

รายงานฉบับสมบูรณ์  
โครงการวิจัยทุนงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ 2552

เรื่อง

การดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มด้วยซิลิกาที่สังเคราะห์

จากเถ้าลอยขานอ้อย

Adsorption of free fatty acid in palm oil by silica synthesized

from bagasse fly ash

ดร. สุราณี เนรมิตตพงษ์

ดร. พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์

นายพิณเทพ เทรษฐโกสิน

นางสาวพุทธชาด จันท์เมือง

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนงบประมาณประจำปี พ.ศ. 2552

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์ซิลิกาจากเถ้าลอยชานอ้อยเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ ซิลิกาถูกสกัดจากเถ้าลอยชานอ้อยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยใช้เวลาในการกวนผสม 1 ชั่วโมง ตกตะกอนซิลิกาด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ นำเจลที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนได้ตัวดูดซับซิลิกา หลังจากนั้นเตรียมตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะด้วยวิธีการเดียวกันแต่เติมสารละลายโลหะในเตรทเพื่อปรับค่าความเป็นกรด-เบส และเผาของแข็งที่ได้ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โลหะที่ศึกษามี 4 ชนิด คือ อะลูมิเนียม เหล็ก นิกเกิล และคอปเปอร์ เมื่อทดลองดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่มีปริมาณของกรดไขมันอิสระ 3.40% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าตัวดูดซับที่มีส่วนผสมของโลหะคอปเปอร์มีความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 405 มิลลิกรัมของกรดไขมันอิสระต่อกรัมของตัวดูดซับ จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับ ซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะเหล็ก นิกเกิล และคอปเปอร์ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ผลวิเคราะห์แสดงปริมาณโลหะปนเปื้อนในน้ำมันปาล์มดิบตามชนิดโลหะที่เติมลงในตัวดูดซับซิลิกา ตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด มีค่าปนเปื้อนของโลหะผ่านมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะคอปเปอร์เกิดความปนเปื้อนของโลหะคอปเปอร์เท่ากับ 0.145 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

RCH

OP

752

F35

7451

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน **116903**

วันเดือนปี... **16 ส.ค. 2554**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีให้นำไปใช้

1232680X  
b.....  
i.....

## ABSTRACT

This research is to synthesis silica from bagasse fly ash to use as an adsorbent for the adsorption of free fatty acid in crude palm oil. Silica gels were prepared from fly ash by stirring with alkaline solution (1 M NaOH) for 1 h followed by acid precipitation (1 M HCl). The silica gels were dried at 100°C to obtain silica. Silica-incorporated metal ion was synthesized with the same method as silica and using an aqueous of metal nitrate in place of hydrochloric acid. The dried silica incorporated metal ion was calcined at 500°C for 3 h. The effect of silica-incorporated metal (aluminum, iron, nickel and copper) ions on the adsorption of free fatty acid from crude palm oil was investigated. The adsorptions of free fatty acid in crude palm oil with initial concentration 3.40 wt% of free fatty acid using silica or silica-incorporated metal ion were carried out in batch stirred reactor at 50°C for 1 h. It has been showed that the silica-incorporated copper had the most effectiveness in reducing free fatty acid. The amount of adsorbed free fatty acid on the silica-incorporated copper was 405 mg/g. The amounts of metal (Fe, Ni and Ni) contamination in palm oil after the adsorption were analyzed by AAS. These three adsorbents permitted the acceptable metal contaminant level according to the code of Ministry of Public Health. The amount of copper ion in palm oil after the adsorption was 0.145 ppm.

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
สารบัญ	III
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ชานอ้อย	4
2.2 น้ำมันปาล์ม	5
2.3 กรดไขมันอิสระ	7
2.4 การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์	8
2.5 การดูดซับ	10
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	15
3.1 การสกัดตัวดูดซับชิลิกาจากเถ้าลอยชานอ้อย	15
3.2 การสังเคราะห์ตัวดูดซับชิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะ	16
3.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบด้วยตัวดูดซับชิลิกาที่สังเคราะห์ได้	19
3.4 การไทเทรตหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันตามวิธีของ AOCS : Ca 5a-40	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 การทดสอบความเป็นเบสของตัวดูดซับ	20
3.6 การวิเคราะห์ความปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำมันปาล์มดิบ	21
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล</b>	<b>23</b>
4.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการสกัดตัวดูดซับซลิคาและความจำเป็นของการล้างสารเจือปนในถ้ำลอยด้วยกรด	23
4.2 การปรับปรุงความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระของตัวดูดซับซลิคาโดยการเติมโลหะ	26
4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ กับ ปริมาณ ไฮดรอกไซด์ไอออนในตัวดูดซับ	28
4.4 การวิเคราะห์ความปนเปื้อนของโลหะในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการดูดซับ	29
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย</b>	<b>31</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย	31
5.2 การออกแบบโรงงานผลิตตัวดูดซับซลิคา	32
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>34</b>
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก ประกาศกระทรวงสาธารณสุข	37
ภาคผนวก ข เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์	42
ภาคผนวก ค บทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตราจารย์	45

