมดุลการดูดซับมาหาแบบจำลองการดูดซับด้วยสมการ Langmuir และ Freundlich พบว่าไอโซเทิร์มของการดูดซับมีความสอดคล้องแบบจำลองของ Freundlich มากกว่าแบบจำลองของ Langmuir เนื่องจากในสมการของแบบจำลอง Langmuir ขอบเขตจำกัดความจุการดูดซับ (Q^0) และค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ (b) มีค่าติดลบจึงส่งผลให้สมการไม่เป็นจริง และการดูดซับกรดไขมันอิสระบนแมกนีเซียมซลิเกตเกิดจากการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งมีความสอดคล้องกับสมมติฐานของแบบจำลองของ Freundlich มากกว่าแบบจำลองของ Langmuir

Thesis title	Adsorption of free fatty acid from crude palm oil using magnesium silicate derived from rice husk
Student	Mr. Warod Patrungsee
Degree	Master of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Dr. Pornsawan Assawasaengrat

Abstract

Magnesium silicate with various silica and magnesium oxide ratios (SiO_2/MgO ratios) was used as the adsorbent for a study of adsorption of free fatty acid (FFA) in crude palm oil (CPO). Magnesium silicate was prepared from magnesium nitrate or magnesium sulfate solution precipitated with sodium silicate solution derived from rice husk. SiO_2/MgO ratios of the magnesium silicate synthesized from magnesium nitrate and magnesium sulfate were 3.93, 3.75, 2.74, 2.40, 1.99 and 3.96, 3.61, 3.51, 2.91, 2.69, respectively. FFA adsorption on the magnesium silicate was carried out by adding 1 gram of the adsorbent to 50 grams of CPO and shaking for 1 hour at 50°C . It was found that SiO_2/MgO ratio of 1.99 had the highest adsorption capacities of 185 mg of FFA per gram of adsorbent. In addition, increasing of SiO_2/MgO ratios of magnesium silicate was found to reduce the adsorption capacities due to decreasing of FFA chemisorption. The effect of dosage amount to equilibrium adsorption capacities were carried out by adding different amount of magnesium silicate (SiO_2/MgO ratio of 1.99) to 50 grams of CPO. The result showed decreasing in efficiency when dosage increased. The Freundlich isotherm better described this phenomenon than the Langmuir isotherm. The values of maximum sorption capacity (Q^0) and Langmuir's sorption affinity (b) in the Langmuir equation obtained by linear-regression were minus values which were physically meaningless. Moreover, FFA adsorption on magnesium silicate was both physisorption and chemisorption and well represented by the Freundlich isotherm.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสามารถของอาจารย์ที่ปรึกษา
ดร. พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะในการแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้
และประสบการณ์ที่ดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา ที่มอบน้ำมันปาล์มดิบให้ใช้ในงานวิจัย ให้
คำปรึกษาและชี้แนะให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำชี้แนะนำและข้อชี้แนะใน
การทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนึ่งยังมีผู้มีพระคุณอีกหลายท่านที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวนาม และถ้ามีสิ่งผิดพลาดประการใด
ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

วรัช แพทย์รังษี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แกลบ.....	4
2.2 กรดไขมัน.....	5
2.3 ปาล์มน้ำมัน.....	6
2.4 การคูดซับ.....	8
2.4.1 ประเภทของการคูดซับ.....	8
2.4.2 กลไกการคูดซับ.....	9
2.4.3 ตัวคูดซับ.....	10
2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการคูดซับ.....	10
2.5 สมดุลของการคูดซับ.....	11
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 อุปกรณ์และการดำเนินงานวิจัย.....	19
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	19
3.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	19

สารบัญ

	หน้า
3.3 สารเคมี.....	20
3.4 วิธีการทดลอง.....	20
3.4.1 การสังเคราะห์แมกนีเซียมซัลไฟด์จากแคลบ.....	20
3.4.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของแมกนีเซียมซัลไฟด์.....	21
3.4.3 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ปาล์มดิบบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากแคลบกับ แมกนีเซียมซัลไฟด์ทางการค้า.....	23
3.4.4 การศึกษาผลของอัตราส่วน โดยโมลระหว่างซัลไฟด์ต่อแมกนีเซียม ออกไซด์บนตัวดูดซับแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากแคลบต่อ ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ.....	23
3.4.5 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จาก แคลบต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม ดิบ และเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ.....	23
3.4.6 ทำการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ ด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากแคลบ.....	24
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	25
4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของแมกนีเซียมซัลไฟด์.....	25
4.1.1 การตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับ โดยวิธีการ เรืองแสงของรังสีเอ็กซ์.....	25
4.1.2 การตรวจดูความเป็นผลึกของตัวดูดซับ โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสี เอ็กซ์	26
4.1.3 การวิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรของรูพรุนแบบมีโซ พอร์สบนตัวดูดซับด้วยวิธี BET.....	28
4.1.4 การหาโครงสร้างของสาร โดยการวิเคราะห์การดูดกลืนรังสี อินฟราเรด.....	29
4.1.5 การตรวจวัดปริมาณตำแหน่งความเป็นกรด (Acid site) บนตัวดูดซับ...	30

สารบัญ

	หน้า
4.2 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ เวลา 1 ชั่วโมง.....	31
4.3 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลและผลของปริมาณตัวดูดซับต่อความ สามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ.....	35
4.4 ไอโซเทอรั่มการดูดซับ.....	37
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	41
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบสารละลายโซเดียมซิติลิกेट.....	47
ภาคผนวก ข การหาความแรงของความเป็นกรดและปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัว ดูดซับโดยการไทเทรตด้วยเอมีน.....	48
ภาคผนวก ค การหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม.....	51
ภาคผนวก ง องค์ประกอบของแมกนีเซียมซิติลิกेटที่สังเคราะห์จากแคลบและแมกนีเซียม ซิติลิกेटทางการค้า.....	52
ภาคผนวก จ ข้อมูลดิบ.....	53
ภาคผนวก ฉ ผลงานทางวิชาการ.....	73
ประวัติผู้เขียน.....	78

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของเด้าเกลบ.....	4
2.2 ตัวอย่างกรดไขมันที่พบในธรรมชาติ.....	6
2.3 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม.....	7
4.1 องค์ประกอบของเมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากเกลบและเมกนีเซียมซลิเกต ทางการค้า.....	26
4.2 พื้นที่ผิวและขนาดพอรุน โดยเฉลี่ยของเมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากเกลบ.....	28
4.3 สมการเส้นตรง ค่าคงที่ และค่า R2 ของแบบจำลอง Langmuir และ Freundlich.....	39
ข.1 อินดิเคเตอร์ของแสมเมตต์ที่ใช้ในการวัดความแรงของกรด.....	48
ค.1 น้ำหนักน้ำมัน ปริมาตรแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของค่าที่ต้องใช้กับปริมาณกรด ไขมันอิสระในช่วงต่างๆ.....	51
ง.1 องค์ประกอบของเมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากเกลบและเมกนีเซียมซลิเกต ทางการค้า.....	52
จ.1 ปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับเมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากเกลบ ซึ่งตกตะกอนด้วยสารละลายเมกนีเซียมไนเตรด.....	54
จ.2 ปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับเมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากเกลบ ซึ่งตกตะกอนด้วยสารละลายเมกนีเซียมซัลเฟต.....	55
จ.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซลิเกตทาง การค้า ปริมาณตัวดูดซับ 2 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง...	56
จ.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซลิเกตที่ สังเคราะห์จากเกลบ ปริมาณตัวดูดซับ 2 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการ ดูดซับ 1 ชั่วโมง.....	57
จ.5 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซลิเกตที่ สังเคราะห์จากเกลบซึ่งตกตะกอนด้วยสารละลายเมกนีเซียมไนเตรด ปริมาณตัว ดูดซับ 1 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง.....	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซลิเกตที่ ตั้งเคราะห์จากแคลบซึ่งตกตะกอนด้วยสารละลายเมกนีเซียมซลิเฟด ปริมาณตัว ดูดซับ 1 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง.....	63
จ.7 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซลิเกตที่มี อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อเมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ปริมาณตัว ดูดซับ 0.25 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 5, 9 และ 13 ชั่วโมง.....	65
จ.8 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซลิเกตที่มี อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อเมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ปริมาณตัว ดูดซับ 0.5 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 5, 9 และ 13 ชั่วโมง.....	66
จ.9 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซลิเกตที่มี อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อเมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ปริมาณตัว ดูดซับ 1 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 5, 9 และ 13 ชั่วโมง.....	62
จ.10 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซลิเกตที่มี อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อเมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ปริมาณตัว ดูดซับ 1.5 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 5, 9 และ 13 ชั่วโมง.....	63
จ.11 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซลิเกตที่มี อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อเมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ปริมาณตัว ดูดซับ 2 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 5, 9 และ 13 ชั่วโมง.....	64
จ.12 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบเจือจางด้วยน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กำจัดไขมันที่ ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซลิเกตที่มีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อเมกนีเซียม ออกไซด์เท่ากับ 1.99 ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการ ดูดซับ 13 ชั่วโมง.....	65

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การดูดซับในลักษณะต่างๆ ด้วยแรงทางกายภาพ.....	9
2.2 กลไกการดูดซับ.....	10
2.3 ไอโซเทิร์มทั้ง 6 ชนิด ตามการจำแนกของ IUPAC.....	13
4.1 ผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จาก เกลบที่ตกตะกอน โดยสารละลายแมกนีเซียมไนเตรดหรือแมกนีเซียมซัลเฟต และ แมกนีเซียมซลิเกตทางการค้า.....	27
4.2 ผลการดูดซับแสงอินฟราเรดของแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากเกลบ แมกนีเซียม ซลิเกตทางการค้า และซลิกา.....	29
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน โดยโมลระหว่างซลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์กับ ปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดที่ฟังก์ชันสภาพความเป็นกรดของแสมเมตต์ < 4.8 ของ แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากเกลบที่ตกตะกอน โดยสารละลายแมกนีเซียม ไนเตรดหรือแมกนีเซียมซัลเฟต.....	30
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระกับอัตราส่วน โดย โมลระหว่างซลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ ที่ปริมาณตัวดูดซับ 2 กรัม เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง.....	31
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระกับอัตราส่วน โดย โมลระหว่างซลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม	32
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ กับปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับที่ฟังก์ชันสภาพความเป็นกรดของ แสมเมตต์ ≤ 4.8	33
4.7 ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับ โดย แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากเกลบปริมาณ 0.25, 0.50, 1.00, 1.50 และ 2.00 กรัม ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม ที่เวลาต่าง ๆ.....	35

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่เวลาเข้าสู่สมดุลบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลกับปริมาณแมกนีเซียมซลิเกต.....	36
4.9 ความสามารถในการดูดซับและปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่เวลาเข้าสู่สมดุลบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแคล.....	37
4.10 ความสามารถในการดูดซับและปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่เวลาเข้าสู่สมดุลในรูปของสมการเส้นตรงของแบบจำลองของ Langmuir.....	38
4.11 ความสามารถในการดูดซับและปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่เวลาเข้าสู่สมดุลในรูปของสมการเส้นตรงของแบบจำลองของ Freundlich.....	39

กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน [11] ซึ่งเป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยากและทำให้สูญเสียน้ำมันไปบางส่วน แต่วิธีการลดกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการดูดซับนั้นเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากแยกตัวดูดซับออกจากน้ำมันง่าย และมีประสิทธิภาพสูง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการสังเคราะห์เมกนีเซียมซิติลิกเตดจากแคลบ ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิติลิกเตดต่อเมกนีเซียมออกไซด์บนตัวดูดซับเมกนีเซียมซิติลิกเตดต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ ผลของปริมาณของเมกนีเซียมซิติลิกเตดที่สังเคราะห์จากแคลบที่ใช้ในการดูดซับต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่เวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ และศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการอธิบายรูปแบบของกระบวนการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบบนตัวดูดซับเมกนีเซียมซิติลิกเตดที่สังเคราะห์จากแคลบ

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาการเตรียมตัวดูดซับเมกนีเซียมซิติลิกเตด
2. ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิติลิกเตดต่อเมกนีเซียมออกไซด์บนตัวดูดซับเมกนีเซียมซิติลิกเตดต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ
3. ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการอธิบายรูปแบบของกระบวนการดูดซับ

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาการเตรียมตัวดูดซับเมกนีเซียมซิติลิกเตด
2. ศึกษาคุณลักษณะและคุณสมบัติของเมกนีเซียมซิติลิกเตด
 - 2.1 วิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเมกนีเซียมซิติลิกเตด โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (XRF)
 - 2.2 วิเคราะห์ความเป็นผลึกของเมกนีเซียมซิติลิกเตด โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)
 - 2.3 วิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดของรูพรุนของเมกนีเซียมซิติลิกเตดด้วยวิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET)
 - 2.4 วิเคราะห์โครงสร้างของเมกนีเซียมซิติลิกเตด โดยการวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (FT-IR)
 - 2.5 วิเคราะห์ปริมาณตำแหน่งความเป็นกรด (Acid site) บนเมกนีเซียมซิติลิกเตดด้วยวิธีการไทเทรตด้วยเอมีน

3. ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์บนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ ที่เวลา 1 ชั่วโมง

4. ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตต่อความสามารถการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่เวลาเข้าสู่สมดุลการดูด

5. ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการอธิบายรูปแบบของกระบวนการดูดซับ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเพิ่มมูลค่าของแกลบได้

2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีการดูดซับและกระบวนการดูดซับด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกต

3. สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายรูปแบบของกระบวนการดูดซับด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แกลบ [3-5,12]

ในปัจจุบันปริมาณการผลิตข้าวของประเทศไทยนั้นสูงขึ้นมากกว่าข้อมูลในปี 2544 เนื่องจากปัจจัยหลายด้าน และนั่นก็ส่งผลให้ปริมาณแกลบสูงขึ้นด้วย โดยแกลบเหล่านี้มักจะถูกนำมาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น

- ใช้เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากแกลบนั้นจะให้พลังงานความร้อนใกล้เคียงกับถ่านไม้
- ใช้ผสมกับดินเหนียวทำอิฐ
- ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์
- ใช้เป็นแหล่งอาหารของพืช โดยผสมในปุ๋ยแอมโมเนีย ซึ่งช่วยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว

- ใช้เป็นฉนวนความร้อน

การนำแกลบมาเผา นั้นจะได้เถ้าแกลบประมาณ 16.4 – 18.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [8] ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในเถ้าแกลบนั้นมีปริมาณซิลิกาสูงถึง 86.9 – 97.3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ซึ่งคุณสมบัติของเถ้าแกลบนี้จะแตกต่างกันไปโดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการเผา

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเถ้าแกลบ [12]

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
SiO ₂	86.9 - 97.3
K ₂ O	0.58 - 2.50
Na ₂ O	0.00 - 1.75
CaO	0.20 - 1.50
MgO	0.12 - 0.96
Fe ₂ O ₃	0.00 - 0.54
P ₂ O ₅	0.20 - 0.85
SO ₃	0.10 - 1.13
Cl ₂ O	0.00 - 0.42

โดยทั่วไปถ้าแกลบที่ได้จากการเผาแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

– แกลบดำ เกิดจากการเผาแกลบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส ทำให้สารประกอบคาร์บอนหลงเหลืออยู่มาก คือ ประมาณ 5 – 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งแกลบนี้มักนำไปใช้เป็นสารดูดสีจำพวกคาร์บอนกัมมันต์

– แกลบขาว เกิดจากการเผาแกลบในช่วงอุณหภูมิ 600 – 800 องศาเซลเซียส ในที่ที่มีอากาศเพียงพอ แกลบชนิดนี้จะมีปริมาณซิลิกาที่สูงมาก

การที่จะได้ซิลิกาจากแกลบขาวที่อยู่ในรูปอสัณฐาน ซึ่งมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาจำเป็นต้องทำในอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากหากเผาเป็นเวลานานเกินไปจะส่งผลให้ซิลิกานั้นอยู่ในรูปของผลึก ซึ่งยากในการบดละเอียดและเฉื่อยในการทำปฏิกิริยา

2.2 กรดไขมัน (Fatty acid) [13, 14]

กรดไขมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนอะตอมเกาะกันเป็นเส้นตรง ส่วนใหญ่มักไม่ค่อยพบกรดไขมันเป็นอิสระ โดยมักพบเป็นส่วนประกอบของไขมันหลายชนิด เช่น ไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟกลีเซอไรด์ ในธรรมชาติมักพบกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นจำนวนคู่ระหว่าง 4 – 24 อะตอม ที่พบมากมีจำนวนคาร์บอน 16 และ 18 อะตอมมีสูตรทั่วไปคือ RCOOH มี 2 ประเภทดังนี้

1) กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid)

กรดไขมันที่โมเลกุลมีความอิ่มตัว มีหมู่คาร์บอกซิลิก ($-\text{COOH}$) 1 หมู่ต่ออยู่กับไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสายยาว ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีแต่พันธะเดี่ยวอย่างเดียว เช่น กรดปาล์มมิติก (Palmitic) มีคาร์บอน 16 ตัวเป็นกรดไขมันอิ่มตัวมากที่มีมากในธรรมชาติและพบในร่างกาย

2) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีทั้งพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ มีหมู่คาร์บอกซิลิก ($-\text{COOH}$) 1 หมู่ต่ออยู่กับไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะคู่รวมอยู่ด้วย อาจมีตั้งแต่ 1 พันธะคู่ เรียกกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว และ 2 พันธะคู่ขึ้นไป เรียกกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน ทั้งนี้พันธะคู่ในกรดไขมันต้องอยู่ห่างกัน 3 คาร์บอนดังนี้ $-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-$ เสมอ ตัวอย่างกรดไขมันที่พบในธรรมชาติแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างกรดไขมันที่พบในธรรมชาติ [15]

กรดไขมัน	สูตร	จำนวนคาร์บอน และพันธะคู่	แหล่งที่พบ
กรดไขมันอิ่มตัว			
กรดบิวทีริก (butyric acid)	C_4H_8COOH	4 : 0	เนย
กรดคาโปรอิก (caproic acid)	$C_6H_{12}COOH$	6 : 0	เนย น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว
กรดคาพริลิก (caprylic acid)	$C_8H_{16}COOH$	8 : 0	เนย น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว
กรดคาพริก (capric acid)	$C_{10}H_{20}COOH$	10 : 0	เนย น้ำมันมะพร้าว
กรดไขมันไม่อิ่มตัว			
กรดลอริก (lauric acid)	$C_{12}H_{24}COOH$	12 : 0	ไขปลาวาฬ น้ำมันมะพร้าว
กรดปาล์มิติก (palmitic acid)	$C_{16}H_{32}COOH$	16 : 0	ไขมันสัตว์และพืช
กรดสเตียริก (stearic acid)	$C_{18}H_{36}COOH$	18 : 0	ไขมันสัตว์และพืช
กรดไขมันไม่อิ่มตัว			
กรดโอเลอิก (oleic acid)	$C_{18}H_{34}COOH$	18 : 1	ไขมันสัตว์และพืช
กรดลิโนเลอิก (linoleic acid)	$C_{18}H_{32}COOH$	18 : 2	น้ำมันลินสีด
กรดลิโนเลนิก (linolenic acid)	$C_{18}H_{28}COOH$	18 : 3	น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันลินสีด
กรอออะราคิโดนิก	$C_{20}H_{38}COOH$	20 : 4	ไขมันสัตว์

2.3 ปาล์มน้ำมัน [16]

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชยืนต้นที่ทนทานต่อผลกระทบจากภัยธรรมชาติมากกว่าพืชอายุสั้นอื่นๆ ลงทุนเพียงครั้งเดียวก็สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นาน 20 ปี อีกทั้งมีต้นทุนต่ำ ผลผลิตต่อพื้นที่สูง และมีราคาซื้อขายในตลาดไม่สูงนัก อีกทั้งเป็นพืชที่อนุรักษ์สภาพแวดล้อม (Ecofriendly crop) เมื่อปลูกปาล์มน้ำมันเป็นระยะเวลานานจะทำให้สภาพนิเวศที่เสียหายไปกลับคืนสู่สภาพธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถสกัดองค์ประกอบจากน้ำมันปาล์มได้แก่ กรดไขมันหลายชนิด วิตามินอี และวิตามินเอ นำมาใช้ประโยชน์และใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรม Oleochemical และพลังงานทดแทน

ผลปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้ำมัน 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม (Palm Oil) ได้จากการสกัดเนื้อปาล์ม และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel Oil) สกัดจากเมล็ดปาล์ม โดยน้ำมันที่สกัดจากผลปาล์มสดจะมีเบต้าแคโรทีน (Beta-Carotene) โปรวิตามินเอ (Pro Vitamin A) และวิตามินอี (Vitamin E) ในปริมาณสูง

น้ำมันปาล์ม ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว และกรดไขมันที่อิ่มตัวในสัดส่วนที่สมดุล และด้วยเหตุที่มีวิตามินอีสูง จึงทำให้น้ำมันปาล์มมีเสถียรภาพสูง สำหรับกรดไขมันไม่อิ่มตัวนั้น ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวพันธะเดี่ยว โอลีอิก (Mono-unsaturated oleic acid) 40% ขณะที่กรดไขมันอิ่มตัวประกอบด้วย กรดปาล์มมิติก (palmitic acid) 44% และกรดสเตียริก (Stearic acid) 5% ด้วยสัดส่วนของส่วนผสมดังกล่าว ทำให้น้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติพิเศษ เหมาะสำหรับการใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารหลายประเภท ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม

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

คุณสมบัติพิเศษของน้ำมันปาล์มจึงนำไปใช้ในการปรุงอาหารได้หลากหลาย โดยปราศจากโคเลสเตอรอล และเป็นแหล่งพลังงานของร่างกาย นอกจากนี้ยังมีผลพลอยได้จากน้ำมันปาล์ม ในการนำไปเป็นส่วนผสมของเนยเหลือง หรือมาการีน อีกทั้งใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ ผงซักฟอก เครื่องสำอาง ยา ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในครัวเรือนและอุตสาหกรรม

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม [17]

ชื่อของกรดไขมัน	ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณที่พบ (%)	
		อยู่ในช่วง	ค่าเฉลี่ย
กรดลอริก	C 12:0	0.1-1.0	0.2
กรดไมริสติก	C14:0	0.9-1.5	1.1
กรดปาล์มมิติก	C16:0	41.8-46.8	44.0
กรดปาล์มมิโดเลอิก	C16 :1	0.1-0.3	0.1
กรดสเทียริก	C18:0	4.2-5.1	4.5
กรดโอเลอิก	C18 :1	37.3-40.8	39.2
กรดลิโนเลอิก	C18 :2	9.1-11.0	10.1
กรดลิโนเลนิก	C18 :3	0.0-0.6	0.4
กรดอราซิก	C 20:0	0.2-0.7	0.4

2.4 การดูดซับ [18]

การดูดซับ คือ กระบวนการจับ โมเลกุลของของเหลวหรือก๊าซด้วยของแข็งหรือของเหลวโดย โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะอยู่บนผิวของตัวดูดซับ ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นของแข็ง นิยมใช้ สารประกอบที่มีรูพรุนเป็นตัวดูดซับ เพราะว่ามีพื้นที่ผิวภายในมาก เมื่อ โมเลกุลของของไหลผ่าน เข้าไปในตัวดูดซับจะถูกดูดไว้ภายในรูพรุน ซึ่งกระบวนการดูดซับขึ้นอยู่กับลักษณะ โครงสร้างที่ ซับซ้อนของตัวดูดซับ คุณสมบัติของทั้งตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ จำนวนชั้นของ โมเลกุลของ ตัว ถูกดูดซับที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิว และขนาดรูพรุนของตัวดูดซับ การดูดซับโมเลกุลของสารบนผิว ของตัวดูดซับ อาจเกิดจากแรงทางกายภาพหรือแรงจากทางเคมีหรือจาก ทั้งสองแรงร่วมกัน

2.4.1 ประเภทของการดูดซับ [18-21]

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

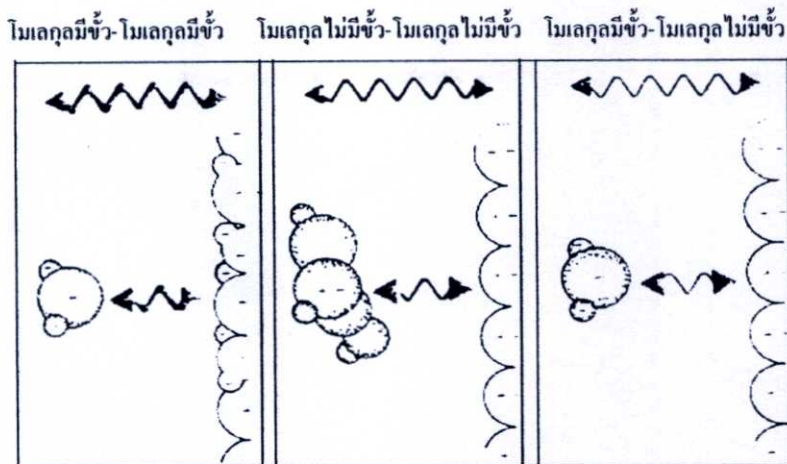
1. การดูดซับทางกายภาพ มีแรงแวนเดอร์วาลส์เป็นแรงในการดูดซับระหว่าง กระบวนการ การดูดซับทางกายภาพ ตัวถูกดูดซับจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง การดูดซับทางกายภาพเป็นกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นเององค์ประกอบหลักของ การดูดซับ ทางกายภาพ คือ ธรรมชาติของสาร แรงระหว่างผิวสัมผัส และความสามารถในการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่ถูกดูดซับ การดูดซับทางกายภาพเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ และเป็น กระบวนการคายความร้อน อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะถูกจำกัดโดยอัตราการเคลื่อนที่ของมวลในวัฏ ภาคก๊าซ หรือในตัวดูดซับความร้อนของการดูดซับทางกายภาพจะสูงเมื่อก๊าซมีอุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิวิกฤต

ลักษณะการจับตัวด้วยแรงทางกายภาพเกิดผล 3 อย่าง ดังรูปที่ 2.1

ก. เกิดจากแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม ลักษณะการดูดซับแบบนี้ จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับต่างเป็น โมเลกุลมีขั้วทั้งคู่

ข. เกิดจากหลักการที่ว่าโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว สามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้ ถ้า อิเล็กตรอนเคลื่อนที่มาอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมาก และเมื่อมี โมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะแบบเดียวกัน เข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดกัน แรงที่เกิดขึ้นจะเป็นแรงอ่อนๆ ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของ ตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับต่างเป็น โมเลกุลที่ไม่มีขั้วทั้งคู่

ค. เกิดจากโมเลกุลมีขั้วเข้ามาใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว แล้วเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิด ประจุตรงกันข้ามแล้วเกิดการดึงดูดกัน ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเป็น โมเลกุลมีขั้วและ โมเลกุลของตัวดูดซับเป็น โมเลกุลไม่มีขั้ว



รูปที่ 2.1 การดูดซับในลักษณะต่างๆ ด้วยแรงทางกายภาพ [22]

2. การดูดซับทางเคมี มีพันธะทางเคมีเป็นแรงในการดูดซับ แรงที่เกิดขึ้นมากกว่าแรงในการดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมีขึ้นอยู่กับธรรมชาติของตัวถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่สามารถทำการดูดซับได้ (Surface site) โดยการดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ

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

ข. การดูดซับทางเคมีที่ไม่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น (Nonactivated chemisorption) การดูดซับลักษณะนี้อัตราเร็วในการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ค่าพลังงานการกระตุ้นต่ำ

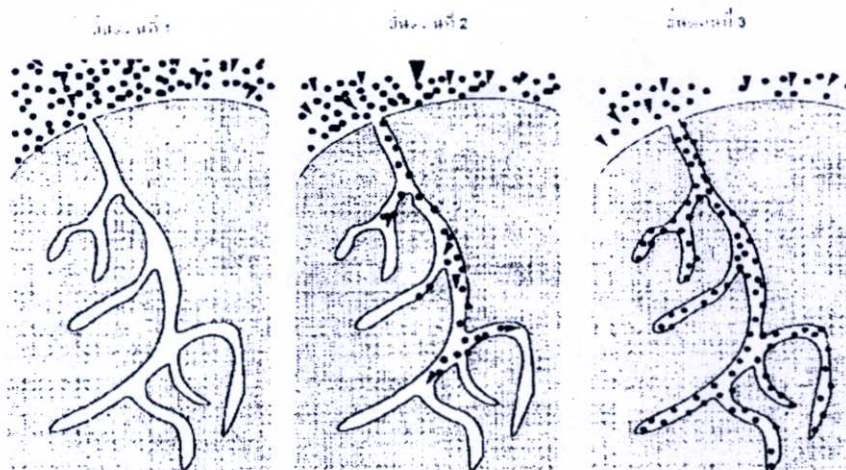
โดยทั่วไปแล้วการเกิดการดูดซับทางเคมีในช่วงเริ่มต้น มักจะเป็นการดูดซับที่ไม่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น หลังจากนั้นกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นในอัตราที่ช้าลงและมักจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

2.4.2 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับเกิดขึ้น 3 ระยะดังแสดงในรูปที่ 2.2

1. โมเลกุลของตัวดูดซับจะไปเกาะที่ผิวรอบนอก
2. โมเลกุลของตัวดูดซับจะถูกดูดซับและแพร่เข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ
3. เกิดการดูดซับในรูพรุนระหว่างตัวดูดซับและพื้นที่ผิวเกิดทั้งแรงทางกายภาพและ

ทางเคมี



รูปที่ 2.2 กลไกการดูดซับ [22]

2.4.3 ตัวดูดซับ [19]

ตัวดูดซับสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

1. ตัวดูดซับแบบไม่มีขั้ว (Non – polar adsorbent) จะเกิดการดูดซับแบบกายภาพ ตัวดูดซับที่สำคัญของกลุ่มนี้ คือ คาร์บอนกัมมันต์
2. ตัวดูดซับแบบมีขั้ว (Polar adsorbent) การดูดซับที่เกิดขึ้นกับสารประเภทนี้เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลก๊าซและผิวของตัวดูดซับ ได้แก่ พวกรอกโซลด์ เช่น ออกไซด์ของซิลิกา และออกไซด์ของโลหะ วัสดุจำพวกซิลิกา ได้แก่ ซิลิกาเจล ฟูลเลอร์เอิร์ธ (Fuller's earth)
3. ตัวดูดซับประเภทที่อาศัยปฏิกิริยาเคมี ตัวดูดซับนี้จะมีผิวหน้าที่สามารถดูดซับทางเคมีได้ โดยทั่วไปตัวดูดซับที่ใช้ ได้แก่ โคลโลไมต์ ตัวดูดซับ อัลคาไลน์อะลูมินา ซิลิกาเจลกัมมันต์ และแมงกานีสออกไซด์กัมมันต์

2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ [18,21]

1. สมบัติของตัวดูดซับ

ก. พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน (Surface area and pore structure)

ความสามารถในการดูดซับมากขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวมากขึ้น และโครงสร้างของรูพรุนมีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับมากขึ้น

ข. ขนาดของตัวดูดซับ (Adsorption size)

ตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุนพื้นที่ผิวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อขนาดลดลง ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้ารูพรุนมีจำนวนมากการดูดซับจะขึ้นกับรูพรุนมากกว่าขนาด

2. สมบัติของตัวดูดซับ

ก. ความสามารถในการละลาย

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวดูดซับจะถูกดึงออกจากน้ำไปเกาะบนผิวของ ตัวดูดซับ ดังนั้นสารที่ละลายน้ำได้ (หรือแตกตัวเป็นไอออนได้) ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นจึงถูกดูดซับได้ยาก และสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อย จะสามารถเกาะติดกับผิวของตัวดูดซับได้ดี

ข. น้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุล

เมื่อน้ำหนักของ โมเลกุลและขนาดของ โมเลกุลของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลส่งผลให้ความสามารถในการละลายลดลง

ค. ความมีขั้วของโมเลกุล

ความมีขั้วของ โมเลกุล ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อสภาพมีขั้ว (Polarity) เพิ่มขึ้นเพราะการเพิ่มสภาพมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มมากขึ้น

3. อุณหภูมิ

ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากการดูดซับส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

4. เวลา

เวลาเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ สำหรับการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดจะต้องนานเพียงพอที่จะทำให้ตัวดูดซับทำงานได้ดีและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติการก่อนนำไปใช้จริง

2.5 สมดุลของการดูดซับ (Adsorption Isotherm) [19-21]

สมดุลของการดูดซับเป็นความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในวัฏภาคของของไหลและความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในอนุภาคของตัวดูดซับ ณ อุณหภูมิหนึ่ง สำหรับก๊าซความเข้มข้นในวัฏภาคของของไหลจะแสดงในรูปร้อยละ โดยมวลหรือความดันย่อย สำหรับของเหลวความเข้มข้นจะแสดงในรูปหน่วยมวล เช่น มิลลิกรัมต่อลิตรหรือไมโครกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนของแข็งมักแสดงในรูปมวลที่ถูกดูดซับไว้ต่อหน่วยมวลของตัวดูดซับ [19]

การศึกษาสมดุลและจลนศาสตร์ของการดูดซับ (Adsorption) และการคายซับ (Desorption) เป็นสิ่งที่ช่วยให้เข้าใจกระบวนการแยกได้ดียิ่งขึ้น และสามารถแยกสารได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกนำมาอธิบายสมดุลในการดูดซับในงานวิจัยต่าง ๆ

การทดลองหาไอโซเทิร์มการดูดซับนั้น มีประโยชน์สำหรับการหาค่าความจุของการดูดซับเพื่อความสะดวกในการประเมินค่าการดำเนินงานของกระบวนการสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม และการกำหนดปริมาณตัวดูดซับที่ต้องการในเบื้องต้น นอกจากนี้ ไอโซเทิร์มการดูดซับยังมีบทบาทในการทำนายกระบวนการจำลองสำหรับวิเคราะห์และออกแบบระบบดูดซับ และไอโซเทิร์มการดูดซับยังใช้สำหรับการประเมินทางทฤษฎีและการอธิบายปัจจัยทางเทอร์โมไดนามิกส์ เช่น ค่าความร้อนของการดูดซับ ซึ่งแบบจำลองสมมูลต่าง ๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการอธิบายไอโซเทิร์มการดูดซับ

ไอโซเทิร์มของการดูดซับทางกายภาพมีความหลากหลาย ขึ้นกับชนิดของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ในปี ค.ศ. 1945 Brunauer ได้จำแนกชนิดของไอโซเทิร์มออกเป็น 6 ชนิด ดังแสดงในรูป 2.3 ซึ่งมีชื่อที่เรียกกันไปตามระบบ IUPAC [22]

ชนิดที่ 1 เรียกว่าไอโซเทิร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) สำหรับการดูดซับที่ถือว่าเป็นชั้นเดียว ตามสมการของแลงเมียร์ (Langmuir Equation) ที่มีพื้นที่ผิวของการดูดซับมีความเป็นเนื้อเดียวกัน และไม่มีการเกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวถูกดูดซับ ไอโซเทอมแบบนี้มักจะพบในวัสดุที่มีความพรุนแต่ผิวหน้ามีพื้นที่ภายนอกต่ำ เช่น ซีโอไลต์ หรือ ถ่านกัมมันต์บางชนิด ทำให้การดูดซับเกิดขึ้นเร็วในตอนต้น และเกิดการอิ่มตัวอย่างรวดเร็วทำให้ค่าการดูดซับคงที่ กรณีเช่นนี้ปริมาณของรูพรุนจะมีค่ามากกว่าปริมาตรที่ทำให้เกิดการดูดซับชั้นเดียวมาก การดูดซับแบบนี้จะพบในการดูดซับที่ย้อนกลับได้

ชนิดที่ 2 บางครั้งจะเรียกว่า Sigmoid หรือไอโซเทิร์มรูปตัวเอส (S-Shaped Isotherm) มักจะเกิดกับวัสดุที่ไม่มีความพรุน หรือมีรูพรุนขนาดใหญ่หรือมาโครพอร์ส (Macroporous) ตำแหน่ง B เป็นตำแหน่งที่ผิวหน้าถูกคลุมแบบชั้นเดียวแล้ว หลังจากนั้นจึงเริ่มการดูดซับแบบหลายชั้น ดังนั้น ปริมาณการดูดซับที่จุด B จะสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาพื้นที่ผิวได้ การดูดซับแบบนี้ย้อนกลับได้

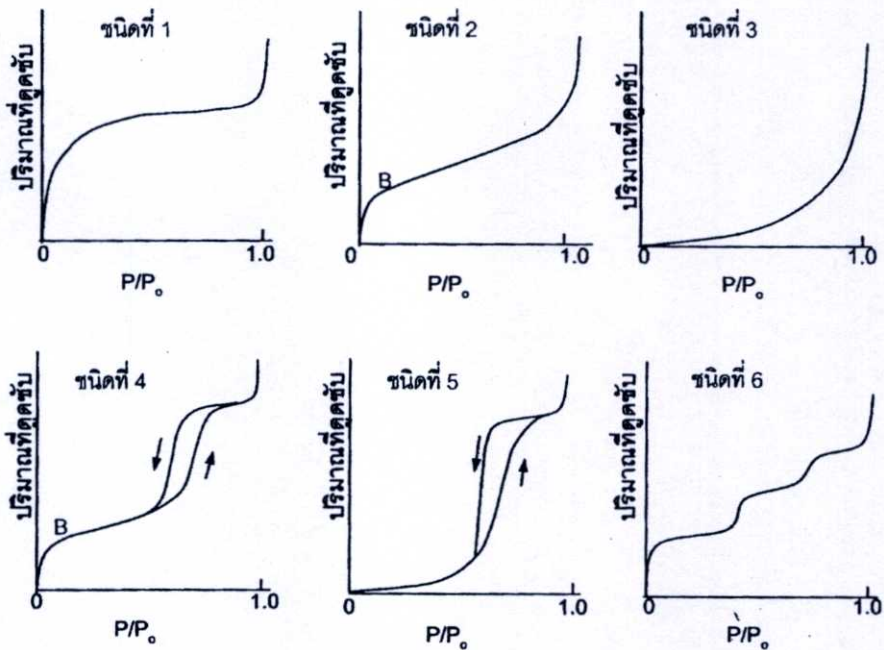
ชนิดที่ 3 มีรูปร่างเหมือนกระจกแก้ว ไอโซเทิร์มแบบนี้ไม่ค่อยพบบ่อย จะเกิดกับการดูดซับที่อ่อน เกิดเนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับมีค่าต่ำ เช่น การดูดซับของสารที่มีขั้วบนวัสดุที่ไม่มีขั้ว หลังจากผิวหน้าถูกคลุมหมดแล้ว การดูดซับจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว แสดงถึงแรงดูดซับระหว่างตัวถูกดูดซับกันเองมีสูง ตัวอย่างการดูดซับแบบนี้ได้แก่การดูดซับของไอน้ำบนแกรไฟต์

ชนิดที่ 4 มักจะพบในวัสดุที่มีรูพรุนแบบมีโซพอร์ส (Mesopore) คือมีขนาดของรูพรุนขนาดเล็กระหว่าง 2 ถึง 500 นาโนเมตร การดูดซับในช่วงแรกซึ่งมีค่า P/P_0 ต่ำจะเหมือนกับไอโซเทิร์มชนิดที่ 2 แต่หลังจากนั้นค่าการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อค่า P/P_0 มาก ซึ่งเกิดจากการควบแน่นในรูขนาดเล็กแบบคาปิลารี ซึ่งทำให้เกิดฮิสเทอรีซิส ซึ่งเกิดจากเส้นกราฟของการดูดซับและเส้นกราฟของการคายซับไม่ทับกัน เพราะการคายซับเกิดได้ยากกว่าเพราะต้องเอาชนะแรงคาป

ลารี ขนาดของการควบแน่นในรูขนาดเล็กสามารถนำมาคำนวณหาการกระจายของขนาดของรูพรุน (Pore-size distribution) ได้

ชนิดที่ 5 เหมือนกับชนิดที่ 4 ต่างกันเพียงการควบแน่นในรูพรุนในกรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อค่า P/P_0 สูงกว่า เนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับมีค่าต่ำ ส่วนฮิสเทอรีซิสจากการดูดซับและการคายซับ ก็เกิดจากการเอาชนะแรงคาปิลารีในการดึงตัวถูกดูดซับออกมา ไอโซเทิร์มชนิดนี้พบไม่บ่อยนัก

ชนิดที่ 6 เรียกว่าเป็นไอโซเทิร์มแบบขั้นบันได (Stepped isotherm) ซึ่งพบได้ไม่บ่อยนัก เกิดจากการดูดซับที่ละชั้นบนผิวหน้าที่มีหลายชั้นและความเป็นระเบียบสูง ความชันของเส้นกราฟ จะขึ้นกับอุณหภูมิ



รูปที่ 2.3 ไอโซเทิร์มทั้ง 6 ชนิด ตามการจำแนกของ IUPAC [22]

แบบจำลองสมดุลการดูดซับ

สมการไอโซเทิร์ม 2 สมการที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการดูดซับ คือ Langmuir และ Freundlich ไอโซเทิร์ม

แบบจำลองของ Langmuir

ใช้สำหรับการดูดซับทางเคมีบนผิวหน้าอุดมคติ เป็นไอโซเทิร์มที่ง่ายที่สุดซึ่งใช้กันมาก สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว โดยหลักการการเกิดการดูดซับมาจากสมมติฐานต่อไปนี้

- การดูดซับเป็นการดูดซับทางเคมีซึ่งแข็งแรงและเป็นแบบชั้นเดียว
- สารหนึ่งตัวจะดูดซับบนหนึ่งตำแหน่งเท่านั้น
- เอนทัลปีของการดูดซับ (ΔH_s) ไม่ขึ้นกับ θ ซึ่งหมายความว่าแต่ละตำแหน่งมีพลังงานเท่าๆกัน และไม่มีอันตรกิริยาระหว่างตำแหน่ง และ/หรือระหว่างตัวถูกดูดซับด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็
แรงผลึกหรือแรงดึงดูด
- มีสมมูลเกิดขึ้นระหว่างการดูดซับและการคาย นั่นคืออัตราเร็วของการดูดซับเท่ากับ
อัตราเร็วของการคายจากผิวหน้า