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม	6
2.2 ตัวอย่างปริมาณของกรดไขมันอิสระชนิดต่างๆที่พบในพืชและสัตว์	8
4.1 น้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับของตัวดูดซับที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ เท่ากับ 3.47 % โดยน้ำหนัก	23
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวดูดซับที่สกัดจากถั่วลยชานอ้อยด้วยเครื่อง XRF	24
4.3 น้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับของชิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะ	25
4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวดูดซับชิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะด้วยเครื่อง XRF	26
4.5 ผลการวิเคราะห์ความปนเปื้อนของโลหะในน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยเครื่อง AAS	29



# สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่	หน้า
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ กับปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนในตัวดูดซับ	28
5.1 แผนผังอุปกรณ์การผลิตในหน่วยผลิตตัวดูดซับซีลิกา	33



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ขานอ้อยเป็นเศษที่เหลือจากการหีบเอาน้ำอ้อยออกจากต้นอ้อย ต้นอ้อยที่ผ่านการหีบแล้วจะเหลือส่วนที่เป็นเส้นใย ซึ่งเส้นใยส่วนนี้มีปริมาณมาก ทางโรงงานจึงนำไปเผาไหม้เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง หลังจากการเผาไหม้จะทำให้เกิดเถ้าลอยขึ้น จากปริมาณการส่งออกน้ำตาล ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลเป็นอันดับ 3 ของโลกรองจากบราซิลและออสเตรเลีย แสดงถึงปริมาณเถ้าลอยของประเทศไทยนั้นมีเป็นจำนวนมาก การใช้ประโยชน์จากเถ้าลอยที่ผ่านมามีการนำไปใช้เป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ได้ แต่ก็ยังมีมูลค่าต่ำ และเถ้าลอยมีปริมาณมากจนเกินไป จึงต้องกำจัดด้วยการฝังกลบ

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าเถ้าลอยขานอ้อยมีปริมาณซิติกาใกล้เคียงกับเถ้าลอยของแกลบ และมีการนำเถ้าลอยของแกลบมาสกัดซิติกาเพื่อนำไปใช้ในการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ และใช้เป็นตัวดูดซับความชื้นหรือดูดซับสารอื่นๆ [1] รวมทั้งกรดปาล์มิก (Palmytic Acid) ที่เป็นกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม [2] ซึ่งปกติแล้วกระบวนการผลิตน้ำมัน จะต้องมีการกำจัดกรดไขมันอิสระ โดยใช้ความร้อนสูงซึ่งสิ้นเปลืองพลังงาน [3] แต่ซิติกาสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ โดยไม่ต้องการภาวะที่มีอุณหภูมิสูงมาก ดังนั้น หากสามารถสกัดซิติกาจากเถ้าลอยขานอ้อยและทำการสังเคราะห์ปรับปรุงให้มีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระแล้วนำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม ก็จะเป็นลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มในอุตสาหกรรม จึงเป็นการช่วยลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตน้ำมันปาล์ม อีกทั้งยังเพิ่มมูลค่าและลดภาระการฝังกลบเถ้าลอยขานอ้อยจากอุตสาหกรรมน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ศึกษาความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับซิติลิกา และตัวดูดซับซิติลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะ จากถ้ำลอยซานอ้อย เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับในกระบวนการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ เพราะกระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานน้อยกว่ากระบวนการกลั่น การดูดซับจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค

## 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ถ้ำลอยซานอ้อย มีปริมาณของซิติลิกายู่มากและมีปริมาณใกล้เคียงกับในถ้ำลอยของแถบดงนั้นซานอ้อยจึงน่าจะสามารถสกัดซิติลิกายู่ออกมาได้เช่นกัน และเมื่อสามารถสังเคราะห์ตัวดูดซับซิติลิกา เพื่อใช้ในกระบวนการดูดซับกรดไขมันอิสระ ได้แล้ว ก็จะสามารถใช้แทนกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบโดยวิธีการกลั่น ซึ่งใช้พลังงานความร้อนมาก เพราะต้องกลั่นที่อุณหภูมิสูงถึง 270 องศาเซลเซียส [3] แต่กระบวนการดูดซับนั้น ระหว่างกระบวนการดูดซับใช้พลังงานความร้อนน้อยกว่า คือให้ความร้อนน้ำมันดิบให้มีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส เพื่อไม่ให้น้ำมันดิบแข็งตัว