แบบจำลองนี้เริ่มต้นได้ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการดูดซับของก๊าซบนผิวภาคของแข็ง ความสัมพันธ์จะได้มาจากการพิจารณาจลนพลศาสตร์ของการควบแน่น และการระเหยของโมเลกุลของแก๊สที่ผิวของของแข็ง ถ้า θ คือเศษส่วนของพื้นที่ผิวดูดซับที่ถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับแบบชั้นเดียว ดังนั้นอัตราของการระเหยจากพื้นผิวคือ θ ซึ่งคล้ายกัน อัตราของการควบแน่นของโมเลกุลของแก๊สบนพื้นผิวเป็นอัตราส่วนของบริเวณที่ว่างที่เหลืออยู่ หรือ $(1-\theta)$ และความดันสัมบูรณ์ของแก๊ส P ซึ่งหาได้จากอัตราที่โมเลกุลสัมผัสกับผิว สมการอัตราการระเหย 2 อัตราที่สถานะสมดุลแสดงดังสมการที่ 2.1

$$k_d\theta = k_aP(1-\theta) \quad (2.1)$$

เมื่อ k_d และ k_a คือ ค่าคงที่ของการระเหยและการควบแน่นตามลำดับ และ θ คือสัดส่วนของพื้นที่ผิวที่ถูกปกคลุม

$$\theta = \frac{k_aP}{k_d + k_aP} = \frac{bP}{1 + bP} \quad (2.2)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ $b = k_a/k_d$ ซึ่งสัมพันธ์กับเอนทัลปีของการดูดซับ (ΔH) โดย

$$b = b_0e^{-\Delta H/RT} \quad (2.3)$$

ในที่นี้ b_0 คือ ค่าคงที่อัตราของเอนโทรปี จากสมการที่ 2.3 สำหรับระบบที่เป็นของแข็ง-ของเหลว สามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ 2.4

$$q_c = \frac{Q^0 b C_c}{1 + b C_c} \quad (2.4)$$

เมื่อ q_c คือ ปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับ Q^0 คือ ความเข้มข้นที่เกิดจากการปกคลุมอย่างสมบูรณ์บนบริเวณที่สามารถเกิดการดูดซับสารได้บนผิวภาคของแข็งหรือขอบเขตจำกัดความจุการดูดซับ และ C_c คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในวัฏภาค

ของเหลวที่สภาวะสมดุล สมการที่ 4 สามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงได้หลากหลายดังสมการที่ 2.5, 2.6 และ 2.7

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{Q^0 b} + \frac{C_e}{Q^0} \quad (2.5)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q^0} + \frac{1}{bQ^0 C_e} \quad (2.6)$$

$$q_e = Q^0 - \frac{q_e}{bC_e} \quad (2.7)$$

แบบจำลองของ Freundlich

สามารถใช้กับการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี มักอธิบายการดูดซับของสารประเภทอินทรีย์และอนินทรีย์บนตัวดูดซับหลายประเภท เช่น ถ่านกัมมันต์และเรซินสังเคราะห์ เป็นต้น โดยหลักการการเกิดการดูดซับมาจากสมมติฐานต่อไปนี้

- การดูดซับเป็นการดูดซับแบบหลายชั้น
- โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแต่ละ โมเลกุลที่ตำแหน่งต่างๆบนพื้นผิวตัวดูดซับไม่มีอันตรกิริยาต่อกัน

ข้อมูลสมดุลของการดูดซับนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.8

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2.8)$$

เมื่อ K_F คือ ค่าคงที่สมดุลของแบบจำลองของ Freundlich และ $1/n$ คือ ค่าคงที่ไร้หน่วย สมการที่ (8) สามารถเขียนในรูปแบบสมการเส้นตรงได้ดังสมการที่ 2.9

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (2.9)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yates และคณะ [23] ศึกษาลักษณะการดูดซับกรดโอเลอิกในเฮกเซนบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตและซิลิกา ด้วยการวิเคราะห์พันธะที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับ โดยการวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (FT-IR) พบว่าโครงสร้างของแมกนีเซียมซิลิเกตและซิลิกามีความคล้ายกัน โดยการสั่นของแบนด์ไซโลเซน (Siloxane Band, Si-O-Si) บนแมกนีเซียมซิลิเกตมีความกว้างมากกว่าการสั่นของแบนด์ไซโลเซนบนซิลิกา ซึ่งเป็นผลจากแมกนีเซียมในโครงสร้างของแมกนีเซียมซิลิเกตส่งผลให้โครงสร้างมีความซับซ้อนมากกว่า จากการดูดซับกรดโอเลอิกในเฮกเซนบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตและซิลิกา พบว่าเกิดการดูดซับทางกายภาพบนตัวดูดซับทั้งสองชนิด และพบเกิดการดูดซับทางเคมีเฉพาะบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกต การดูดซับทางเคมีของกรดโอเลอิกบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตเกิดจากหมู่คาร์บอกซิเลต (RCOO⁻) ของกรดโอเลอิกเกิดการดูดซับด้วยพันธะไฮออนิกกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่อยู่บนพื้นผิวของแมกนีเซียมซิลิเกต

Yurdakoc และคณะ [24] ศึกษาความเป็นกรดตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา-อะลูมินา (Siral) ด้วยวิธีการไทเทรตด้วยเอมีน โดยใช้อินดิเคเตอร์ของแสมเมตต์ [25] และศึกษาการดูดซับไพรีดีนโดยการวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด จากการไทเทรตด้วยเอมีน โดยใช้อินดิเคเตอร์ของแสมเมตต์ พบว่าความแรงของความเป็นกรดของซิลิกา-อะลูมินาอยู่ในช่วงฟังก์ชันสภาพความเป็นกรดของแสมเมตต์ (H_0) 2.8-1.1 และที่ Siral 5, 20, 30, และ 40 ซึ่งมีพื้นที่ผิวใกล้เคียงกัน พบว่าปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซิลิกาของซิลิกา-อะลูมินาเพิ่มขึ้น จากการศึกษาการดูดซับไพรีดีนของซิลิกา-อะลูมินาโดยการวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด พบว่าปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดของซิลิกา-อะลูมินาส่วนใหญ่เป็น Lewis Acid

Kapur [26] ศึกษาเฟสของซิลิกาที่เตรียมจากแคลบซึ่งไม่ผ่านการล้างด้วยกรดก่อนเผาที่อุณหภูมิต่างๆ จากผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบว่าถ้าแคลบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 600 องศาเซลเซียส โครงสร้างของซิลิกาที่ได้จะอยู่ในรูปอสัณฐาน แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส ขึ้นไป จะพบเฟสซิลิกาในรูป cristobalite และจะเปลี่ยนเป็นเฟส tridymite ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าซิลิกาสามารถเปลี่ยนเฟสเป็นผลึกโดยสมบูรณ์ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 1200 องศาเซลเซียส ขึ้นไป

Kalapathy และ คณะ [27] ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง pH และชนิดของสารละลายกรดและเบสที่เข้าทำปฏิกิริยากับแคลบก่อนเผากับปริมาณซิลิกาที่ได้ โดยค่า pH ของสารละลายกรดและเบสอยู่ในช่วง 3.0 ถึง 7.0 และ 7.0 ถึง 11.8 ตามลำดับ พบว่าสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ pH เท่ากับ 4 ทำให้เกิดปริมาณซิลิกามากสุด

Krishnarao และคณะ [2] ศึกษาผลของแกลบที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยกรดก่อนการเผา กับ ปริมาณคาร์บอนที่ตกค้างในขี้เถ้าแกลบ ซึ่งแกลบที่ไม่ผ่านการล้างด้วยกรดก่อนพบว่าปริมาณของ คาร์บอนที่ตกค้างจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้เผา แต่เมื่อนำแกลบมาผ่านกระบวนการล้างด้วยกรด ไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสขึ้นไป พบว่าไม่มีคาร์บอน เหลือในขี้เถ้าแกลบ ซึ่งการล้างแกลบด้วยกรดไฮโดรคลอริกจะทำให้สารประกอบออกไซด์ในแกลบ ได้แก่ MgO, Al₂O₃, P₂O₅, SO₃, K₂O, CaO และ Fe₂O₃ เปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารละลายของ สารประกอบคลอไรด์ นอกจากนี้กรดยังทำให้คาร์บอนในแกลบอยู่ในรูปคาร์บอนที่ว่องไวต่อ ปฏิริยาเคมี (Activated carbon) และเมื่อได้รับความร้อนในช่วง 350-450 องศาเซลเซียส จะ สลายตัวเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

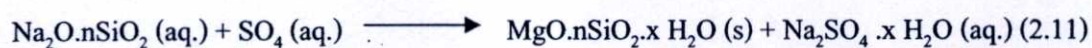
Chakraverty และคณะ [28] ศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดที่ทำปฏิริยากับขี้เถ้าแกลบก่อน การเผาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา พบว่าซิลิกาที่เตรียมได้อยู่ในรูปของอสัณฐานและสีของตัวอย่าง ที่เตรียมได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้เผา ซึ่งสีของขี้เถ้าแกลบเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีขาว ในการทดลองนี้ ใช้อุณหภูมิในการเผาที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง

Kamath และ Proctor [29] ได้พัฒนากระบวนการใหม่ในการเปลี่ยนการเปลี่ยนซิลิกาในเถ้า แกลบให้อยู่ในรูปของสารละลายโซเดียมซิลิเกต โดยอาศัยปฏิริยาไฮโดรเทอร์มัล เพื่อใช้เป็นสาร ตั้งต้นในการเตรียมซิลิกาเจล ซึ่งกระบวนการนี้เถ้าแกลบถูกต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบให้อยู่ในรูปสารละลาย ซึ่งคือสารละลายโซเดียมซิลิเกต โดยปฏิริยาที่ เกิดขึ้นแสดงดังสมการที่ 2.10



อโณรัตน์ ภูตระกูล [4] ศึกษาการเตรียมสารละลายโซเดียมซิลิเกตจากเถ้าแกลบ โดย สารละลายโซเดียมซิลิเกตจะได้อาจจากการนำเถ้าแกลบไปทำปฏิริยาไฮโดรเทอร์มัล ที่อุณหภูมิ 130 และ 150 องศาเซลเซียส ที่ความดันไอน้ำ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวลต่อปริมาตร เมื่อ เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การละลายระหว่างซิลิกาจากเถ้าแกลบและซิลิกาจากทราย พบว่าที่สภาวะ เดียวกันเปอร์เซ็นต์การละลายของซิลิกาจากเถ้าแกลบมีปริมาณสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การละลายของ ซิลิกาจากทราย

Ozgul-Yucel และคณะ [6] ศึกษาความสามารถในการดูดซับกรดโอเลอิกในเฮกเซนของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบเปรียบเทียบกับแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า (Florisil) ซึ่งแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายโซเดียมซิลิเกตที่ได้จากเถ้าแกลบกับสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตตามสัดส่วนโดยมวล โดยปฏิกิริยาระหว่างสารละลายทั้งสองเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิห้องดังสมการที่ 2.11 แมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบและแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้ามีสัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 3.24 และ 3.61 ตามลำดับ และมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 245 ตารางเมตรต่อกรัม และ 181 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ พบว่าแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบสามารถดูดซับกรดโอเลอิกได้ถึง 100 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ ขณะที่แมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้าดูดซับได้ 87 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ โดยคาดว่าความแตกต่างของความสามารถในการดูดซับกรดโอเลอิกบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบและแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้าเกิดจากความแตกต่างของความสามารถในการดูดซับทางเคมีของแมกนีเซียมซิลิเกตทั้งสองชนิด ซึ่งเกิดจากปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ในแมกนีเซียมซิลิเกต และพื้นที่ผิวของของแมกนีเซียมซิลิเกตทั้งสองชนิด ซึ่งแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบมีปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ในแมกนีเซียมซิลิเกตและมีพื้นที่ผิวมากกว่าแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับกรดโอเลอิกของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากเถ้าแกลบสูงกว่าแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า



บทที่ 3

อุปกรณ์และการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. สังเคราะห์แมกนีเซียมซัลไฟด์จากถ้ำเกลือ
2. วิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของแมกนีเซียมซัลไฟด์
3. ทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากเกลือกับแมกนีเซียมซัลไฟด์ทางการค้า
4. ศึกษาผลของอัตราส่วน โดยโมลระหว่างซัลไฟด์ต่อแมกนีเซียมออกไซด์บนตัวดูดซับแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากเกลือต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ
5. ศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากเกลือต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ และเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ
6. ศึกษาไอโซเทอมการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากเกลือ

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. บีกเกอร์ 500 มิลลิลิตร และ 1 ลิตร
2. ขวดวัดปริมาตร 250 มิลลิลิตร
3. กระจกบอทวง 100 มิลลิลิตร
4. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
5. ปิเปต 25 มิลลิลิตร
6. เคซิเคเตอร์
7. กรูซิบิลขนาด 50 มิลลิลิตร
8. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
9. กรวยแก้ว
10. กระดาษกรอง
11. ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ
12. บีมสุญญากาศ GAST รุ่น DOA-P504-BN
13. ตู้อบ MEMMERT
14. เตาเผา Barnstead International รุ่น FB1400

15. เครื่องเหวี่ยงแยก
16. เครื่องเขย่า JANKE & KUNKEL รุ่น HS500
17. เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็กและให้ความร้อน IKA รุ่น C-MAG HS7
18. เครื่องชั่ง Mettler Toledo รุ่น AX 205 ที่มีความแม่นยำ ± 0.0001 กรัม

3.3 สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ จากบริษัท Labscan Asia Co.,Ltd.,
2. แมกนีเซียมไนเตรด จากบริษัท Labscan Asia Co.,Ltd.,
3. แมกนีเซียมซัลเฟต จากบริษัท Labscan Asia Co.,Ltd.,
4. กรดไฮโดรคลอริก จากบริษัท Labscan Asia Co.,Ltd.,
5. บิวทิลเอมีน จากบริษัท Labscan Asia Co.,Ltd.,
6. เบนซีน จากบริษัท Labscan Asia Co.,Ltd.,
7. แมกนีเซียมซัลเฟตทางการค้า (Magnesol D60) จาก Dallas Group America

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การสังเคราะห์แมกนีเซียมซัลเฟตจากแกลบ

1. นำแกลบไปล้างเพื่อกำจัดเศษกรวด หิน ดินทราย แล้วอบให้แห้ง
2. นำแกลบจากข้อ 1 มาจำนวน 100 กรัม มาต้มกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
3. นำแกลบในข้อ 2 มาล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งมีค่า pH ประมาณ 7 แล้วนำไปอบแห้ง
4. นำแกลบในข้อ 3 มาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. นำแกลบที่ได้มาบด
6. ชั่งน้ำหนักถ้ำแกลบและโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 4.4 กรัมและ 1.6 กรัม ตามลำดับ
7. นำโซเดียมไฮดรอกไซด์มาเติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร
8. ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับถ้ำแกลบ แล้วเติมน้ำให้มีปริมาตรรวมเท่ากับ 100 มิลลิลิตร
9. นำสารละลายไปปั่นกวนและโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 130 องศาเซลเซียส จนน้ำระเหยทำให้ปริมาตรสารละลายลดลงเหลือ 50 มิลลิลิตร
10. กรองถ้ำแกลบที่เหลือในสารละลายโซเดียมซัลเฟต
11. ปิเปตสารละลายโซเดียมซัลเฟตที่ได้จากแกลบจำนวน 50 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ และทำการกวนอย่างคงที่โดยใช้เครื่องกวนสารด้วยแม่เหล็กที่อุณหภูมิห้อง

12. นำสารละลายแมกนีเซียมไนเตรดเข้มข้น 0.5, 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ จำนวน 70 มิลลิลิตร มาใส่ในบิวเรต เพื่อนำมาผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์โดยทำการหยดอย่างช้า ๆ และคงที่

13. กวนผสมอย่างคงที่เป็นเวลา 4 – 5 นาที และทำการแกว่งแยกเพื่อแยกตะกอนโดยเครื่องเหวี่ยงแยก ที่ความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

14. ใช้น้ำกลั่นล้างตะกอนที่ได้จำนวน 4 ครั้ง

15. นำน้ำล้างตะกอนมารอง โดยใช้ปั๊มสุญญากาศ

16. นำตะกอนทั้งหมดที่ได้มาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

17. บดตะกอนที่ได้ให้ละเอียด และนำเผาที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที

18. เก็บแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์ได้มาเก็บในเดซิเคเตอร์

19. เตรียมแมกนีเซียมซัลไฟด์อีกชุดหนึ่ง โดยเปลี่ยนจากสารละลายแมกนีเซียมไนเตรดเป็นสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเพื่อศึกษาผลของแหล่งแมกนีเซียม

3.4.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของแมกนีเซียมซัลไฟด์

1. การตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence หรือ XRF)

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง โดยใช้การวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง

2. การตรวจดูความเป็นผลึกของตัวดูดซับโดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction หรือ XRD)

การวิเคราะห์ลักษณะผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ความละเอียดสแกนที่ 2θ และลำดับชั้นการสแกนอยู่ระหว่าง 5 – 40 องศา

3. การหาโครงสร้างของสารโดยการวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrometry หรือ FT-IR)

การวิเคราะห์หาโครงสร้างของสารโดยการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด รังสีอินฟราเรดถูกดูดกลืนจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานการหมุนและการสั่นของโมเลกุล ซึ่งโมเลกุลของสารแต่ละชนิดจะให้สเปกตรัมที่เป็นเอกลักษณ์ของพันธะใน โมเลกุลนั้นๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพิสูจน์หาโครงสร้างของสาร การวิเคราะห์ทำในช่วงเลขคลื่น (wavenumbers) 450 ถึง 1650 cm^{-1}

4. วิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรของรูพรุนแบบมีโซพอร์ส (Mesopore) บนตัวดูดซับด้วยวิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET)

ทำการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรของรูพรุนแบบมีโซพอร์สด้วยวิธี BET โดยหาพื้นที่ผิวจาก Multipoint BET Surface Area และหาปริมาตรของรูพรุนแบบมีโซพอร์สจากสมการบีเจเอช (BJH)

5. การตรวจวัดปริมาณตำแหน่งความเป็นกรด (Acid site) บนตัวดูดซับ

การตรวจวัดปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับ ใช้วิธีการไทเทรตด้วยเอมีน โดยใช้อินดิเคเตอร์ของแฮมเมตต์ [24,25] ปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดที่ได้จากการไทเทรตตัวดูดซับด้วยเอมีนเป็นผลรวมระหว่างปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดของ Brønsted acid และ Lewis acid เนื่องจากงานวิจัยนี้เปรียบเทียบเฉพาะผลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วน โดยโมลระหว่างซิลิกาและแมกนีเซียมออกไซด์ในตัวดูดซับต่อปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับ จึงเลือกอินดิเคเตอร์มาเพียงชนิดเดียวเท่านั้นคือเมธิลเรด ซึ่งมีค่า pKa เท่ากับ 4.8 โดยขั้นตอนในการหาปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับมีดังนี้

ก. นำสารตัวดูดซับ 0.2 กรัม เติมลงในขวดรูปชมพู่ เติมเบนซีน 9 มิลลิลิตร และ 0.1% เมธิลเรดในเบนซีน 3 หยด

ข. เติมสารละลาย 0.01 โมลาร์ บิวทิลเอมีนในเบนซีน ลงในขวดปริมาณขวดรูปชมพู่ โดยปริมาณที่เติมต้องน้อยกว่าปริมาณที่คาดว่าจะใช้ในการไทเทรตทั้งหมด ปิดปากของขวดรูปชมพู่และนำไปแช่ที่อุณหภูมิห้องนาน 6 ชั่วโมง หรือ 1 คืน

ค. นำมาไทเทรตต่อจนถึงจุดยุติ

ง. ปริมาณบิวทิลเอมีนที่ใช้ในการไทเทรตทั้งหมด คือ ปริมาณของตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับที่ฟังก์ชันสภาพความเป็นกรดของแฮมเมตต์ (H_0) ≤ 4.8 โดยปริมาณของตำแหน่งความเป็นกรดสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.1

$$\text{ปริมาณตำแหน่งความเป็นกรด} \left(\frac{\text{mmol}}{\text{g}} \right) = \frac{C_B \times V_B}{W_{abs}} \quad (3.1)$$

เมื่อ C_B คือ ความเข้มข้นของบิวทิลเอมีนที่ใช้ในการไทเทรต (โมลาร์) V_B คือ ปริมาณของบิวทิลเอมีนทั้งหมดที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร) และ W_{abs} คือ น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในไทเทรต (กรัม)

3.4.3 การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบกับแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า

1. นำน้ำมันปาล์มดิบจำนวน 50 กรัม เติมลงในขวดรูปชมพู่
2. เติมแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้าจำนวน 2 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ในข้อ 1
3. นำไปเขย่าที่ความเร็ว 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. แยกน้ำมันปาล์มดิบและแมกนีเซียมซิลิเกตออกจากกัน
5. นำน้ำมันปาล์มดิบมาวัดปริมาณกรดไขมันอิสระตามมาตรฐานของ AOCS. Official Method Cd 3a-63 [15] ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวกที่ ค นำปริมาณกรดไขมันอิสระที่ลดลงมาหาความสามารถในการดูดซับตามสมการที่ 3.2

$$\text{ความสามารถในการดูดซับ} \left(\frac{mg \text{ FFA}}{g \text{ adsorbent}} \right) = \frac{(\%FFA_0 - \%FFA_t) \times W_{oil} \times 1000}{W_{abs} \times 100} \quad (3.2)$$