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ซิติลิกาที่สกัดออกมาจากถ้ำลอยนั้น สามารถใช้เป็นตัวดูดซับสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ได้หลายชนิด รวมถึงกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบ ซึ่งเป็นสารอันตรายต่อผู้บริโภค หากสามารถใช้ซิติลิกากำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบได้ กระบวนการดูดซับก็จะเป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตน้ำมันสำหรับบริโภค

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยในการเพิ่มความสามารถการดูดซับกรดไขมันอิสระของซิติลิกา โดยการเติมโลหะอะลูมิเนียมลงในซิติลิกาที่สกัดจากถ้ำลอยซานอ้อย เพื่อให้ซิติลิกาเกิดพันธะกับโลหะนั้น [2] จึงเป็นจุดที่นำศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของโลหะชนิดอื่นๆที่จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับของซิติลิกาได้เทียบเท่า หรือมากกว่าโลหะอะลูมิเนียม โดยโลหะชนิดอื่นนั้นต้องเป็นโลหะที่ทำได้ง่าย และไม่ปนเปื้อนในน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการดูดซับ หรือมีความปนเปื้อนไม่เกินมาตรฐานหรือข้อกำหนดใดๆ โลหะที่เลือกศึกษาจึงมีดังนี้ อะลูมิเนียม เหล็ก นิกเกิล และคอปเปอร์

## 1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 สกัดซิติกาจากเถาลอยซานอ้อย โดยนำเถาลอยซานอ้อยมาจากโรงงานน้ำตาลจังหวัดขอนแก่น

1.5.2 ทดสอบการดูดซับโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ จากบริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด ที่สภาวะอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างตัวดูดซับต่อน้ำมันปาล์มดิบ เป็น 1:25

1.5.3 ปรับปรุงคุณสมบัติของซิติกาที่ได้โดยการเติมโลหะ 4 ชนิด คือ อะลูมิเนียม เหล็ก นิกเกิล และคอปเปอร์

1.5.4 วิเคราะห์องค์ประกอบหรือคุณสมบัติของซิติกาที่สกัดได้และซิติกาที่มีส่วนผสมของโลหะด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF) และ วัดปริมาณโลหะที่เป็นเปื้อนในน้ำมันหลังจากการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)



## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ชานอ้อย [4]

ชานอ้อย คือส่วนของอ้อยที่เหลือภายหลังจากการหีบนำอ้อยออกจากต้นอ้อย ด้วยลูกหีบ เพื่อนำน้ำอ้อยที่ได้ไปผลิตเป็นน้ำตาล ชานอ้อยมีหลายสีแต่โดยทั่วไปจะเป็นสีเหลืองเทาหมองๆ จนถึงสีเหลืองซีด มีลักษณะเป็นคั่นเคาะกะไม่เป็นระเบียบ และมีมากมายหลายขนาดขึ้นกับการบด

ชานอ้อยเป็นเส้นใยธรรมชาติซึ่งจัดเป็นสารประเภทลิกโนเซลลูโลส คือ มีสารประกอบลิกนิน และเซลลูโลส เส้นใยมีลักษณะคล้ายกับเส้นใยของฝ้ายและขนสัตว์ คือมีลักษณะ โครงสร้างขดเป็นวง มีความยาวโดยเฉลี่ยประมาณ 1.0-4.0 มิลลิเมตร และกว้าง 0.010-0.040 มิลลิเมตร ทั้งนี้ลักษณะของเส้นใยขึ้นกับชนิดของชานอ้อย

ชานอ้อยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเส้นใยประมาณ 42 - 43% ความชื้น (Moisture) 46 - 52% และส่วนอื่นๆซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล 2 - 8 % ส่วนประกอบทางเคมีของชานอ้อยประกอบด้วยเซลลูโลส ลิกนิน และสารพอลิเมอร์ธรรมชาติ เซลลูโลสในชานอ้อยเป็นโฮโมพอลิเมอร์ประเภท D-กลูโคส พอลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสประเภท D-ไซเลน และลิกนินเป็นประเภทฟีนอลิกธรรมชาติ

#### ประโยชน์จากชานอ้อย

##### 1. เชื้อเพลิงและการผลิตกระแสไฟฟ้า

ชานอ้อยสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาหม้อน้ำเพื่อผลิตเป็นไอน้ำใช้ในการต้มเคี่ยวน้ำตาล ชานอ้อย (ความชื้นประมาณ 49%) หนัก 1 ตัน จะให้พลังงานความร้อนเทียบเท่าน้ำมันเตา 0.18 ตัน ถ่านหิน 0.26 ตัน ก๊าซธรรมชาติ 0.209 ลูกบาศก์เมตร ไม้ 0.55 ตัน และไอน้ำที่ผลิตได้นำไปชักลากมอเตอร์สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

## 2. ผลิตภัณฑ์กระดาษ

ประเทศที่ริเริ่มนำขานอ้อยมาทำเยื่อกระดาษได้แก่ ประเทศฝรั่งเศส เมื่อปี ค.ศ. 1838 ต่อมาแพร่หลายทั่วไปและสามารถทำกระดาษอัด ไม้อัด หรือพาร์ติเคิลบอร์ด (Particle Board) สำหรับทำเฟอร์นิเจอร์ กระเป๋ากันน้ำ หรือเครื่องใช้อื่นๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรง จำนวนเส้นใย ความต้านทานต่อความชื้นและการผุพัง

## 3. อาหารสัตว์

ขานอ้อยเมื่อทำให้แห้ง (ความชื้นประมาณ 10%) สามารถใช้ผสมกับกากน้ำตาลในอัตราส่วนกากน้ำตาล 70 ส่วนต่อขานอ้อย 30 ส่วน ทำเป็นอาหารสัตว์ได้

## 4. สารเสริมแรงหรือสารเติมแต่ง

ขานอ้อยสามารถใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล โดยนำเส้นใยมาผสมกับพอลิเมอร์เมทริกซ์เพื่อผลิตเป็นพอลิเมอร์คอมพอสิต หรือใช้เป็นสารเติมแต่งผสม เช่น ในการผลิตคอนกรีต ใช้ส่วนผสมขานอ้อย 6 ส่วนต่อปูนซีเมนต์ 1 ส่วน เพื่อให้มีรากากกลาง และเพื่อต่อต้านการทำปฏิกิริยากับสีโป๊ว

## 5. ผลิตถ่านกัมมันต์

ขานอ้อยเป็นวัสดุธรรมชาติที่สามารถนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ได้ โดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง (Carbonization) แล้วจึงกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ )

## 2.2 น้ำมันปาล์ม [5]

น้ำมันปาล์ม ได้จากการนำผลปาล์มมาเข้าเครื่องบีบอัดเพื่อทำการสกัดน้ำมันแล้วจึงนำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้ไปกลั่นเพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มที่มีความบริสุทธิ์ น้ำมันที่สกัดได้จากผลปาล์มสดมี 2 ชนิด คือ ชนิดที่สกัดได้จากชั้นของผล เรียกว่า น้ำมันปาล์ม (Palm Oil) และที่สกัดได้จากชั้นของเนื้อในเมล็ด เรียกว่า น้ำมันเมล็ดปาล์ม (Palm Kernel Oil) ซึ่งในส่วนนี้ไม่นิยมนำมาบริโภค เนื่องจากมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงถึง 85 %

น้ำมันปาล์มบริโภคประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวดังแสดงในตารางที่ 1 น้ำมันปาล์มมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ คือ กรดไขมันชนิดอิ่มตัวและชนิดไม่อิ่มตัว

อย่างละประมาณ 50% ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 พันธะ (Monounsaturated) มีประมาณ 40% และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2 พันธะ (Diunsaturated) มีประมาณ 10%

องค์ประกอบอื่นๆของน้ำมันปาล์มดิบที่มีอยู่ประมาณ 1% ได้แก่ แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) โทโคเฟอรอล (Tocopherols) โทโคไทรอินอล (Tocotrienols) สเตอรอล (Sterol) ฟอสโฟลิพิด (Phospholipids) ไกลโคลิพิด (Glycolipids) เทอเพนิค (Terpenic) อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic Hydrocarbons) และสิ่งเจือปนอื่นๆ

น้ำมันปาล์มจะมีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งของเหลวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ส่วนที่เป็นของแข็งเรียกว่า ปาล์มสเตียรีน (Palm Stearin) และส่วนที่เป็นของเหลวเรียกว่า ปาล์มโอเลอิน (Palm Olein) ในอัตราส่วน 3 ต่อ 7 ทั้งสองส่วนจะถูกแยกออกจากกันเมื่อเข้าสู่กระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ เพื่อให้ได้น้ำมันบริโภค