เมื่อ %FFA₀ และ %FFA_t คือ ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบก่อนการดูดซับและหลังการดูดซับตามลำดับ W_{oil} คือ น้ำหนักของน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการทดลอง (กรัม) W_{abs} คือ น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)

6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนจากแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้าเป็นแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบซึ่งตกตะกอนด้วยสารละลายแมกนีเซียมไนเตรด

3.4.4 การศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์บนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ

ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.4.3 โดยเปลี่ยนชนิดของตัวดูดซับเป็นแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบซึ่งตกตะกอนด้วยสารละลายแมกนีเซียมไนเตรดและสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต และใช้ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม ต่อ น้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม

3.4.5 การศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ และเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ

เลือกแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบที่มีความสามารถในการดูดซับมากที่สุด มาทำการทดลองซ้ำข้อ 3.4.3 โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ 0.25, 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัม ต่อ น้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม และดูดซับเป็นเวลา 5, 9 และ 13 ชั่วโมง

3.4.6 ทำการศึกษาไอโซเทิร์มการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแกลบ

นำแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแกลบที่มีความสามารถในการดูดซับมากที่สุดไปดูดซับในน้ำมันปาล์มดิบที่เจือจางด้วยน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กำจัดไข เพื่อให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระประมาณ 1, 1.6 และ 2.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม และดูดซับเป็นเวลา 13 ชั่วโมง นำข้อมูลความสามารถการดูดซับและปริมาณกรดไขมันอิสระที่เวลาเข้าสู่สมการซึ่งได้จากผลการทดลองดังกล่าวและจากผลการทดลองของข้อ 3.4.5 ไปวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการเส้นตรงของแบบจำลอง Langmuir และ Freundlich เพื่อหาค่าคงที่ และค่า R^2 ด้วยวิธี Linear Regression

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการเตรียมตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกตจากแกลบ นำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบด้วยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (XRF) ตรวจสอบความเป็นผลึกด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) วิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรของรูพรุนแบบมีโซพอร์สบนตัวดูดซับด้วยวิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET) ศึกษาโครงสร้างของแมกนีเซียมซลิเกตโดยการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (FT-IR) และหาปริมาณตำแหน่งความเป็นกรด (Acid site) จากนั้นเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระของแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแกลบและแมกนีเซียมซลิเกตทางการค้าที่เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง ศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ ศึกษาผลของปริมาณแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแกลบต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ และเวลาเข้าสู่สมดุล และศึกษาไอโซเทอรั่มการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบบนแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแกลบ

4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของแมกนีเซียมซลิเกต

แมกนีเซียมซลิเกตสังเคราะห์จากการตกตะกอนระหว่างสารละลายโซเดียมซลิเกตซึ่งได้จากการสกัดซิลิกาจากแกลบ [5] กับสารละลายแมกนีเซียมไนเตรดหรือสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเข้มข้น 0.5, 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ แมกนีเซียมซลิเกตที่ได้จากการตกตะกอนมีลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด

4.1.1 การตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์

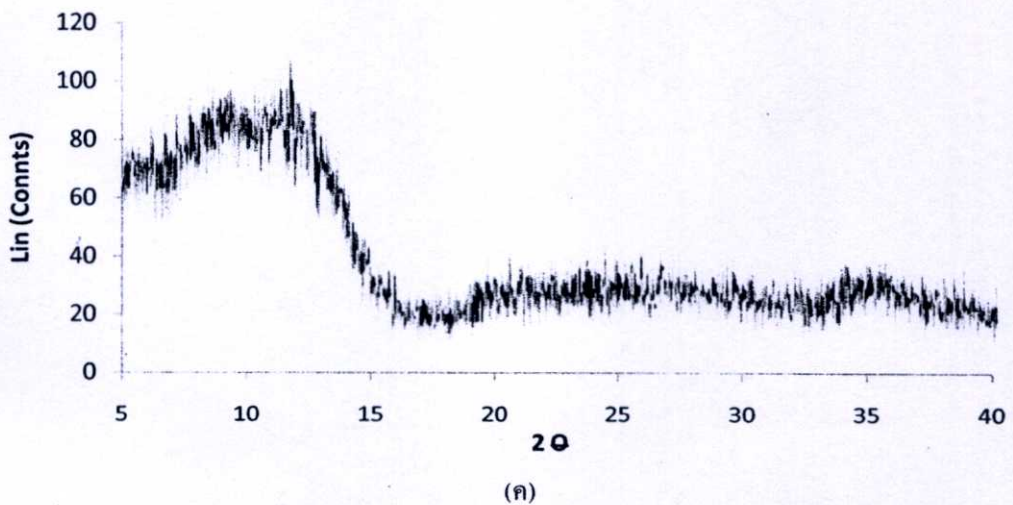
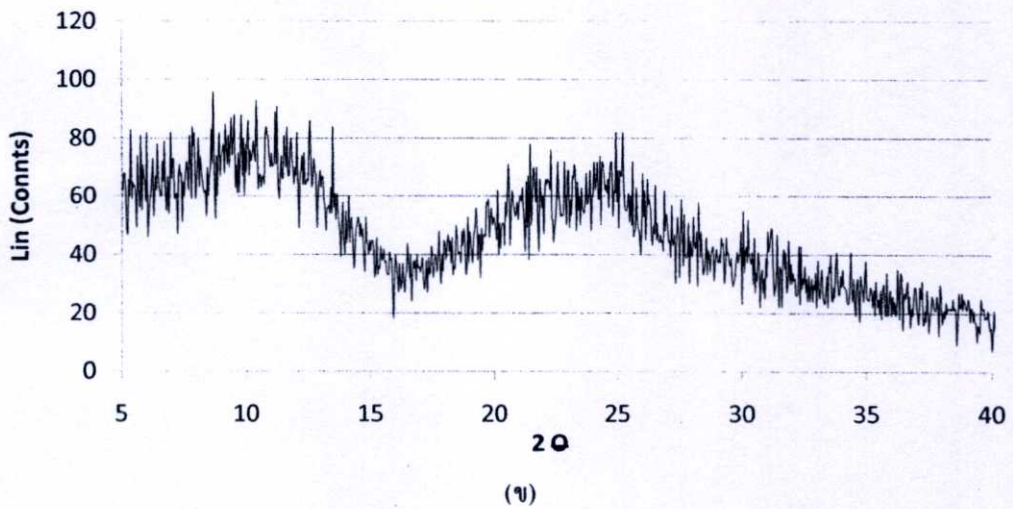
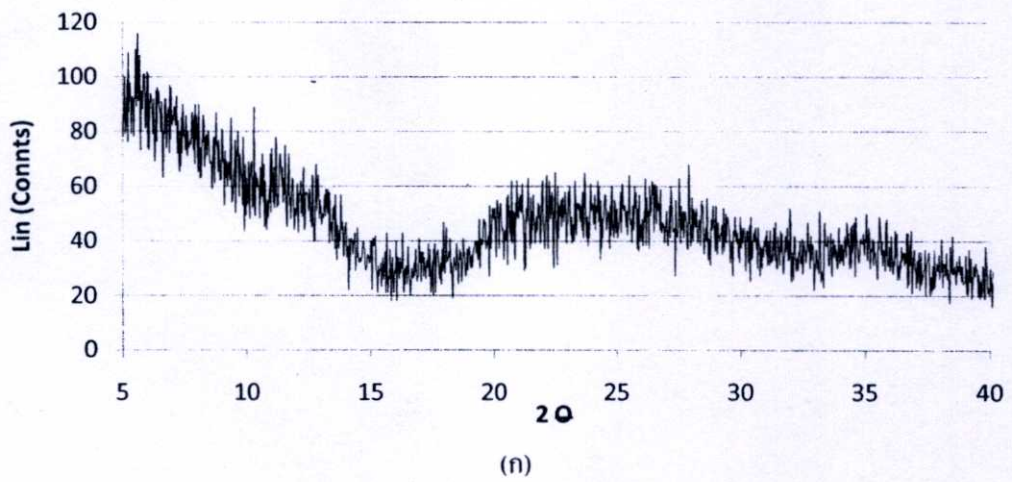
ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของแมกนีเซียมซลิเกตด้วยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายแมกนีเซียมไนเตรดและสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 0.5, 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ มีผลต่อองค์ประกอบของแมกนีเซียมซลิเกตที่เตรียมได้ โดยมีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ที่ได้จากการตกตะกอนโดยสารละลายแมกนีเซียมไนเตรด คือ 3.93, 3.75, 2.74, 2.40 และ 1.99 ตามลำดับ และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ที่ได้จากการตกตะกอนโดยสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต คือ 3.96, 3.61, 3.51, 2.91 และ 2.69 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบและแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า

สารละลายที่ใช้ในการตกตะกอน	ความเข้มข้น (โมลาร์)	เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบโดยน้ำหนัก			อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาและแมกนีเซียมออกไซด์
		SiO ₂	MgO	อื่นๆ	
แมกนีเซียมไนเตรด	0.5	83.2	14.1	2.7	3.93:1
	1	81.2	14.4	4.4	3.75:1
	2	76.4	18.6	5.0	2.73:1
	3	75.1	20.8	4.1	2.40:1
	4	71.6	23.9	4.5	1.99:1
แมกนีเซียมซัลเฟต	0.5	83.9	14.1	2.0	3.96:1
	1	81.8	15.1	3.1	3.61:1
	2	81.1	15.4	3.5	3.51:1
	3	78.6	18.0	3.4	2.91:1
	4	75.2	18.6	6.2	2.69:1
แมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า		67.9	28.4	3.7	1.59:1

4.1.2 การตรวจดูความเป็นผลึกของตัวดูดซับโดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

รูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบและแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า พบว่าแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบไม่ปรากฏพีค (Peak) ที่ชัดเจน แสดงว่าแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์มีลักษณะเหมือนกับแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากแคลบที่ตกตะกอน โดยสารละลาย (ก) แมกนีเซียมไนเตรด (ข) แมกนีเซียมซัลเฟต และ (ค) แมกนีเซียมซัลไฟด์ทางการค้า

4.1.3 การวิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรของรูพรุนแบบมีโซพอร์สบนตัวดูดซับ ด้วยวิธี BET

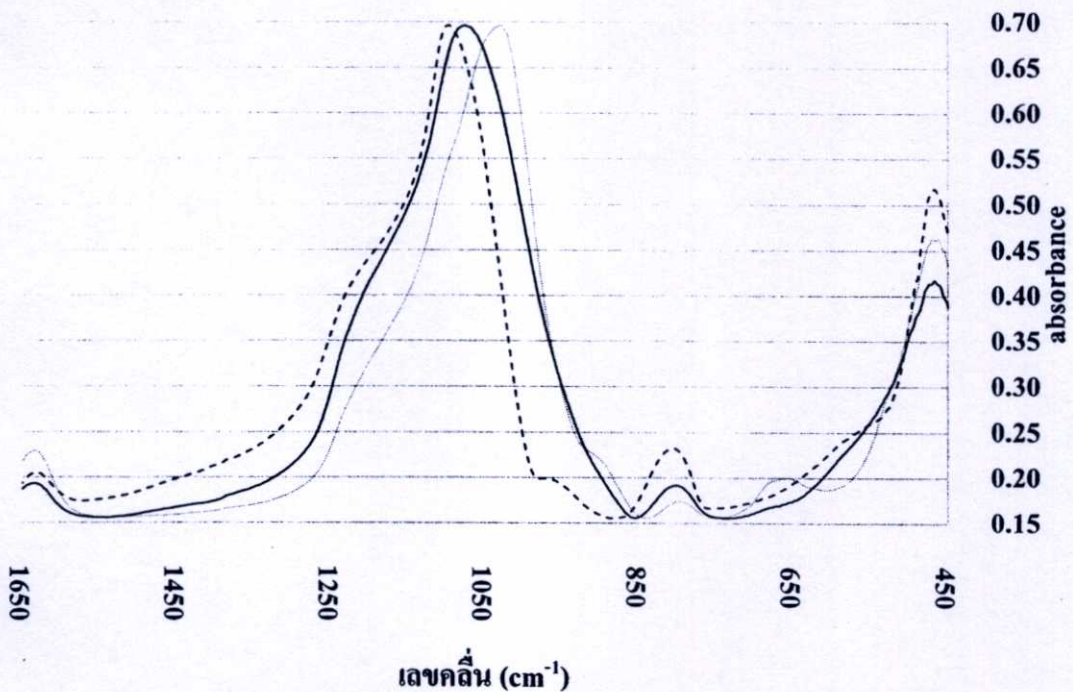
ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรของรูพรุนแบบมีโซพอร์สบนตัวดูดซับ แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบด้วยวิธี BET แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์มีพื้นที่ผิวในช่วง 230-360 ตารางเมตรต่อกรัม ขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนอยู่ในช่วง 55-86 Å° แสดงว่าแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์ได้มีรูพรุนแบบมีโซพอร์ส และแมกนีเซียมซลิเกตที่มีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซลิกาและแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 มีขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนใหญ่ที่สุดและปริมาตรของรูพรุนแบบมีโซพอร์สมากที่สุด คือมีขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเท่ากับ 85 Å° และมีปริมาตรของรูพรุนแบบมีโซพอร์สเท่ากับ 0.64 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

ตารางที่ 4.2 พื้นที่ผิวและขนาดรูพรุน โดยเฉลี่ยของแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ

อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง ซลิกาและแมกนีเซียมออกไซด์	พื้นที่ผิว (m ² /g)	ขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่าน ศูนย์กลางรูพรุน (Å°)	ปริมาตรของรูพรุน แบบมีโซพอร์ส (cm ³ /g)
3.93:1	356.7	57.74	0.53
3.75:1	230.6	79.93	0.41
2.73:1	278.9	63.76	0.39
2.40:1	270.8	76.79	0.47
1.99:1	301.7	85.35	0.64

4.1.4 การหาโครงสร้างของสารโดยการวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด

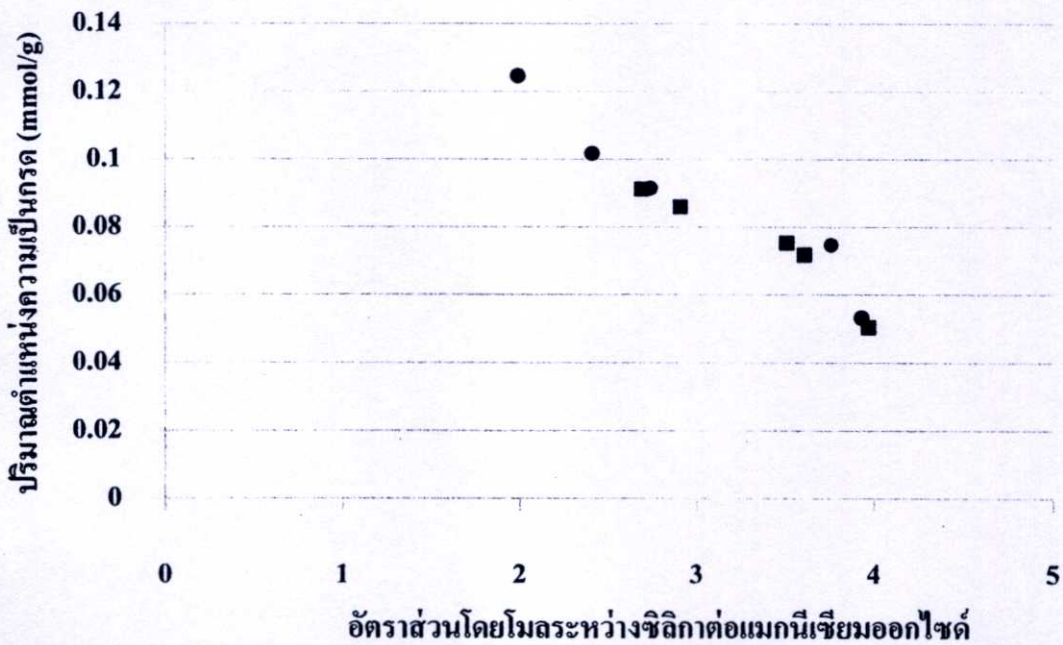
รูปที่ 4.2 ผลการดูดซับแสงอินฟราเรดในช่วงเลขคลื่น (wavenumbers) 450 ถึง 1650 cm^{-1} ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ แมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า และซิลิกาแสดงดังรูปที่ 4.2 พบการสั่นของแบนด์ไซโลเซน (Siloxane Band, Si-O-Si) ในแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ แมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้าและซิลิกาที่ตำแหน่ง 1075.27 cm^{-1} , 1028.41 cm^{-1} และ 1096.07 cm^{-1} ตามลำดับ แต่พีกที่พบในแมกนีเซียมซิลิเกตนั้นมีความกว้างของพีกมากกว่าพีกของซิลิกา เนื่องจากการมีอยู่แบบสุ่มของแมกนีเซียมบน โครงสร้างของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการสั่นของแบนด์ไซโลเซนของแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้าและซิลิกาเจลในงานวิจัยของ Yates และคณะ, 1997 [23] นอกจากนี้ยังพบการสั่นของพันธะ Mg-O ซ้อนบนพีกเบนดิง (Bending peak) ของพันธะ Si-O-Si ที่ตำแหน่ง 467.05 cm^{-1} ในแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ และแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้าพบที่ตำแหน่ง 462.87 cm^{-1} และ 470.17 cm^{-1} [30] แต่ไม่พบการสั่นของ Mg-O ในซิลิกา



รูปที่ 4.2 ผลการดูดซับแสงอินฟราเรดของ (—) แมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ (.....) แมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า และ (- - -) ซิลิกา

4.1.5 การตรวจวัดปริมาณตำแหน่งความเป็นกรด (Acid site) บนตัวดูดซับ

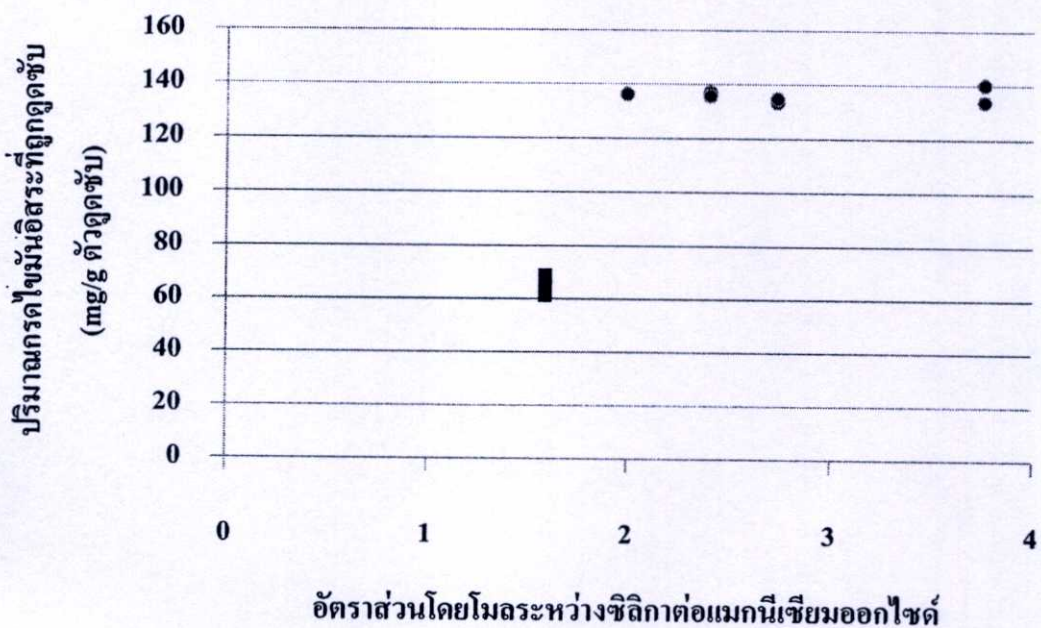
ปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดที่ได้จากการไทเทรตตัวดูดซับด้วยเอมีน เป็นผลรวมระหว่างปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดของ Brønsted acid และ Lewis acid ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์บนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลกับปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดที่ฟังก์ชันสภาพความเป็นกรดของแสมเมตต์ ≤ 4.8 แสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 มีปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดมากที่สุด โดยมีปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดเท่ากับ 0.12 มิลลิโมลต่อกรัม และชนิดของสารละลายที่ใช้ในการตกตะกอนไม่มีผลต่อปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับ แต่ขึ้นกับอัตราส่วน โดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคล โดยปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดลดลงเมื่ออัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน โดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์กับปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดที่ฟังก์ชันสภาพความเป็นกรดของแสมเมตต์ ≤ 4.8 ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลซึ่งตกตะกอนด้วย (●) สารละลายแมกนีเซียมไนเตรด (■) สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

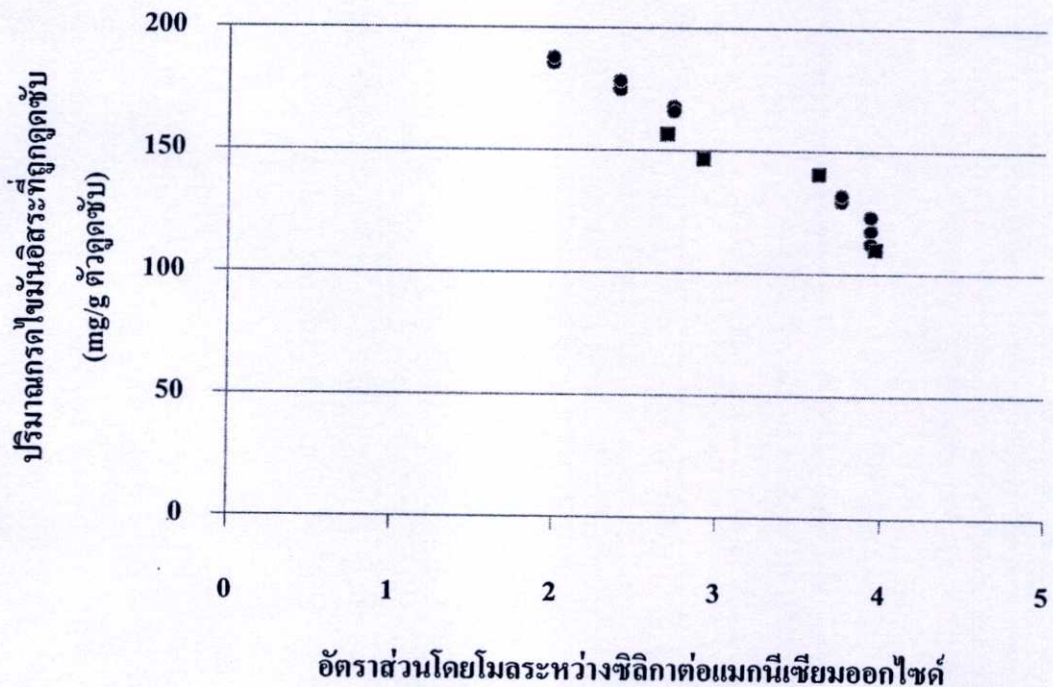
4.2 การศึกษาความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่เวลา 1 ชั่วโมง

การศึกษาความสามารถการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกตที่เวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบซึ่งตกตะกอนด้วยสารละลายแมกนีเซียมไนเตรด ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ที่ 1.99, 2.40, 2.73 และ 3.75 และแมกนีเซียมซลิเกตทางการค้า ซึ่งมีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.59 ปริมาณตัวดูดซับ 2 กรัม ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบก่อนการดูดซับ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดูดซับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และเขย่าด้วยอัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4 พบว่าแมกนีเซียมซลิเกตทางการค้ามีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระน้อยที่สุด โดยดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 70 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ และแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบมีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระใกล้เคียงกันที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ 1.99, 2.40, 2.74 และ 3.76 ก็สามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 130-140 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระกับอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ ที่ปริมาณตัวดูดซับ 2 กรัม เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง (●) แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ (■) แมกนีเซียมซลิเกตทางการค้า

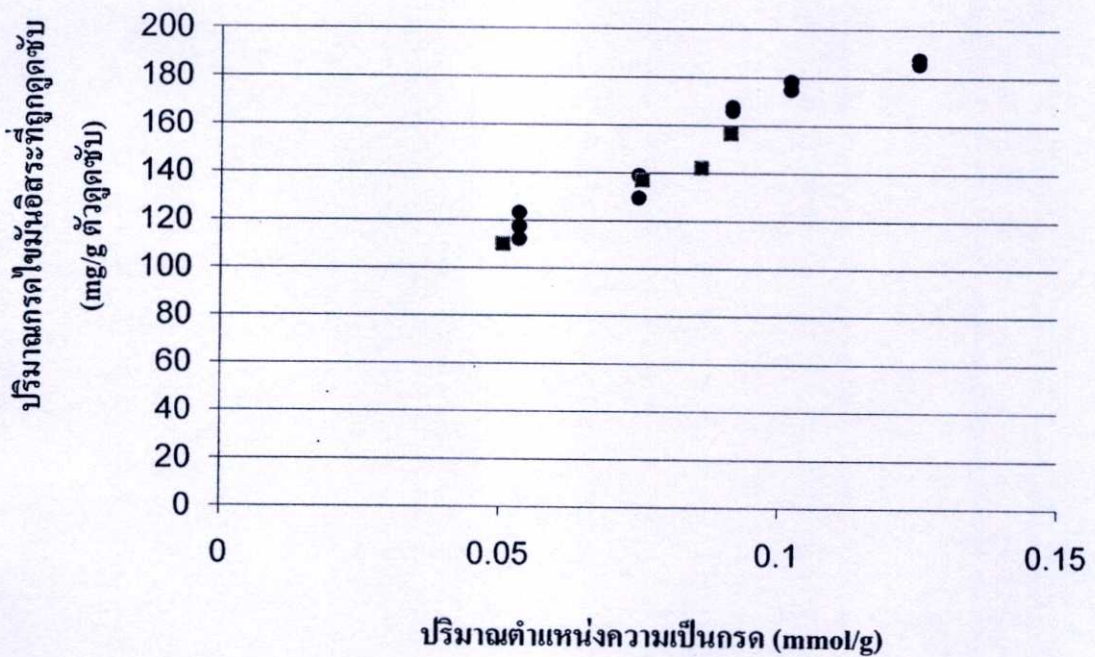
ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบของแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบที่มีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ที่ 1.99, 2.40, 2.74 และ 3.76 มีค่าใกล้เคียง คาดว่าเกิดจากปริมาณตัวดูดซับ 2 กรัม ในน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม เป็นปริมาณที่ตัวดูดซับที่มากเกินไป ทำให้ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระเท่ากัน จึงไม่สามารถเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์บนแมกนีเซียมซลิเกตต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบได้ จึงลดปริมาณของตัวดูดซับจาก 2 กรัมต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม เป็น 1 กรัมต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม โดยน้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการดูดซับมีปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนการดูดซับ 2.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และได้เปรียบเทียบผลของแหล่งของแมกนีเซียมที่ใช้ในการตกตะกอนต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระกับอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบซึ่งตกตะกอนด้วย (●) สารละลายแมกนีเซียมไนเตรด (■) สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

จากรูปที่ 4.5 พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ 3.96 มีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระน้อยที่สุด คือสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 110 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ และที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์

1.99 มีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระมากที่สุด คือสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ถึง 185 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ และความสามารถในการดูดซับไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบของแมกนีเซียมซัลเฟตที่สังเคราะห์จากแคลบโดยใช้สารละลายแมกนีเซียมไนเตรดและสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตในการตกตะกอนนั้นขึ้นกับอัตราส่วน โดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ โดยความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบลดลงเมื่ออัตราส่วนโดย โมลระหว่างซิลิกาและแมกนีเซียมออกไซด์บนตัวดูดซับแมกนีเซียมซัลเฟตเพิ่มขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวคล้ายกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับกับอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์บนตัวดูดซับแมกนีเซียมซัลเฟต คือปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดลดลงเมื่ออัตราส่วนโดย โมลระหว่างซิลิกาและแมกนีเซียมออกไซด์เพิ่มขึ้น รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบของแมกนีเซียมซัลเฟตที่สังเคราะห์จากแคลบกับปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับ

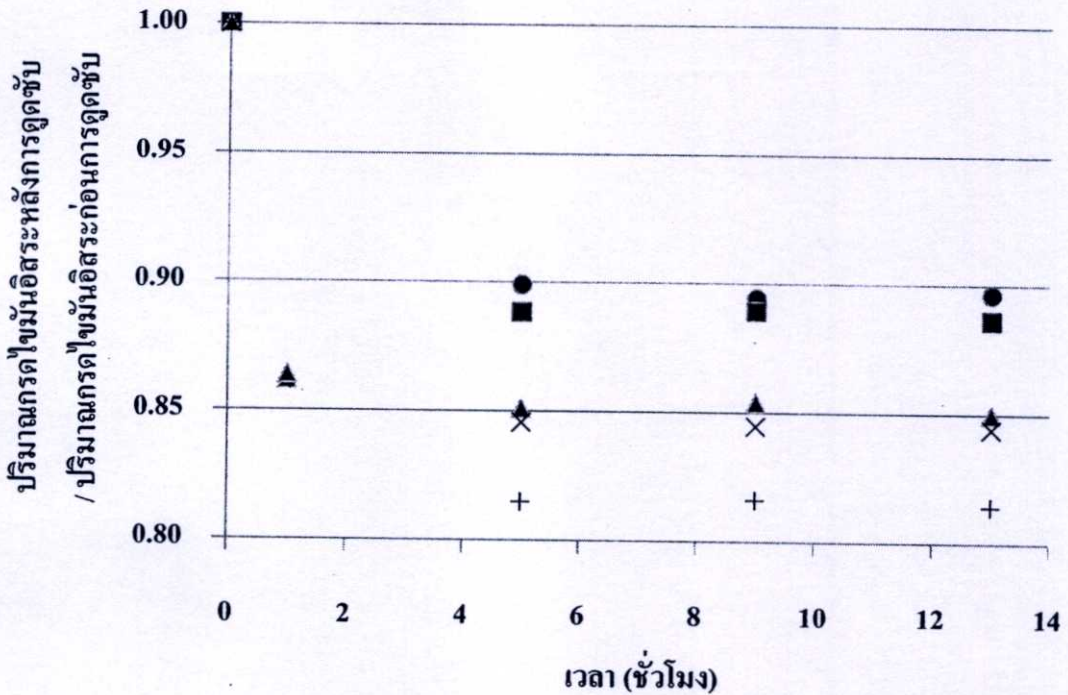


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบกับปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับที่ฟังก์ชันสภาพความเป็นกรดของแอมเมตต์ ≤ 4.8 แมกนีเซียมซัลเฟตที่สังเคราะห์จากแคลบซึ่งตกตะกอนด้วย (●) สารละลายแมกนีเซียมไนเตรด (■) สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

การดูดซับกรดไขมันอิสระของแมกนีเซียมซลิเกตเกิดจากการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี โดยการดูดซับทางเคมีของแมกนีเซียมซลิเกตเกิดจากหมู่คาร์บอกซีเลต (RCOO⁻) ซึ่งเป็นผลจากสูญเสียไฮโดรเจนของกรดไขมันอิสระ เช่น กรดโอเลอิก เกิดการดูดซับด้วยพันธะไอออนิกกับแมกนีเซียมออกไซด์ที่อยู่บนพื้นผิวของแมกนีเซียมซลิเกต [23] ซึ่งทำให้แมกนีเซียมออกไซด์ที่อยู่บนพื้นผิวของแมกนีเซียมซลิเกตสอดคล้องกับนิยามของ Lewis acid เพราะเป็นผู้รับอิเล็กตรอนจากหมู่คาร์บอกซีเลต จากความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระปริมาณค่าแห่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับของแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากเกลือที่ฟังก์ชันสภาพความเป็นกรดของแอมเมตต์ ≤ 4.8 ในรูปที่ 4.6 พบว่าความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบเพิ่มขึ้นตามปริมาณค่าแห่งความเป็นกรดบนแมกนีเซียมซลิเกตที่เพิ่มขึ้น จึงคาดว่า การเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบของแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากเกลือ เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ในตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากเกลือ

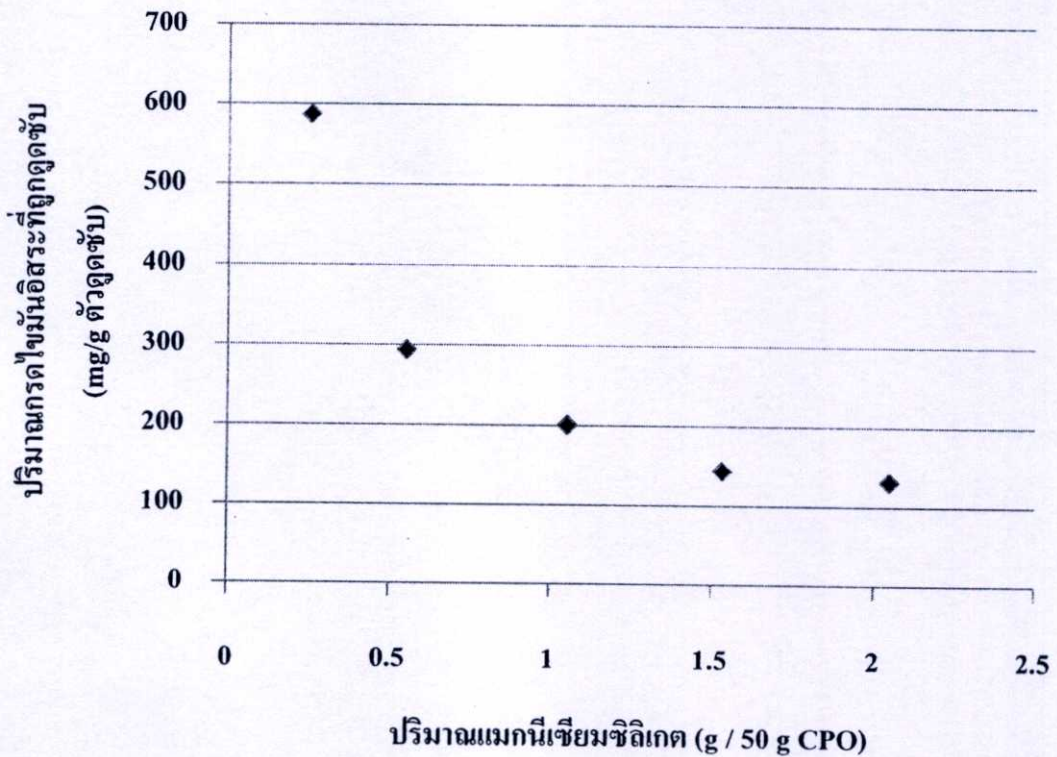
จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกตที่เวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ตัวดูดซับ 1 กรัมต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม พบว่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซลิเกตต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 มีความสามารถในการดูดซับมากที่สุด จึงนำแมกนีเซียมซลิเกตที่อัตราส่วนดังกล่าวมาศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลและผลของปริมาณตัวดูดซับต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่เวลาเข้าสู่สมดุล

4.3 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลและผลของปริมาณตัวดูดซับต่อความสามารถการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ



รูปที่ 4.7 ความเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับโดยแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ ($\text{SiO}_2/\text{MgO} = 1.99$) ปริมาณ (●) 0.25, (■) 0.50, (▲) 1.00, (×) 1.50 และ (+) 2.00 กรัม ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม ที่เวลาต่าง ๆ

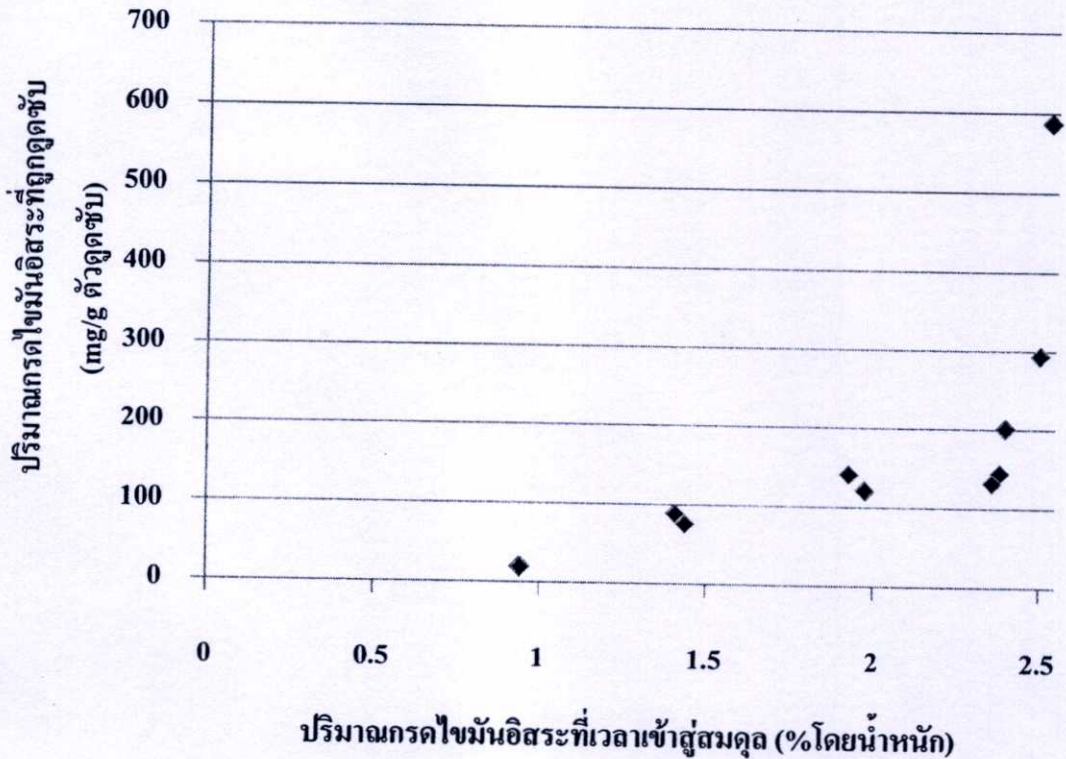
การศึกษาเวลาการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบที่มีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 โดยใช้ตัวดูดซับปริมาณ 0.25, 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัม ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบก่อนการดูดซับ 2.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เขย่าด้วยอัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5, 9 และ 13 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่าที่ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 5 ชั่วโมง และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณตัวดูดซับ 0.25, 0.5, 1.5 และ 2 กรัม เริ่มคงที่ที่เวลา 5 ชั่วโมง จึงเลือกเวลาการดูดซับ 13 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับมาศึกษาผลปริมาณตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตต่อความสามารถการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบและไอโซเทิร์มของการดูดซับ



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่เวลาเข้าสู่สมดุล (13 ชั่วโมง) บนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ ($\text{SiO}_2/\text{MgO} = 1.99$) กับปริมาณแมกนีเซียมซิลิเกต

การศึกษาผลปริมาณตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ต่อความสามารถการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ตัวดูดซับปริมาณ 0.25, 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัม ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบก่อนการดูดซับ 2.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เข้มด้วยอัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 13 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่าที่ปริมาณตัวดูดซับ 2 กรัม ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม มีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระน้อยที่สุด โดยดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 131 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ และที่ปริมาณตัวดูดซับ 0.25 กรัม ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม มีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระมากที่สุด โดยดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 587 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ และความสามารถในการดูดซับของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกต โดยความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับของกรดไขมันอิสระกับปริมาณตัวดูดซับสอดคล้องกับงานวิจัยของ Proctor และ Palaniappan [31] ซึ่งดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ถั่วแคลบ

4.4 ไอโซเทิร์มการดูดซับ



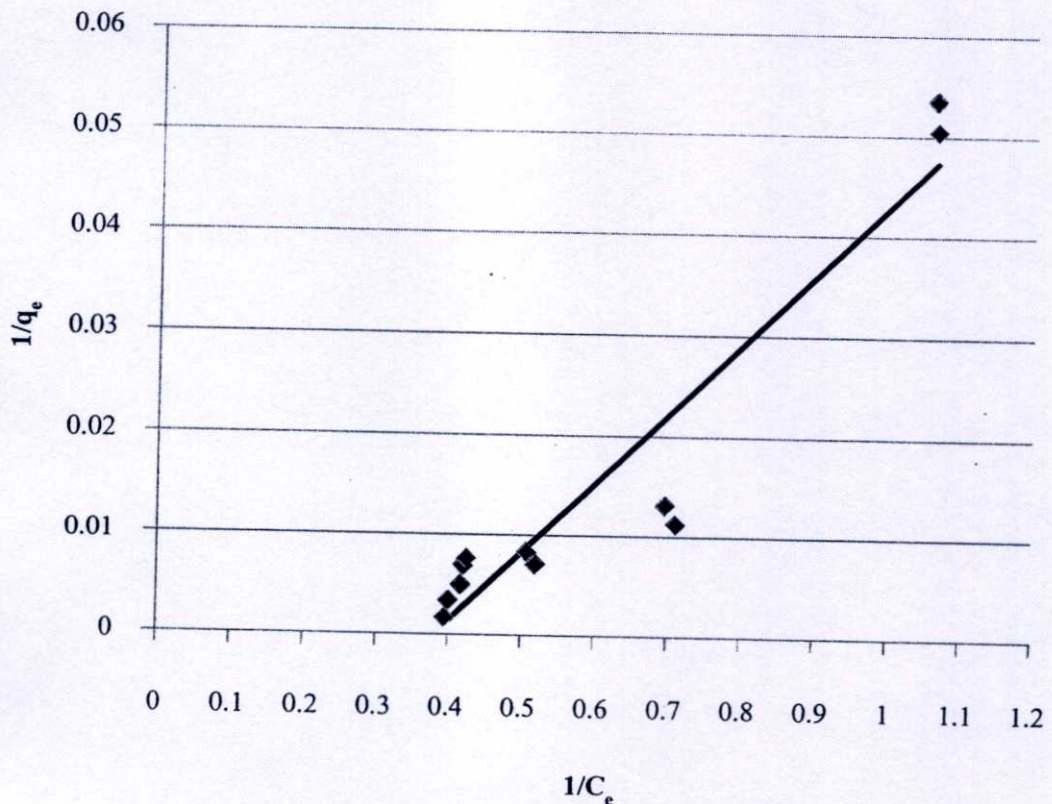
รูปที่ 4.9 ความสามารถในการดูดซับและปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่เวลาเข้าสู่สมดุล (13 ชั่วโมง) บนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ ($\text{SiO}_2/\text{MgO} = 1.99$)