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม

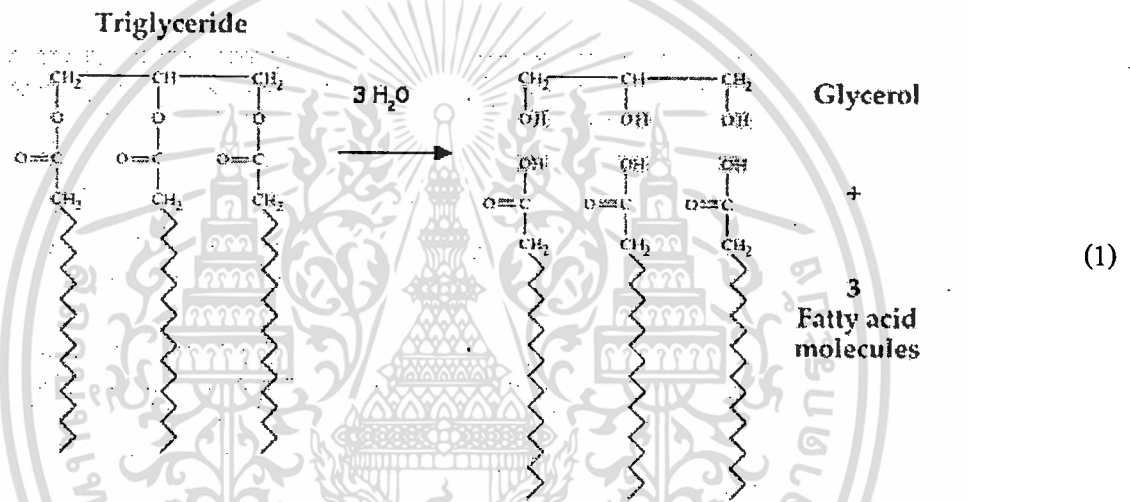
ชื่อสามัญ	ชนิดกรดไขมัน	ปริมาณของกรดไขมัน (%)	
		ช่วง	เฉลี่ย
กรดลอริก	C 12:0	0.1-1.0	0.2
กรดไมริสติก	C 14:0	0.9-15	1.1
กรดปาล์มิติก	C 16:0	41.8-46.8	44.0
กรดปาล์มิโตเลอิก	C 16:1	0.1-0.3	0.1
กรดสเตียริก	C 18:0	4.2-5.1	4.5
กรดโอเลอิก	C 18:1	37.3-40.8	39.2
กรดไลโนเลอิก	C 18:2	9.1-11.0	10.1
กรดไลโอเลอิก	C 18:3	0.0-0.6	0.1
กรดอาราซิติค	C 20:0	0.2-0.7	0.4

หมายเหตุ C 12:0 หมายถึง กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน (C) 12 อะตอม ไม่มีพันธะคู่ C 16:1 หมายถึงกรดไขมันที่มีจำนวน C 16 อะตอม มีพันธะคู่ 1 พันธะ

น้ำมันปาล์ม โอเลอินจะมีสมบัติดีกว่าน้ำมันบริโภคอื่นๆ ในการปรุงอาหาร เนื่องจากน้ำมันปาล์มโอเลอิน มีกรดไลโอเลนิกและกรดไลโนเลอิก ซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายในปริมาณต่ำ และมีโทโคเฟอรอล ซึ่งเป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ที่จะช่วยให้อาหารที่ทอดสามารถเก็บไว้ได้นาน

### 2.3 กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid : FFA)

กรดไขมันอิสระจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำมันทำปฏิกิริยากับน้ำ น้ำมันจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ เอนไซม์ [6] ดังสมการที่ (1)



กรดไขมันอิสระจะรบกวนการทำงานของอวัยวะในระบบตับอ่อน ระบบกล้ามเนื้อต่างๆ ผิดปกติ ทำให้การตอบสนองต่ออินซูลินลดลง เกิดเบาหวาน และทำให้เกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ส่งผลเสียต่อสุขภาพ [7] นอกจากนี้การทอดอาหารที่มีความชื้นสูง ความชื้นในอาหารจะเร่งการเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำมันดังสมการที่ (1) ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเช่นกัน [8]

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันที่ได้จากแหล่งที่ต่างกัน จะมีชนิดและปริมาณของกรดไขมันอิสระไม่เท่ากัน เช่น น้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิสระชนิดกรดปาลมิติกสูงที่สุด คือ 42-44% ของปริมาณของกรดไขมันอิสระทั้งหมดในน้ำมันปาล์ม แต่น้ำมันมะพร้าวมีกรดปาลมิติกเพียง 9-10% ในขณะที่มีกรดลอริกสูงถึง 46-47%

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างปริมาณของกรดไขมันอิสระชนิดต่างๆที่พบในพืชและสัตว์ [6]

ชนิดของน้ำมัน	ปริมาณของกรดไขมันอิสระชนิดต่างๆที่พบ (%)					
	บริดจ์ ๒๔	บริดจ์ ๒๕	บริดจ์ ๒๖	บริดจ์ ๒๗	บริดจ์ ๒๘	บริดจ์ ๒๙
น้ำมันมะพร้าว	46-47	17-20	9-10	-	-	-
น้ำมันปาล์ม	-	-	42-44	39-40	10	-
สบู่ดำ	-	-	14-15	34-45	31-43	-
ไขวัว	-	-	25-38	40-50	-	15-28

## 2.4 การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ [3]

หลังจากสกัด หรือบีบน้ำมันออกมาจากวัตถุดิบแล้ว จะต้องนำน้ำมันดิบมาผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์เพื่อให้เหมาะสมในการใช้บริโภคและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ไขมันต่างๆ ได้แก่ การกำจัดสารเหนียว กรดไขมันอิสระ สารที่ให้สีและกลิ่น รวมทั้งการแยกส่วนเพื่อแยกสเตอริน (Stearine) ซึ่งเป็นไขมันอิ่มตัวที่ตกผลึกได้ที่อุณหภูมิต่ำออก

วิธีการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์มีขั้น 5 ตอนดังนี้

### 2.4.1 การกำจัดสารเหนียว (Degumming)

การกำจัดสารเหนียวเป็นกระบวนการแยกสารซึ่งมีลักษณะเป็นยางเหนียว (Gummy) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบฟอสฟาไทด์ซึ่งมีทั้งประเภทที่เมื่อเติมน้ำแล้วเกิดสภาพไฮเดรต (Hydrate) ได้ง่ายคือ เกิดปฏิกิริยากับน้ำ กลายเป็นไลโซ-เลซิทีน (Lyso-lecithin) แล้วตกตะกอนซึ่งแยกออกโดยการเหวี่ยงแยกขางเหนียวที่แยกได้นำไปใช้ผลิตเลซิทีน (Lecithin) ฟอสฟาไทด์อีกส่วนหนึ่งเป็นประเภทที่ไม่ไฮเดรตกำจัดโดยเติมกรดฟอสฟอริก สารฟอสฟาไทด์นี้ถ้าไม่กำจัดออกจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของน้ำมันเมื่อเก็บไว้นาน และทำให้เกิดฟองเมื่อใช้ที่อุณหภูมิสูง

#### 2.4.2 การทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีทางเคมีหรือการใช้เบส (Alkali หรือ Chemical Refining)

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการแยกกรดไขมันอิสระออกโดยใช้สารละลายเบส (Caustic Soda) ทั้งนี้เพราะผลหรือเมล็ดในระหว่างการสุกแก่หรือหลังการสกัดน้ำมัน เอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์ไขมันจะทำงานจึงทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ ปริมาณและความเข้มข้นของค่าขึ้นกับปริมาณกรดไขมันอิสระและชนิดน้ำมันจากปฏิกิริยาจะได้สบู่ซึ่งแยกออกได้โดยการกรองหรือหมุนเหวี่ยง ใช้น้ำล้างน้ำมันเพื่อกำจัดสบู่ที่ตกค้างออกให้หมดแล้วอบไล่ให้เหลือความชื้นไม่เกิน 0.3%

#### 2.4.3 การฟอกสี (Bleaching)

การฟอกสีเป็นกระบวนการแยกสารที่ให้สี ได้แก่ พวกรงควัตถุ (Pigments) คือคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) กอสซิพอล (Gossypol) และ แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ออกจากน้ำมันโดยทำให้น้ำมันร้อน แล้วผ่าน ไปบนสารที่มีสมบัติในการดูดซับสารให้สี อาจเป็นถ่านฟอกสี (Charcoal) หรือ ดินฟอกสี (Activated Clay หรือ Bleaching Earth) และอาจทำที่ความดันบรรยากาศหรือใช้ระบบสุญญากาศ