การศึกษาไอโซเทิร์มการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ใช้ข้อมูลผลการทดลองความสามารถการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบและปริมาณกรดไขมันอิสระที่เวลาเข้าสู่สมดุล ซึ่งได้จากการดูดซับใช้ตัวดูดซับปริมาณ 0.25, 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัม ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบก่อนการดูดซับ 2.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และการดูดซับน้ำมันปาล์มดิบที่เจือจางด้วยน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กำจัดไขมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระประมาณก่อนการดูดซับ 1, 1.6 และ 2.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยอัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 13 ชั่วโมง ไอโซเทอมที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.9 นำข้อมูลความสามารถการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบและปริมาณกรดไขมันอิสระที่เวลาเข้าสู่สมดุลมาทดสอบว่ามีลักษณะสอดคล้องกับแบบจำลองของ Langmuir หรือ Freundlich โดยวิเคราะห์จากค่าคงที่และ

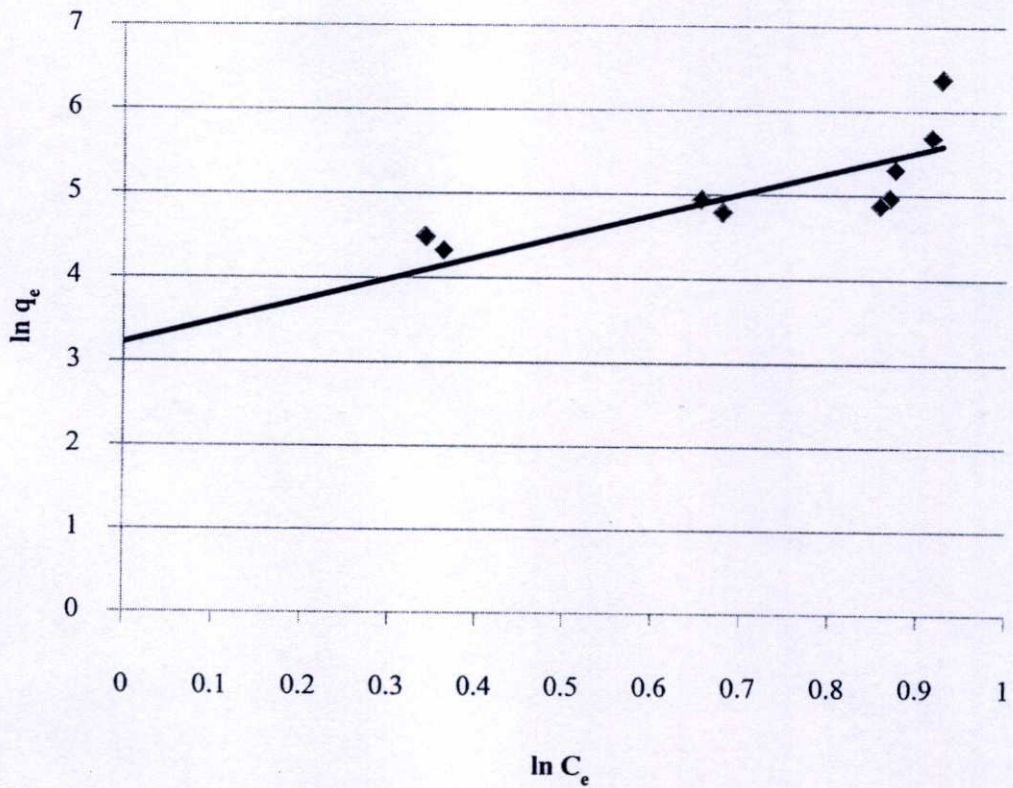
ค่า R^2 ของสมการเส้นตรงของแบบจำลองทั้งสองด้วยวิธี Linear Regression โดยใช้สมการที่ 2.6 และ 2.9 ตามลำดับ ไอโซเทิร์มการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบด้วยตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแกลบที่มีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ในรูปของสมการเส้นตรงของแบบจำลองของ Langmuir และ Freundlich แสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ สมการเส้นตรง ค่าคงที่ และค่า R^2 ของแบบจำลอง Langmuir และ Freundlich แสดงดังตารางที่ 4.3

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q^0} + \frac{1}{bQ^0C_e} \quad (2.6)$$

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (2.9)$$



รูปที่ 4.10 ความสามารถในการดูดซับและปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่เวลาเข้าสู่สมดุลในรูปของสมการเส้นตรงของแบบจำลองของ Langmuir



รูปที่ 4.11 ความสามารถในการดูดซับและปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่เวลาเข้าสู่สมดุลในรูปของสมการเส้นตรงของแบบจำลองของ Freundlich

ตารางที่ 4.3 สมการเส้นตรง ค่าคงที่ และค่า R^2 ของแบบจำลอง Langmuir และ Freundlich

แบบจำลอง	สมการเส้นตรง	ค่าคงที่		R^2
Langmuir	$\frac{1}{q_e} = -0.0264 + 0.0693 \frac{1}{C_e}$	Q^0	-37.906	0.906
		b	-0.380	
Freundlich	$\ln q_e = 3.226 + 2.545 \ln C_e$	K_F	25.186	0.868
		$1/n$	2.545	

จากตารางที่ 4.3 สมการเส้นตรงของแบบจำลอง Langmuir และ Freundlich คือ $\frac{1}{q_e} = -0.0264 + 0.0693 \frac{1}{C_e}$ และ $\ln q_e = 3.226 + 2.545 \ln C_e$ ตามลำดับ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.906 และ 0.868 แต่สมการเส้นตรงของแบบจำลอง Langmuir ไม่เหมาะสมในการอธิบายการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกต เนื่องจากขอบเขตจำกัดความจุการดูดซับ (Q^0) และค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ (b) มีค่าติดลบจึงส่งผลให้สมการเส้นตรงของแบบจำลอง Langmuir ไม่เป็นจริง และการดูดซับกรดไขมันอิสระของแมกนีเซียมซิลิเกตเกิดจากการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี [23] แต่การดูดซับของแบบจำลอง Langmuir ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นเกิดจากการดูดซับทางเคมีเพียงอย่างเดียว จึงทำให้แบบจำลองของ Freundlich มีความเหมาะสมในการอธิบายไอโซเทิร์มของการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตมากกว่าแบบจำลองของ Langmuir

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์แมกนีเซียมซลิเกตจากแคลบ ผลของอัตราส่วน โดยโมระหว่างซลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์บนตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกตต่อความสามารถการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ ผลของปริมาณของแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบต่อความสามารถการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่เวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ และศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการอธิบายรูปแบบของกระบวนการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ

จากการศึกษาการสังเคราะห์แมกนีเซียมซลิเกตจากแคลบ แมกนีเซียมซลิเกตได้จากการตกตะกอนระหว่างสารละลายโซเดียมซลิเกตที่ได้จากการสกัดซลิกาในแคลบกับสารละลายแมกนีเซียมไนเตรดหรือสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นระหว่าง 0.5-4 โมลาร์ พบว่าแมกนีเซียมซลิเกตที่ได้มีลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแมกนีเซียมซลิเกตด้วยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายแมกนีเซียมไนเตรดและสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตมีผลต่อองค์ประกอบของแมกนีเซียมซลิเกตที่เตรียมได้ ผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ พบว่าแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์มีลักษณะเป็นออสถูเนียน และผลการตรวจวัดปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับ พบว่าปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดลดลงเมื่ออัตราส่วน โดยโมระหว่างซลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาผลของอัตราส่วน โดยโมระหว่างซลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์บนแมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบต่อความสามารถการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ โดยทำการดูดซับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม และปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบก่อนการดูดซับ 2.9 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก พบว่าที่อัตราส่วน โดยโมระหว่างซลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 มีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบสูงที่สุด คือสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 185 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ และความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบลดลงเมื่ออัตราส่วน โดยโมระหว่างซลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์บนแมกนีเซียมซลิเกตเพิ่มขึ้น คาดว่าเกิดจากตำแหน่งความเป็นกรดที่กรดไขมันอิสระจะเกิดการดูดซับทางเคมีด้วยมีปริมาณลดลงเมื่ออัตราส่วน โดยโมระหว่างซลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์บนแมกนีเซียมซลิเกตเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาผลของปริมาณของแมกนีเซียมซัลเฟตที่สังเคราะห์จากแคลบต่อความสามารถ การดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบเวลาเข้าสู่สมดุลการดูดซับ โดยใช้แมกนีเซียมซัลเฟตที่สังเคราะห์จากแคลบที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซัลเฟตต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ดูดซับ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 13 ชั่วโมง ปริมาณตัวดูดซับ 0.25, 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัม ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม และปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบก่อนการดูดซับ 2.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าที่ปริมาณตัวดูดซับ 0.25 กรัม ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม มีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระมากที่สุด คือสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 587 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ และความสามารถในการดูดซับของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับแมกนีเซียมซัลเฟต

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้แบบจำลองการดูดซับ Langmuir และ Freundlich พบว่าแบบจำลองการดูดซับ Freundlich มีความเหมาะสมกับข้อมูลไอโซเทอมของการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซัลเฟตที่สังเคราะห์จากแคลบที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซัลเฟตต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 เนื่องจากค่าขอบเขตจำกัดความจุการดูดซับ (Q^0) และค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ (b) มีค่าติดลบจึงส่งผลให้สมการของแบบจำลอง Langmuir ไม่เป็นจริง และการดูดซับกรดไขมันอิสระของแมกนีเซียมซัลเฟตเกิดจากการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี ทำให้แบบจำลองของ Freundlich มีความเหมาะสมในการอธิบายไอโซเทอมของการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซัลเฟตมากกว่าแบบจำลองของ Langmuir

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมวิชาการเกษตร [ระบบออนไลน์]. <http://www.doa.go.th>
- [2] R. V. Krishnarao, J. Subrahmanyam and T.J. Kumar, "Studies on the formation of black particles in rice husk silica ash", J. Euro. Ceram. Soc., Vol.21, 2001, p.99-104
- [3] สันติ รัตนวีรนนท์. "เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเตรียมซิลิกาจากขี้เถ้าแกลบ". วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2547
- [4] อโณรัตน์ ภู่อระกุล. "การเตรียมโซเดียมซิลิเกตจากขี้เถ้าแกลบโดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัล". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2547.
- [5] สุธิดา สารเสวก. "การผลิตซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 ขนาดเล็กจากขี้เถ้าแกลบ". วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2547.
- [6] S.Ozgul-Yucel, M.Tolay, S.Erdag and S.Turkay, "Magnesium silicate synthesis from rice hull ash", J Am Oil Chem Soc., vol. 81, 2004, p. 619-620
- [7] M. Berrios and R.L. Skelton, "Comparison of purification methods for biodiesel", Chemical Engineering Journal, vol. 144 (3), 2008, p. 459-465
- [8] F. Ciesielczyk, A. Krysztalkiewicz and T. Jesionowski, "Magnesium silicates – adsorbents of organic compounds", Applied Surface Science, vol. 253 (20), 2007, p. 8435-8442
- [9] Song Lin, Casimir C. Akoh, A. Estes Reynolds, "Recovery of used frying oil with adsorbent combination : refrying and frequent oil replenishment", Food Research International, vol.34, 2001, p.159-166.
- [10] วิษณีย์ ออมทรัพย์สิน วัชร ศรีรักษา เกริกชัย ธนรักษ์ และ วราวุธ ชูธรรมรัช. "การศึกษาวิธีการกำจัดขี้เถ้าและลดกรดไขมันอิสระ". งานวิจัย ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 7.
- [11] กำพล ประทีปชัยกุล และ สุรัช จันท์ศรี. "การลดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบชนิดที่รวบรวมด้วยวิธีการเอสเทอริฟิเคชัน". การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6. 2551. หน้า 387-392
- [12] สุภาพ ศิลปกำภีรภาพ และ สุพจน์ อ้วนเจริญกุล. "การเตรียมและการตรวจสอบคุณภาพของซิลิกาเจลที่ได้จากขี้เถ้าแกลบ". โครงการปริญญาตรี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2538.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [13]รศ.ดร.ดาววัลย์ ฉิมภู, **ชีวเคมี เล่ม 1 โมเลกุลชีวภาพ**, พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์
ประกายพริก. 2538.
- [14]อุษณีย์ วินิจเขตคำนวณ, **คู่มือเรียนชีวเคมี โดย E-learning**, เชียงใหม่. : โรงพิมพ์
ดาวคอมกราฟฟิค. 2548.
- [15][Online]. Available : http://teacher.nsruc.ac.th/sumolta/sumolta/new_page_2.htm. 2009
- [16]พรพนธ์ วิษชาญ, **หนังสือพิมพ์กสิกร ปีที่ 78 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม – มิถุนายน 2548**.
- [17]Palm oil [Online]. Available : http://www.en.wikipedia.org/wiki/Palm_oil. 2009
- [18]Frank L. Slejko, **Adsorption Technology: A Step-by-Step Approach to process
Evaluation and Applications**. New York: Marcel Dekker, 1985.
- [19]Charles, N., Satterfield, **Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice**. 2nd ed., New
York: McGraw-Hill Book Company, 1991, p. 31-50.
- [20]Noll, K.E., Gounarous, V. and Hou, W., 1992, **Adsorption Technology for Air and
Water Pollution Control**. Michigan, Lewis, p. 199-216.
- [21]Oscik, J., **Adsorption**. New York, John Wiley & Sons, pp. 157-193.
- [22]จตุพร วิชาคุณ และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์, **การเร่งปฏิกิริยา พื้นฐานและการประยุกต์,**
กรุงเทพฯ ฯ, โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547.
- [23]R.A. Yates, J.D. Caldwell and E.G. Perkins, "Diffuse Reflectance Fourier Transform
Infrared Spectroscopy of Triacylglycerol and Oleic Acid Adsorption on Synthetic
Magnesium Silicate", *JAOCS.*, Vol. 74, 1997, p.289-292.
- [24]M. Yurdakoc, M. Akcay, Y. Tonbul and K. Yurdakoc, "Acidity of Silica-Alumina
Catalysts By Amine Titration Using Hammett Indicators and FT-IR Study of Pyridine
Adsorption", *Turk J Chem*, vol. 23, 1999, p. 319- 327.
- [25]L. P. Hammett and A. J. Deyrup, "A series of simple basic indicator" *J. Am. Chem.
Soc.*, vol. 54, 1932, p. 2721-2739.
- [26]P.C. Kapur, "Thermal insulations from ricehusk ash, an agricultural waste". *Ceram. Int.*,
vol. 11(4), 1985, p. 142-143.
- [27]U. Kalapathy, A. Proctor and J. Shultz, "A simple method for production of pure silica
from rice hull ash", *Biosource Technology*, Vol. 73, 2000, p.257-262.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [28]A.Chakraverty, P. Mishra and H.D. Banerjee, "Investigation of combustion of raw and acid leached rice husk for production of pure amorphous white silica", J. Mater. Sci., Vol. 23, 1988, p.21-24.
- [29]S.R. Kamath and A. Proctor, "Silica gel from rice hull ash: Preparation and characterization", Cereal Chem., Vol. 75, 1998, p.484-487.
- [30]D.R.M. Brew and F.P. Glasser, "Synthetic and characterization of magnesium silicate hydrate gel", Cement and Concrete Research, Vol. 35 (1), 2005, p.85-98.
- [31]A. Proctor and S. Palaniappan, "Adsorption of Soy Oil Free Fatty Acids by Rice Hull Ash", JAOCS., Vol. 67, 1990, p.15-17.
- [32]Silicate division, Specialty Business Group [Online]. Available :
<http://www.pqxorp.com/corperate/aboutpq/asp>
- [33]C. THAICHEMICALCO.,LTD [Online]. Available : <http://www.ctc.th.com/detail.htm>
- [34]AOCS. Cd 3a-63 : free fatty acid, In: Official Method and Reccommended Practices of AOCS, 5th Ed; Illinois: American Oil Chemistry Society 1997.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์องค์ประกอบสารละลายโซเดียมซิลิเกต [4,32,33]

ก.1 วิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโซเดียมออกไซด์ในสารละลายโซเดียมซิลิเกต

1. ชั่งสารละลายโซเดียมซิลิเกตมา 0.5 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร เขย่าจนละลายเข้ากัน
3. หยดเมธิลเรดประมาณ 2-3 หยด สารละลายเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีเหลือง
4. นำสารละลายที่ได้มาไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ จนถึงจุดยุติ การหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโซเดียมออกไซด์ในสารละลายโซเดียมซิลิเกตแสดงดังสมการที่ ก.1

$$\% NaO_2 = \frac{3.1 \times V_{HCl} \times C_{HCl}}{W_1} \quad (ก.1)$$

เมื่อ V_{HCl} คือ ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร) C_{HCl} คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต (โมลาร์) และ W_1 คือ น้ำหนักของสารละลายโซเดียมซิลิเกต (กรัม)

ก.2 วิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกาในสารละลายโซเดียมซิลิเกต

1. ชั่งโซเดียมฟลูออไรด์ 2.5 กรัม เติมลงในสารละลายที่ได้จากข้อ ก.2.1 สารละลายเปลี่ยนจากสีส้มเป็นสีเหลือง
2. เติมนเมทานอล 30 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำสารละลายที่ได้มาไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู
3. นำมาไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ เมื่อถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนสีจากสีชมพูเป็นสีเหลือง การหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซิลิกาในสารละลายโซเดียมซิลิเกตแสดงดังสมการที่ ก.2

$$\% SiO_2 = \frac{1.5022 \times [(V_{HCl} \times C_{HCl}) - (V_{KOH} \times C_{KOH})]}{W_1} \quad (ก.2)$$

เมื่อ V_{KOH} คือ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร) C_{KOH} คือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต (โมลาร์)

ภาคผนวก ข

การหาความแรงของความเป็นกรดและปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับโดยการไทเทรตด้วยเอมีน [24,25]

นิยามของความแรงของความเป็นกรดบนพื้นผิวของของแข็ง คือ ความสามารถของพื้นผิวที่ซึ่งเปลี่ยนเบสที่เป็นกลางที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวเป็นกรดคอนจูเกต โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอาจเป็นการถ่ายโอนโปรตอนจากพื้นผิวไปเบสที่เป็นกลาง ซึ่งฟังก์ชันความเป็นกรดของแฮมเมตต์ (Hammett acidity function, H_0) แสดงดังสมการที่ ข.1 หรือ อาจเป็นการถ่ายโอนคู่อิเล็กตรอนจากสารที่ถูกดูดซับไปบนพื้นผิว ซึ่งฟังก์ชันความเป็นกรดของแฮมเมตต์ (Hammett acidity function, H_0) แสดงดังสมการที่ ข.2

$$H_0 = pK_a + \log [B]/[BH^+] \quad (\text{ข.1})$$

$$H_0 = pK_a + \log [B]/[AB] \quad (\text{ข.2})$$

เมื่อ $[B]$ และ $[BH^+]$ คือ ความเข้มข้นของเบสที่เป็นกลางและกรดคอนจูเกต และ $[AB]$ คือ ความเข้มข้นของเบสที่เป็นกลางที่ทำปฏิกิริยากับ Lewis acid หรือ ผู้รับคู่อิเล็กตรอน

การตรวจวัดปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับ ใช้วิธีการไทเทรตด้วยเอมีน โดยใช้อินดิเคเตอร์ของแฮมเมตต์ อินดิเคเตอร์ของแฮมเมตต์ใช้วัดความแรงของกรด ตัวอย่างอินดิเคเตอร์ของแฮมเมตต์แสดงดังตารางที่ ข.1 โดยเมื่อสีของอินดิเคเตอร์อยู่ในรูปของกรดแสดงว่าค่าของฟังก์ชันความเป็นกรดของแฮมเมตต์น้อยกว่าหรือเท่ากับ pK_a ของอินดิเคเตอร์นั้น

ตารางที่ ข.1 อินดิเคเตอร์ของแฮมเมตต์ที่ใช้ในการวัดความแรงของกรด [34].

Indicator	Color Base	Color Acid	pK_a
	Form	Form	
Neutral Red	เหลือง	แดง	+6.8
Methyl Red	เหลือง	แดง	+4.8
Phenylazonaphthylamine	เหลือง	แดง	+4.0
p-Dimethylaminoazobenzene (Methyl Yellow)	เหลือง	แดง	+3.3
2-Amino-5-azotoluene	เหลือง	แดง	+2.0
Benzeneazodiphenylamine	เหลือง	ม่วง	+1.5
Crystal Violet	น้ำเงิน	แดง	+0.8
p-Nitrobenzeneazo-(p'-nitro-diphenylamine)	ส้ม	ม่วง	+0.43

ตารางที่ ข.1 อินดิเคเตอร์ของแฮมเมตต์ที่ใช้ในการวัดความแรงของกรด (ต่อ) [34]

Indicator	Color Base	Color Acid	pKa
	Form	Form	
Dicinnamalacetone	เหลือง	แดง	-3.0
Benzaacetophenone	ไม่มีสี	เหลือง	-5.6
Anthraquinone	ไม่มีสี	เหลือง	-8.2
2,4,6-Trinitroaniline	ไม่มีสี	เหลือง	-10.1

การตรวจวัดปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนพื้นผิวของตัวดูดซับจะทำทันทีหลังจากวิเคราะห์ความแรงกรดด้วยอินดิเคเตอร์ของแฮมเมตต์ การตรวจวัดปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดทำได้โดยการไทเทรตของแข็งแขวนลอยในเบนซีนด้วยบิวทิลเอมีน โดยปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดที่ได้จากการไทเทรตตัวดูดซับด้วยเอมีนเป็นผลรวมระหว่างปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดของ Brønsted acid และ Lewis acid

ข.1 วิธีการหาความแรงของความเป็นกรด

1. นำสารตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C นาน 1 ชั่วโมง และเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ ก่อนการทดลอง เนื่องจากความชื้นตัวอย่างจะทำให้ความแรงของกรดในตัวอย่างไม่ลดลง
2. นำสารตัวอย่าง 0.1 กรัม เติมลงในหลอดทดลอง
3. เติม 0.1% (w/w) อินดิเคเตอร์ของแฮมเมตต์ในเบนซีน 3 หยด
4. สีของสารตัวอย่างที่เปลี่ยนไปแสดงว่าสารตัวอย่างอยู่ในรูปของกรดหรือเบสในอินดิเคเตอร์ ซึ่งส่งผลให้ทราบถึงค่าความแรงของกรด H_0 ของสารตัวอย่าง (เช่น สารตัวอย่างแสดงความเป็นกรดในอินดิเคเตอร์ Benzeneazodiphenylamine [$pK_a=+1.5$] แสดงความเป็นเบสในอินดิเคเตอร์ Crystal Violet [$pK_a=+0.8$] แสดงว่าความแรงของกรดของสารตัวอย่างอยู่ระหว่าง +1.5 ถึง +0.8)

ข.1 วิธีการหาปริมาณตำแหน่งความเป็นกรด

1. นำสารตัวดูดซับ 0.2 กรัม เติมลงในขวดรูปชมพู่ เติมเบนซีน 9 มิลลิลิตร และ 0.1% อินดิเคเตอร์ของแฮมเมตต์ 3 หยด
2. เติมสารละลาย 0.01 โมลาร์ บิวทิลเอมีนในเบนซีน ลงในขวดปริมาณขวดรูปชมพู่ โดยปริมาณที่เติมต้องน้อยกว่าปริมาณที่คาดว่าจะใช้ในการไทเทรตทั้งหมด ปิดปากของขวดรูปชมพู่และนำไปแช่ที่อุณหภูมิห้องนาน 6 ชั่วโมง หรือ 1 คืน
3. นำมาไทเทรตต่อจนถึงจุดยุติ

4. ปริมาณบิวทิลเอมีนที่ใช้ในการไทเทรตทั้งหมด คือ ปริมาณของตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับที่ฟังก์ชันสภาพความเป็นกรดของแสมเมตต์ ($H_0 \leq pK_a$ ของอินดิเคเตอร์ของแสมเมตต์ที่ใช้ โดยปริมาณของตำแหน่งความเป็นกรดสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ ข.1

$$\text{ปริมาณตำแหน่งความเป็นกรด} \left(\frac{mmol}{g} \right) = \frac{C_B \times V_B}{W_{abs}} \quad (\text{ข.1})$$

เมื่อ C_B คือ ความเข้มข้นของบิวทิลเอมีนที่ใช้ในการไทเทรต (โมลาร์) V_B คือ ปริมาณของบิวทิลเอมีนทั้งหมดที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร) และ W_{abs} คือ น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในไทเทรต (กรัม)

ภาคผนวก ค

การหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม [34]

ค.1 วิธีการทดสอบ

1. นำน้ำมันปาล์มมาผสมกับแอลกอฮอล์ตามปริมาณที่แสดงในตารางที่ ค.1 เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบในงานวิจัยนี้มีกรดไขมันอิสระประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อให้ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ได้มีความละเอียดจึงให้ชั่งน้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างมาประมาณ 10 กรัม

ตาราง ค.1 น้ำหนักน้ำมัน ปริมาตรแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของค่าที่ต้องใช้กับปริมาณกรดไขมันอิสระในช่วงต่างๆ

ปริมาณกรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	น้ำหนักของน้ำมัน ตัวอย่าง (กรัม)	ปริมาตรของ แอลกอฮอล์ (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของ ค่า (โมลาร์)
0.0-0.2	56.4±0.2	50	0.1
0.2-1.0	28.2±0.2	50	0.1
1.0-30.0	7.05±0.05	75	0.25
30.0-50.0	7.05±0.05	100	0.25 หรือ 1.0
50.0-100	3.525±0.001	100	1.0

- เติมฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ 2-3 หยด
- ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู โดยสีต้องไม่เปลี่ยนแปลงเป็นเวลา 30 นาที ในงานวิจัยนี้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์
- การหาปริมาณกรดไขมันอิสระสามารถหาได้จากสมการ ค.1

$$\%FFA = \frac{C_{NaOH} \times V_{NaOH} \times 270.6 \times 100}{W_{oil} \times 1000} \quad (ค.1)$$

เมื่อ C_{NaOH} คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลาร์) V_{NaOH} คือ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร) W_{oil} คือ ปริมาณน้ำมันตัวอย่าง (กรัม) และ 270.6 คือ มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม

ภาคผนวก ง

องค์ประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบและ
แมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า

ตารางที่ ง.1 องค์ประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบและแมกนีเซียมซิลิเกต
ทางการค้า

สารละลาย ที่ใช้ในการ ตกตะกอน	ความ เข้มข้น (โมลาร์)	เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบ โดยน้ำหนัก								
		SiO ₂	MgO	NaO	P ₂ O ₅	CaO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	CuO	อื่นๆ
แมกนีเซียม ไฮดรอกไซด์	0.5	83.2	14.1	2.55	0.11	-	-	-	-	0.04
	1	81.2	14.4	3.87	0.23	0.05	-	-	-	0.25
	2	76.4	18.6	4.70	0.15	0.06	-	-	-	0.09
	3	75.1	20.8	3.72	0.22	0.04	-	-	-	0.12
	4	71.6	23.9	4.15	0.18	0.03	-	-	-	0.14
แมกนีเซียม ซัลเฟต	0.5	83.9	14.1	1.10	-	-	0.69	-	-	0.21
	1	81.8	15.1	0.46	-	-	2.49	-	-	0.15
	2	81.1	15.4	0.37	-	-	3.03	-	-	0.10
	3	78.6	18.0	0.22	-	-	3.10	-	-	0.52
	4	75.2	18.6	1.22	-	-	4.50	-	-	0.48
แมกนีเซียมซิลิเกตทาง การค้า		67.9	28.4	-	-	-	-	0.64	1.21	1.85

ภาคผนวก จ

ข้อมูลดิบ

ตาราง จ.1 ปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบซึ่ง
ตกตะกอนด้วยสารละลายแมกนีเซียมไนเตรด

อัตราส่วนโดยโมล ระหว่างซิลิกาและ แมกนีเซียมออกไซด์	น้ำหนักของตัว ดูดซับที่ใช้ใน การไทเทรต (g)	ปริมาตรบิวทิลเอ มีนที่ใช้ในการ ไทเทรต (ml)	ปริมาณตำแหน่ง ความเป็นกรด (mmol/g)	ปริมาณตำแหน่ง ความเป็นกรด โดย เฉลี่ย (mmol/g)
3.93:1	0.2019	1.0	0.049	0.053
	0.2108	1.2	0.057	
	0.2054	1.1	0.054	
3.75:1	0.2049	1.6	0.078	0.075
	0.2085	1.5	0.072	
	0.2020	1.5	0.074	
2.73:1	0.2067	1.9	0.092	0.091
	0.2105	2.0	0.095	
	0.2057	1.8	0.088	
2.40:1	0.2015	2.0	0.099	0.101
	0.2032	2.0	0.098	
	0.2132	2.3	0.108	
1.99:1	0.2045	2.6	0.127	0.121
	0.2045	2.4	0.117	
	0.2006	2.6	0.129	

ตาราง จ.2 ปริมาณตำแหน่งความเป็นกรดบนตัวดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแกลบซึ่ง
ตกตะกอนด้วยสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

อัตราส่วนโดยโมล ระหว่างซิลิกาและ แมกนีเซียมออกไซด์	น้ำหนักของตัว ดูดซับที่ใช้ใน การไทเทรต (g)	ปริมาตรบิวทิลเอ มีนที่ใช้ในการ ไทเทรต (ml)	ปริมาณตำแหน่ง ความเป็นกรด (mmol/g)	ปริมาณตำแหน่ง ความเป็นกรด โดย เฉลี่ย (mmol/g)
3.96:1	0.2128	1.1	0.051	0.050
	0.2180	1.1	0.050	
	0.2030	1.0	0.049	
3.61:1	0.2106	1.6	0.076	0.072
	0.2100	1.5	0.071	
	0.2050	1.4	0.068	
2.51:1	0.2032	1.5	0.073	0.075
	0.2015	1.5	0.074	
	0.2053	1.6	0.077	
2.91:1	0.2023	1.7	0.084	0.086
	0.2061	1.8	0.087	
	0.2075	1.8	0.086	
2.69:1	0.2159	2.0	0.093	0.091
	0.2058	1.9	0.092	
	0.2030	1.8	0.088	

ตาราง จ.3 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมมเบรนซีเมนต์ที่เกิดจากการค้า ปริมาณตัวดูดซับ 2 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง

น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการไทเทรต (g)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ (mg/g)
ไม่ผ่านการดูดซับ	-	9.48	12.5	3.57	3.46	-
		8.35	10.5	3.40		
		9.76	12.3	3.41		
2.01	50.01	10.34	12.5	3.27	3.20	64.12
		11.03	12.7	3.12		
		8.22	9.8	3.22		
2.00	50.11	10.55	12.5	3.21	3.18	69.06
		11.21	13.1	3.16		
		9.85	11.6	3.18		
2.05	50.05	10.43	12.5	3.24	3.21	61.31
		10.58	12.4	3.17		
		10.45	12.4	3.22		

ตาราง ๑.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซัลเฟตที่สังเคราะห์จากเกลือ ปริมาณตัวดูดซับ 2 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง

อัตราส่วนโดยมวลระหว่างซัลเฟตและแมกนีเซียมออกไซด์	น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง (g)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ (mg/g)
3.75:1	ไม่ผ่านการดูดซับ	50.02	8.26	10.7	3.51	3.47	-
			8.07	10.3	3.45		
			6.37	8.1	3.44		
	2.02	50.02	9.49	10.4	2.97	2.92	134.06
			9.39	10.4	2.99		
			13.95	14.5	2.81		
3.75:1	2.02	50.01	10.12	11.1	2.97	2.90	140.16
			10.09	10.8	2.89		
			10.97	11.5	2.84		
2.73:1	2.02	50.02	10.71	11.7	2.96	2.93	133.57
			10.21	11.1	2.94		
			11.38	12.2	2.90		

ตาราง จ.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซิติเดทที่สังเคราะห์จากเกลือ ปริมาณตัวดูดซับ 2 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง (ต่อ)

อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง ซิติกาและเมกนีเซียม ออกไซด์	น้ำหนักของตัว ดูดซับที่ใช้ในการ ทดลอง (g)	น้ำหนักของ น้ำมันที่ใช้ในการ ทดลอง (g)	น้ำหนักของ น้ำมันที่ใช้ใน การไทเทรต (g)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการ ไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของ กรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน อิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูด ซับกรดไขมันอิสระ (mg/g)
2.73:1	2.02	50.03	10.53	11.7	3.00	2.93	134.86
			10.30	11.1	2.91		
			11.53	12.2	2.86		
2.40:1	2.05	50.01	10.80	11.6	2.90	2.90	137.03
			9.08	9.6	2.86		
			10.10	11.0	2.95		
2.40:1	2.01	50.04	10.70	11.5	2.91	2.92	135.79
			10.63	12.0	3.05		
			10.73	11.1	2.80		
1.99:1	2.01	50.01	10.42	11.4	2.96	2.92	136.21
			10.11	10.8	2.89		
			10.24	11.0	2.91		

ตาราง ๑.4 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตที่สังเคราะห์จากเกลบ ปริมาณตัวดูดซับ 2 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
 เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง (ต่อ)

อัตราส่วนโดยโมล ระหว่างซัลเฟตและ แมกนีเซียมออกไซด์	น้ำหนักของตัว ดูดซับที่ใช้ในการ ทดลอง (g)	น้ำหนักของ น้ำมันที่ใช้ในการ ทดลอง (g)	น้ำหนักของ น้ำมันที่ใช้ใน การไทเทรต (g)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการ ไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของ กรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมัน อิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูด ซับกรดไขมันอิสระ (mg/g)
1.99:1	2.01	50.03	10.42	11.5	2.99	2.93	134.50
			10.25	11.0	2.89		
			10.12	10.8	2.904		

ตาราง ๑.5 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตที่สังเคราะห์จากเกลือซึ่งตกตะกอนด้วยสารละลายไขมันซีรัมในหลอด ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง

อัตราส่วนโดยมวลระหว่างซิลิกาและแมกนีเซียมออกไซด์	น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการไทเทรต (g)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ (mg/g)
ไม่ผ่านการดูดซับ			10.88	11.5	2.86		-
			10.91	11.9	2.95	2.86	
			13.29	13.6	2.77		
3.93:1	1.12	50.59	10.25	9.8	2.60	2.60	117.63
			10.36	10.0	2.61	2.60	
			10.18	9.8	2.60		
3.93:1	1.00	50.10	10.44	10.2	2.65	2.61	123.36
			10.45	10.2	2.64	2.61	
			11.02	10.4	2.55	2.61	
3.93:1	1.06	50.53	10.53	9.4	2.41	2.62	112.28
			10.45	10.4	2.69	2.62	
			11.25	11.5	2.76		

ตาราง ๑.5 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซิติลิกที่สังเคราะห์จากเกลือซึ่งตกตะกอนด้วยสารละลายไขมันในเตรด ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง (ต่อ)

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิติลิกและเมกนีเซียมออกไซด์	น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการไทเทรต (g)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ (mg/g)
3.75:1	1.05	50.60	10.83	10.2	2.55	2.59	129.64
			10.68	10.1	2.56		
			10.16	10.0	2.66		
3.75:1	1.03	50.34	12.50	12.2	2.64	2.59	132.05
			13.22	12.6	2.58		
			12.75	12.0	2.55		
2.73:1	1.00	50.29	10.11	9.4	2.51	2.53	167.77
			10.32	9.4	2.46		
			10.94	10.5	2.59		
2.73:1	1.01	50.06	10.08	9.6	2.57	2.52	165.99
			13.28	12.6	2.56		
			11.12	10.0	2.43		

ตาราง ๑.5 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซัลเฟตที่สังเคราะห์จากเกลือของดักตะกอนด้วยสารละลายเมกนีเซียมไนเตรด
 ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง (ต่อ)

อัตราส่วนโดยโมล ระหว่างซิลิกาและ เมกนีเซียมออกไซด์	น้ำหนักของตัว ดูดซับที่ใช้ในการ ทดลอง (g)	น้ำหนักของ น้ำมันที่ใช้ใน การทดลอง (g)	น้ำหนักของ น้ำมันที่ใช้ในการ ไทเทรต (g)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ ในการไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของ กรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของ กรดไขมันอิสระ โดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับ กรดไขมันอิสระ (mg/g)
2.40:1	1.06	50.30	15.14	13.3	2.38	2.48	174.97
			10.11	9.7	2.59		
			10.62	9.8	2.49		
2.40:1	1.03	50.29	13.25	11.5	2.35	2.49	178.40
			12.23	11.5	2.54		
			12.11	11.6	2.59		
1.99:1	1.06	50.22	10.72	9.9	2.49	2.46	187.76
			10.98	9.6	2.36		
			10.48	9.8	2.52		
1.99:1	1.05	50.32	11.22	10.4	2.51	2.47	185.56
			11.39	10.3	2.44		
			12.10	11.0	2.45		

ตาราง ๑.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยแอมกนิเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากเกลือซึ่งตกตะกอนด้วยสารละลายแอมกนิเซียมซิลิเกต ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาและแอมกนิเซียมออกไซด์	น้ำหนักของดูดซับที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการไทเทรต (g)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ (mg/g)
3.96:1	ไม่ผ่านการดูดซับ	50.71	10.88	11.5	2.86	2.86	-
			10.91	11.9	2.95		
			13.29	13.6	2.77		
	1.06	50.71	11.75	11.6	2.67	2.63	110.14
			11.61	11.5	2.68		
			12.56	11.8	2.54		
3.61:1	1.04	50.06	10.17	10.2	2.71	2.57	141.00
			12.58	10.6	2.49		
			12.59	10.6	2.49		

ตาราง ๑.๖ ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมที่มีขีดจำกัดที่สังเคราะห์จากเกลือของกรดไขมันที่เชื่อมโซ่ฟอสเฟต ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง (ต่อ)

อัตราส่วนโดยมวลระหว่างซิลิกาและเมกนีเซียมออกไซด์	น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง (g)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ (mg/g)
2.91:1	1.00	50.03	10.02	10.7	2.89	2.89	-
			10.21	10.9	2.89		
			10.16	10.9	2.90		
	1.01	50.03	10.26	9.6	2.53	2.60	146.81
			11.11	11.3	2.75		
			10.76	10.0	2.51		
2.69:1	1.01	50.03	10.61	10	2.55	2.58	156.69
			10.22	9.7	2.56		
			10.04	9.7	2.61		

ตาราง จ.7 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกลดระดับด้วยแอมกมีเซียมชนิดกึ่งอิ่มตัวบางส่วนโดยโมเลระหว่างซิติกาต่อแอมกมีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ปริมาณตัวดูดซับ 0.25 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 5, 9 และ 13 ชั่วโมง

เวลาการดูดซับ (ชั่วโมง)	น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการไทเทรต (g)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ (mg/g)
	ไม่ผ่านการดูดซับ	50.09	10.27	10.8	2.84	2.82	-
			10.49	10.4	10.4		
			10.06	10.9	10.9		
5	0.24	50.09	11.12	10.3	2.50	2.52	608.15
			12.04	10.9	2.45		
			11.28	10.9	2.61		
9	0.25	50.02	13.49	12.5	2.51	2.54	572.38
			11.67	11.0	2.55		
			11.45	10.8	2.55		
13	0.25	50.89	10.33	9.9	2.59	2.53	587.57
			10.87	9.8	2.44		
			9.01	8.5	2.55		

ตาราง จ.8 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีอัตราส่วนโดยโมเลระหว่างซิงก้าตอแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ปริมาณตัวดูดซับ 0.5 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 5, 9 และ 13 ชั่วโมง

เวลาการดูดซับ (ชั่วโมง)	น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ดูดซับได้ในเวลา (g)	ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ (mg/g)
	ไม่ผ่านการดูดซับ	10.27	10.8	2.84			
		10.49	10.4	10.4		2.82	-
		10.06	10.9	10.9			
5	0.52	11.12	9.9	2.41			
		11.49	10.7	2.52		2.51	305.06
		10.98	10.5	2.59			
9	0.52	10.95	10.0	2.47			
		11.54	10.8	2.53		2.51	305.41
		11.38	10.6	2.52			
13	0.55	11.24	10.4	2.50			
		10.55	9.8	2.51		2.50	294.23
		10.91	10.0	2.48			

ตาราง จ.9 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิดิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 5, 9 และ 13 ชั่วโมง

เวลาการดูดซับ (ชั่วโมง)	น้ำหนักของตัว ดูดซับที่ใช้ในการ ทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของ ไพเทรต (g)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ ในการไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของ กรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของ กรดไขมันอิสระ โดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับ กรดไขมันอิสระ (mg/g)
	ไม่ผ่านการดูดซับ	50.14	10.27	10.8	2.84	2.82	-
			10.49	10.4	10.4		
			10.06	10.9	10.9		
5	1.02	50.14	12.05	10.5	2.36	2.40	206.23
			11.62	10.4	2.42		
			10.40	9.3	2.42		
9	1.02	50.04	10.87	9.8	2.44	2.41	201.64
			11.86	10.5	2.39		
			11.66	10.3	2.39		
13	1.05	50.02	13.37	11.9	2.41	2.40	200.97
			10.34	9.3	2.43		
			6.45	5.6	2.35		

ตาราง จ.11 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับด้วยแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่มีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิดิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99
 ปริมาณตัวดูดซับ 2 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 5, 9 และ 13 ชั่วโมง

เวลาการดูดซับ (ชั่วโมง)	น้ำหนักของตัว ดูดซับที่ใช้ในการ ทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของ น้ำมันที่ใช้ในการ ไทเทรต (g)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ ในการไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของ กรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของ กรดไขมันอิสระ โดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับ กรดไขมันอิสระ (mg/g)
5	2.03	50.03	10.22	10.7	2.89	2.89	-
			10.21	10.9	2.89		
			10.16	10.9	2.90		
9	2.03	50.16	10.35	9.1	2.36	2.36	132.10
			10.41	9.0	2.34		
			10.68	9.3	2.36		
13	2.05	50.07	10.06	8.6	2.31	2.36	131.24
			10.17	8.8	2.34		
			10.01	9.0	2.43		
13	2.05	50.07	10.50	9.0	2.32	2.36	131.59
			11.28	9.9	2.36		
			10.03	8.8	2.36		

ตาราง จ.12 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบเจือจางด้วยน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กำจัดไขมันที่ถูกดูดซับด้วยเมกนีเซียมซัลเฟตที่มีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซัลเฟตต่อเมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 13 ชั่วโมง

น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการไทเทรต (g)	ปริมาตร 0.25 M NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ (mg/g)
ไม่ผ่านการดูดซับ	50.24	10.72	15.5	0.97	0.98	-
		10.62	15.4	0.98		
		10.43	15.2	0.99		
1.02	50.24	10.15	14.3	0.95	0.94	19.80
		10.66	14.8	0.94		
		10.22	14.1	0.93		
1.03	50.25	10.33	14.3	0.94	0.94	18.67
		10.11	14.0	0.94		
		10.73	15.2	0.96		

ตาราง จ.12 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบเจือจางด้วยน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์กำจัดไขมันที่ถูกดูดซับด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 13 ชั่วโมง (ต่อ)

น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ไทเทรต (g)	ปริมาตร 0.25 M NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ (mg/g)
ไม่ผ่านการดูดซับ	50.05	10.84	26.4	1.65	1.59	-
		10.11	23.0	1.54		
		10.62	25.0	1.59		
1.03	50.05	10.33	21.3	1.39	1.44	75.85
		10.14	22.0	1.47		
		10.27	22.0	1.45		
1.05	50.43	10.11	21.0	1.40	1.41	88.80
		10.45	21.0	1.36		
		10.79	23.2	1.46		

ตาราง ๑.12 ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปลาต้มเดือดด้วยน้ำมันปลาต้มบริสุทธิ์ที่กำจัดไขมันที่ถูกดูดซับด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างซัลเฟตต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาการดูดซับ 13 ชั่วโมง (ต่อ)

น้ำหนักของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการให้ในการทดลอง (g)	น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ในการไทเทรต (g)	ปริมาตร 0.25 M NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต (ml)	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระ	เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิสระโดยเฉลี่ย	ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ (mg/g)
ไม่ผ่านการดูดซับ	50.41	10.34	35.4	2.31	2.22	-
		10.66	33.0	2.09		
		10.67	33.5	2.25		
1.05	50.41	10.03	28.0	1.89	1.92	140.76
		10.37	30.3	1.97		
		10.60	30.0	1.91		
1.03	50.23	10.18	28.7	1.91	1.97	120.43
		10.10	30.0	2.01		
		10.31	30.5	2.00		

ภาคผนวก ฉ
ผลงานทางวิชาการ

TICHE 18

การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและ
เคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18

วันที่ 20-21 ตุลาคม 2551
ณ โรงแรมจอมเทียนปาล์มบีช พัทยา ชลบุรี

www.eg.mahidol.ac.th
www.tiche.org

การดูดซับกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้แมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแกลบ

Adsorption of free fatty acid from crude palm oil using magnesium silicate synthesis from rice husk

วรรษ แพทย์รังษี และ พรสวรรค์ อัครแสวงรัตน์*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร 10520

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลขององค์ประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตในการดูดซับกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยแมกนีเซียมซิลิเกตได้จากการตกตะกอนของสารผสมระหว่างสารละลายโซเดียมซิลิเกตจากแกลบที่เตรียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลกับสารละลายแมกนีเซียมไนเตรด ซึ่งสารละลายแมกนีเซียมไนเตรดที่ใช้มีความเข้มข้น 0.1 1 2 3 และ 4 โมลาร์ เพื่อให้ได้องค์ประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตที่แตกต่างกัน องค์ประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตได้ถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) ผลจากการวิเคราะห์พบว่าแมกนีเซียมซิลิเกตที่ได้มีสัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์ ($\text{SiO}_2:\text{MgO}$) คือ 9.64 3.76 2.74 2.40 และ 1.99 ตามลำดับ เปรียบเทียบความสามารถการดูดซับของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์ได้กับแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า ($\text{SiO}_2:\text{MgO} = 1.59:1$) โดยการนำไปทดสอบการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแมกนีเซียมซิลิเกตที่ได้จากแกลบมีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ โดยแมกนีเซียมซิลิเกตที่มีสัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 2.40 2.74 และ 3.76 ไม่มีความแตกต่างในการดูดซับที่ระยะเวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง โดยสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระอยู่ในช่วง 130-140 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ ในขณะที่แมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า สามารถดูดซับกรดไขมันอิสระประมาณ 70 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ และจากการทดลองหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับของแมกนีเซียมซิลิเกตซึ่งมีสัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกากับแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 3.76 พบว่าตัวดูดซับเข้าสู่สมดุลที่เวลา 5 ชั่วโมง สามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 350 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ เมื่อเทียบกับแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้าแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้าดูดซับได้เพียง 120 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ

1. บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญทั้งการบริโภคภายในประเทศและส่งออกในตลาดโลก จากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรในปี พ.ศ. 2544 ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวเปลือกได้ปีละประมาณ 27 ล้านตัน [1] และเมื่อข้าวเปลือกผ่านการสีแล้ว จะได้ผลผลิตเป็นสองส่วนคือข้าวสารและแกลบ ซึ่งปริมาณแกลบนั้นคิดเป็น 15-20 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณข้าวเปลือก [2] นั่นคือในแต่ละปีประเทศไทยจะมีปริมาณแกลบที่เหลือจากการสีข้าวเปลือกประมาณ 5.4 ล้านตัน จากการศึกษาพบว่าแกลบเป็นแหล่งของซิลิกา โดย

แกลบทั่วไปมีสัดส่วนของซิลิกาประมาณ 13-29 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [3] ส่วนประกอบที่เหลือเป็นสารประกอบออกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ถ้าหากนำแกลบมาเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้จะสลายตัวเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบออกไซด์บางส่วนยังสามารถสลายตัวทางความร้อนได้ ทำให้ได้แกลบที่มีสัดส่วนของซิลิกาที่สูงขึ้น และจากงานวิจัยของ สันติ รัตนวีรนนท์, 2547 [4] พบว่าถ้าแกลบทำปฏิกิริยากับกรดก่อนเผา แกลบที่ได้มีสัดส่วนของซิลิกาที่สูงกว่าแกลบที่ไม่ทำปฏิกิริยากับกรด เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมซิลิกาในแกลบจะมีสัดส่วนสูงถึง 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากข้อมูลดังกล่าวแกลบนั้นมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นแหล่งของซิลิกาที่ใช้เตรียมสารละลายโซเดียมซิลิเกต [4,5] ซึ่งสามารถนำไปสังเคราะห์ ซิลิกอนบริสุทธิ์ [3] แมกนีเซียมซิลิเกต เป็นต้น แมกนีเซียมซิลิเกตนี้เป็นตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดี ใช้ในการดูดซับสิ่งเจือปนในไบโอดีเซล [6] หรือลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน [7]

น้ำมันปาล์มดิบเป็นหนึ่งในน้ำมันที่นิยมนำมาทำไบโอดีเซล แต่ น้ำมันปาล์มดิบมีกรดไขมันอิสระอยู่ประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้ไม่เหมาะสมในการทำไบโอดีเซล ปกติการลดปริมาณกรดไขมันอิสระจะใช้ต่างในการทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระในน้ำมันหรือใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งเป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยากและทำให้สูญเสียน้ำมันไปบางส่วน แต่วิธีการลดกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการดูดซับนั้นเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก แยกตัวดูดซับออกจากน้ำมันง่าย และมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์แมกนีเซียมซิลิเกตจากแกลบ และทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมซิลิกาจากแกลบ

แกลบที่ใช้ในงานวิจัยเป็นแกลบของข้าวพันธุ์ กข ที่ได้จากโรงสีในจังหวัดนครปฐม การเตรียมซิลิกาจากแกลบใช้วิธีการเตรียมของ สันติ รัตนวีรนนท์, 2547 [3] โดยนำแกลบมาต้มในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำแกลบมาล้างน้ำกลั่น จนกระทั่งมี pH ประมาณ 7 จากนั้นนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์จากถ้ำเกลือ

การเตรียมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์จากถ้ำเกลือใช้วิธีการเตรียมของสุธิธา สารเสวก, 2547 [5] โดยนำถ้ำเกลือ 4.4 กรัม มาต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.6 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส จนกระทั่งปริมาตรสารละลายลดลงเหลือ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายมากรองเพื่อแยกถ้ำเกลือที่เหลืออยู่ออก วัดปริมาณซัลไฟด์ที่ละลายในสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ตามวิธีของอินโดร์ตัน กูตระกูล, 2547 [4] สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ที่ได้จากถ้ำเกลือมีปริมาณซัลไฟด์ที่ละลายประมาณ 7.5-7.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.3 การเตรียมแมกนีเซียมซัลไฟด์

การเตรียมแมกนีเซียมซัลไฟด์ทำโดยการนำสารละลายโซเดียมซัลไฟด์จำนวน 50 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลายแมกนีเซียมไนเตรดเข้มข้น 0.1 1 2 3 และ 4 โมลาร์ จำนวน 70 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำตะกอนที่ได้ที่ได้มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดและนำไปกระตุ้นที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 40 นาที

2.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของแมกนีเซียมซัลไฟด์

ตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแมกนีเซียมซัลไฟด์โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescence, XRFs) และตรวจดูความเป็นผลึกของแมกนีเซียมซัลไฟด์โดยวิธีการกระเจิงของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction, XRD)

2.5 การศึกษาดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ

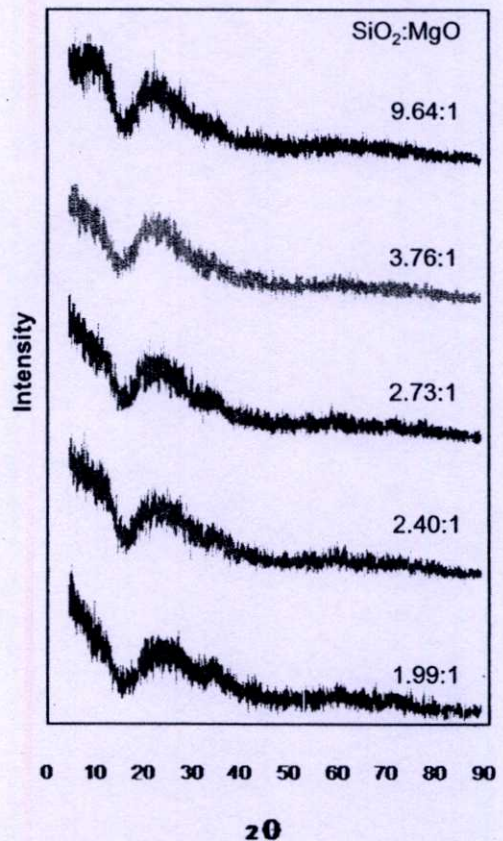
ทำการทดลองศึกษาผลขององค์ประกอบของแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากเกลือที่มีต่อความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ และเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบของแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากเกลือกับแมกนีเซียมซัลไฟด์แมกนีเซียมซัลไฟด์ทางการค้า (Magnesol, The Dallas Group of America) โดยทดลองการดูดซับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ไขมันปาล์มดิบ 50 กรัม ต่อแมกนีเซียมซัลไฟด์ 2 กรัม และแยกตัวดูดซับและน้ำมันปาล์มดิบออกจากกันด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงตะกอนที่ความเร็วรอบ 80 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกดูดซับแล้วมาตรวจวัดปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ตามวิธีของ AOCS. (American Oil

Chemistry Society) [8] เลือกแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากเกลือที่มีความสามารถในการดูดซับดีที่สุดมาทดลองดูดซับที่เวลาต่างๆ เพื่อหาเวลาที่ตัวดูดซับเข้าสู่สมดุล โดยวัดปริมาณกรดไขมันอิสระที่ลดลงทุกๆ 2 ชั่วโมง และเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับที่เวลาสมดุลของการดูดซับกับแมกนีเซียมซัลไฟด์ทางการค้า

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการสังเคราะห์แมกนีเซียมซัลไฟด์

แมกนีเซียมซัลไฟด์ที่ได้จากการตกตะกอนโดยใช้สารละลายแมกนีเซียมไนเตรดเข้มข้น 0.1 1 2 3 และ 4 โมลาร์ ตะกอนที่ได้มีลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของแมกนีเซียมซัลไฟด์ด้วยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอกซ์ แสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 XRD ของแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากเกลือ

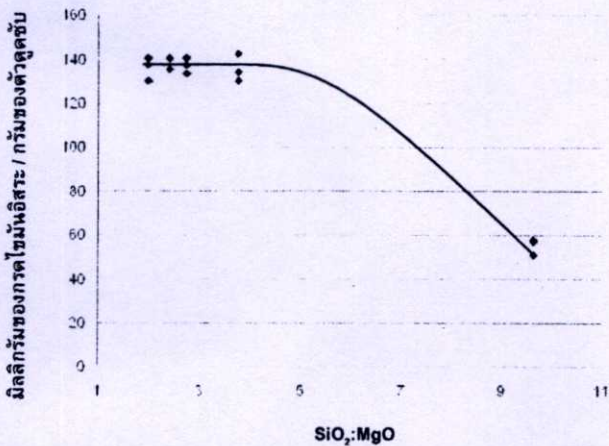
ตารางที่ 1 องค์ประกอบของแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากเกลือและแมกนีเซียมซัลไฟด์ทางการค้า

ความเข้มข้นของแมกนีเซียมไนเตรดที่ใช้ในการตกตะกอน (โมลาร์)	องค์ประกอบ					สัดส่วนโดยโมลระหว่าง SiO ₂ :MgO
	MgO	SiO ₂	NaO	CaO	P ₂ O ₅	
0.1	5.8	83.9	9.8	0.13	0.11	9.64:1
1	14.4	81.2	3.87	0.05	0.23	3.76:1
2	18.6	76.4	4.7	0.06	0.15	2.73:1
3	20.8	75.1	3.72	0.04	0.22	2.40:1
4	23.9	71.6	4.15	0.03	0.18	1.99:1
แมกนีเซียมซัลไฟด์ทางการค้า	28.4	67.9	-	-	-	1.59:1

จากตารางที่ 1 พบว่าความเข้มข้นของสารละลายแมกนีเซียมไนเตรด 0.1 1 2 3 และ 4 โมลาร์ มีผลต่อองค์ประกอบของแมกนีเซียมซิลิเกตที่เตรียมได้ โดยมีว่าสัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ที่ได้ คือ 9.64 3.76 2.74 2.40 และ 1.99 ตามลำดับ

รูปที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์การกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ พบว่าแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์ได้ไม่มีลักษณะพีคที่ชัดเจน ซึ่งแสดงว่าแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ F. Ciesielczyk, 2007 [9] ที่ศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของแมกนีเซียมซิลิเกตที่ได้จากการตกตะกอนของสารผสมระหว่างสารละลายโซเดียมเมตตะซิลิเกตกับสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

3.2 ผลการศึกษาดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ



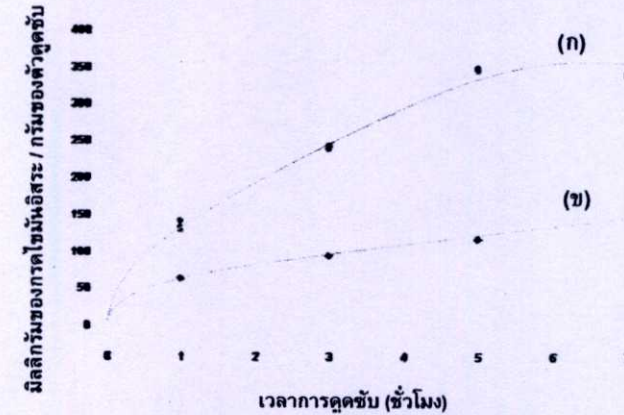
รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับกับสัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ที่เวลาการดูดซับ 1 ชั่วโมง

ผลการศึกษาความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบโดยแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบที่เวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งมีสัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ที่ 1.99 2.40 2.74 3.76 และ 9.64 แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่สัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ 9.64 มีความสามารถในการดูดซับน้อยที่สุด คือสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้เพียง 55 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ และมีความสามารถในการดูดซับที่ใกล้เคียงกันที่ 1.99 2.40 2.74 และ 3.76 คือสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 130-140 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ ส่วนแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้ามีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระที่เวลา 1 ชั่วโมง เท่ากับ 70 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ

การที่ผลการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบที่มีสัดส่วนโดยโมลระหว่างซิลิกาต่อแมกนีเซียมออกไซด์ที่ 1.99 2.40 2.74 และ 3.76 มีค่า

ใกล้เคียงกัน คาดว่าเกิดจากปริมาณตัวดูดซับ 2 กรัม ในน้ำมันปาล์มดิบ 50 กรัม เป็นปริมาณที่ตัวดูดซับแสดงความสามารถในการดูดซับเท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ S. Özgül-Yücel, 2003 [10] ซึ่งทดลองดูดซับกรดไขมันอิสระในไบโอดีเซลโดยใช้แก้วกลมและซิลิกาเจล โดยผลการทดลองการดูดซับกรดไขมันอิสระที่ 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของไบโอดีเซลในเฮกเซน ที่ปริมาณตัวดูดซับ 4 กรัม ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระของแก้วกลมและซิลิกาเจลมีค่าใกล้เคียง แต่หากเป็นที่ปริมาณตัวดูดซับต่ำกว่า 4 กรัม จะแสดงความแตกต่างในความสามารถในการดูดซับหรืออาจเกิดจากที่เวลาในการดูดซับที่ 1 ชั่วโมง ยังไม่ใช่เวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับ จึงส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับที่เวลาดังกล่าวใกล้เคียง และหากเป็นเวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับแล้ว ค่าความสามารถในการดูดซับที่ได้อาจมีความแตกต่างกันมากกว่านี้ ซึ่งความเป็นได้ที่กล่าวมาในขณะนี้อยู่ในระหว่างการศึกษาและทดลองเพิ่มเติม

3.3 ผลการศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลของตัวดูดซับ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับกับเวลาที่ใช้ในการดูดซับของ (ก) แมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ ($\text{SiO}_2:\text{MgO} = 3.76:1$) (ข) แมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า

รูปที่ 3 แสดงผลการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบกับเวลาการดูดซับของแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบ ($\text{SiO}_2:\text{MgO} = 3.76:1$) เปรียบเทียบกับแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า พบว่าตลอดระยะเวลาของการดูดซับแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบมีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าแมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้า และแมกนีเซียมซิลิเกตที่สังเคราะห์จากแคลบเข้าสู่สมดุลของการดูดซับที่เวลา 5 ชั่วโมง โดยสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระประมาณ 350 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ ในขณะที่แมกนีเซียมซิลิเกตทางการค้าสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้เพียง 120 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ

4. สรุปผลการทดลอง

แมกนีเซียมซัลไฟด์ที่สังเคราะห์จากแคลบมีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระสูงในช่วงสัดส่วนโดยโมลระหว่างซัลไฟด์ต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 1.99 2.40 2.74 และ 3.76 โดยที่เวลา 1 ชั่วโมง สามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 140 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ จากการทดลองหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับของแมกนีเซียมซัลไฟด์ที่มีสัดส่วนโดยโมลระหว่างซัลไฟด์ต่อแมกนีเซียมออกไซด์เท่ากับ 3.76 พบว่าตัวดูดซับเข้าสู่สมดุลที่เวลา 5 ชั่วโมง และสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 350 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ ในขณะที่แมกนีเซียมซัลไฟด์เกิดการค้างสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้เพียง 120 มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมวิชาการเกษตร [ระบบออนไลน์]. <http://www.doa.go.th>
- [2] R. V. Krishnarao, J. Subrahmanyam, T.J. Kumar, Studies on the formation of black particles in rice husk silica ash, J. Euro. Ceram. Soc. Vol.21, 2001, 99-104.
- [3] สันติ รัตนวีรนนท์. "เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเตรียมซัลไฟด์จากซีดีแคลบ". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2547

[4] อโนรัตน์ ภูตระกูล. "การเตรียมโซเดียมซัลไฟด์จากซีดีแคลบโดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัล". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2547.

[5] สุธิดา สารเสวก. "การผลิตซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 ขนาดเล็กจากซีดีแคลบ". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2547.

[6] จีรพา วงศ์สิงหระ และ ภัทราภรณ์ หลักทอง. "การศึกษาการดูดซับสิ่งเจือปนในน้ำมันไบโอดีเซล". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2550.

[7] Song Lin, Casimir C. Akoh, A. Estes Reynolds, Recovery of used frying oil with adsorbent combination : re frying and frequent oil replenishment. Food Research International vol.34, 2001, 159-166.

[8] AOCS. Cd 3a-63 : free fatty acid, In: Official Method and Recommended Practices of AOCS, 5th Ed; Illinois: American Oil Chemistry Society 1997.

[9] F. Ciesielczyk, A. Krysztalkiewicz and T. Jesionowski, Physicochemical studies on precipitated magnesium silicates, J. Mater. Sci. vol. 42, 2007, 3831-3840.

[10] S. Özgül-Yücel and S. Türkay, Purification of FAME by Rice Hull Ash Adsorption, J. Am. Oil Chem. Soc. 80, 2003, 373-376.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายวรัช แพทย์รังษี
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 28 มีนาคม 2528
ที่อยู่	120 ซอยเฉลิมพระเกียรติ ร.9 ซอย 4 แขวงหนองบอน เขตประเวศ จ. กรุงเทพฯ 10250 โทร. 086-599-9866
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2549
ผลงานทางวิชาการ	“การดูดซับกรดไขมันอิสระจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ แมกนีเซียมซลิเกตที่สังเคราะห์จากแกลบ” การประชุมวิศวกรรม เคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 18, 2551