#### 2.4.4 การกำจัดกลิ่น (Deodorization)

การกำจัดกลิ่นเป็นขั้นตอนกำจัดเพอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ และสารที่ให้กลิ่นอันเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการสกัดและเก็บรักษาน้ำมันดิบเพื่อให้ได้น้ำมันที่ปราศจากกลิ่นและรส ใช้วิธีกลั่นด้วยไอน้ำภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 190 ถึง 240 องศาเซลเซียส การใช้ความร้อนสูงสามารถทำลายรงควัตถุ โดยเฉพาะพวก แคโรทีนอยด์ ช่วยให้น้ำมันมีสีอ่อนลงด้วย อาจใช้ Deodorization เพื่อกำจัดกรดแทนการใช้สารเคมีที่เรียกว่า Physical Refining โดยใช้อุณหภูมิสูงกว่าการกำจัดกลิ่น คือประมาณ 270 องศาเซลเซียส วิธีนี้นอกจากจะใช้กับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูง เช่น น้ำมันปาล์ม แล้ว ยังสามารถที่จะนำไปใช้กับน้ำมันพืชโดยทั่วไปได้เพราะเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้สารเคมี

#### 2.4.5 การแยกส่วน (Fractionation and Winterization)

การแยกส่วนเป็นกระบวนการทางกายภาพเพื่อแยกสารที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันออกจากกัน มี 3 วิธีคือ

1. การแยกส่วนแบบแห้ง (Dry Fractionation) ลดอุณหภูมิทิ้งไว้ให้เกิดผลึกแล้วกรองส่วนของแข็งคือ สเตียริน ออกจากส่วนโอเลอิน (Olein) วิธีนี้อาจเป็นการลดอุณหภูมิให้เย็นลง (Winterization) คือทำเพื่อแยกเฉพาะสเตียรินที่มีจุดหลอมเหลวสูงที่มีเพียงส่วนน้อยออก นิยมใช้กับน้ำมันเมล็ดฝ้าย หรือ การกำจัดไข (Dewaxing) เช่น การแยกไขรำข้าวเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันมีลักษณะขุ่นที่อุณหภูมิต่ำ

2. การแยกส่วนแบบแลนซา (Lanza Fractionation) เติมสารลดแรงตึงผิวลงไปช่วยให้เกิดการแขวนลอยของผลึกไขมัน แยกผลึกออกโดยการหมุนเหวี่ยงใช้ในการแยกส่วนไขมันจากสัตว์

3. การแยกส่วนด้วยตัวทำละลาย (Solvent Fractionation) การใช้ตัวทำละลายเพื่อเจือจางไขมันช่วยให้เกิดการแยกส่วนได้ดีขึ้นเมื่อนำน้ำมันให้เย็นลง ตัวทำละลายที่นิยมใช้ได้แก่เอซีโตน เฮกเซน และ 2-โนโตรโพรเพน ตัวอย่างเช่น การใช้เฮกเซนในการแยกส่วนน้ำมันปาล์ม

## 2.5 การดูดซับ (Adsorption) [10,11]

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการแยกตัวถูกละลายออกจากก๊าซหรือของเหลวด้วยการดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ (Adsorbent) ที่เป็นของแข็ง กระบวนการดูดซับที่ในอุตสาหกรรมนิยมใช้ตัวดูดซับที่มีขนาดอนุภาคเล็กบรรจุในหอบรรจุ และให้ของไหลไหลผ่านเบดของตัวดูดซับนั้น ตัวถูกละลาย (Adsorbate) จะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของตัวดูดซับ เมื่อเบดใกล้จะอิ่มตัวแล้วจะหยุดการทำงานของเบดนั้น ด้วยการหยุดป้อนของไหลเข้าในระบบ และทำให้ตัวดูดซับคืนสภาพด้วยกระบวนการให้ความร้อนหรือวิธีอื่น เพื่อทำให้เกิดการคาย (Desorption) เมื่อทำการคืนสภาพแล้ว ตัวดูดซับสามารถนำมาใช้งานซ้ำได้อีกครั้ง

### ประเภทของตัวดูดซับ (Adsorbent)

1. สารอนินทรีย์ ได้แก่ ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ แอคติเวเตดซิลิกา (Activated Silica) เป็นต้น สารธรรมชาติมักมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50 - 200 ตารางเมตรต่อกรัม แต่ตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์นี้สามารถจับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้มีการใช้ประโยชน์จากตัวดูดซับประเภทสารอนินทรีย์มีข้อจำกัดมาก

2. ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) อาจจัดเป็นสารอนินทรีย์สังเคราะห์แต่เป็นตัวดูดซับที่ดีกว่าสารอนินทรีย์ชนิดอื่นๆ จึงเป็นที่นิยมกันมากเนื่องจากเป็นถ่านที่ผ่านการกระตุ้นเพื่อให้ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พรุนมากและมีพื้นที่ผิวภายในสูง โดยทั่วไปมีพื้นที่ประมาณ 450 - 1,500 ตารางเมตรต่อกรัมและมีขนาดรูพรุนตั้งแต่ 10 - 10,000 อังสตรอม ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากชิ้นส่วนของพืชและสัตว์ จะมีแร่ธาตุที่เป็นอันตรายน้อยกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหิน

3. สารอินทรีย์สังเคราะห์ ได้แก่เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Resin) สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300 - 500 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งถือว่ามีความต่ำเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ แต่สามารถปรับสภาพนำมาใช้ใหม่ได้ง่ายกว่า คือสามารถปรับสภาพใหม่ (Regeneration) ได้ง่ายและสารที่ใช้มีราคาถูก

### รูปแบบของการดูดซับ

รูปแบบของการดูดซับแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. กระบวนการดูดซับทางกายภาพ (Physisorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับยึดติดกับผิวตัวดูดซับโดยแรงแวนเดอร์วาลส์ที่อ่อน (Weak Van Der Waal's Force) เรียกกระบวนการดูดซับนี้ว่า การดูดซับ (Adsorption) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้ (Reversible Process) ส่วนกระบวนการที่ตัวดูดซับหลุดออกจากผิวตัวดูดซับ เรียกว่า Desorption โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่ซ้อนกันเป็นหลายชั้น เรียกว่า Multilayer

2. กระบวนการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับยึดติดกับผิวของตัวดูดซับโดยพันธะเคมีที่แข็งแรง ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์และยากต่อการเกิด Desorption การดูดซับทางเคมีนี้โมเลกุลตัวถูกดูดซับเกาะอยู่บนผิวตัวดูดซับในลักษณะที่เป็นชั้นเดียว เรียกว่า Monolayer

### ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

#### 1. สมบัติของตัวดูดซับ

พื้นที่ผิวและ โครงสร้างของรูพรุน พื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับรูพรุน หากรูพรุนมีมากทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมาก ความสามารถในการดูดซับก็จะมากขึ้น การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อ โมเลกุลของตัวดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย หากรูพรุนมีมากแต่มีขนาดเล็กหรือรูพรุนมีขนาดใหญ่แต่ปากรูพรุนมีขนาดเล็ก ก็ไม่ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น

## 2. สมบัติของสารที่ดูดซับ

ความสามารถในการละลาย สารที่มีความสามารถในการละลายสูงจะถูกดูดซับได้น้อย เนื่องจากก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับจะต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายก่อนที่จะเกิดการดูดซับ ซึ่งถ้าไม่มีการทำลายพันธะก็จะไม่สามารถเกิดการดูดซับได้

น้ำหนักและขนาดของ โมเลกุล ถ้าน้ำหนักโมเลกุลและขนาด โมเลกุลของสารที่ดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น และ โมเลกุลที่มีโครงสร้างแบบกิ่ง (Branched Chain) จะถูกดูดซับ ได้ดีกว่า โมเลกุลที่เป็นเส้นตรง (Straight Chain)

## 3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การดูดซับขึ้นกับสภาพความเป็นขั้วของพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น หาก pH ลดลง ส่งผลให้เกิดไฮโดรเนียมไอออน ( $H_3O^+$ ) ที่พื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้กระบวนการดูดซับไอออนลบเกิดได้มากขึ้น

## 4. อุณหภูมิ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังรูพรุนของตัวดูดซับเร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่าง โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับลดลง

## 5. เวลาสัมผัส

เวลาสัมผัสเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ ในการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาที่ใช้ในการสัมผัสต้องเหมาะสมที่จะทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ดีที่สุด ทั้งนี้ก็จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ และสารถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาในระดับปฏิบัติก่อนนำไปใช้จริง

สมการที่ใช้ในการทำนายกลไกของการดูดซับ สามารถบอกให้ทราบได้ว่า ประสิทธิภาพของกระบวนการดูดซับมีค่าเท่าใด ซึ่งในการหาค่าประสิทธิภาพของกระบวนการต้องทำการควบคุมอุณหภูมิของของไหลให้มีค่าคงที่ ดังนั้นสมการที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการดูดซับระหว่างปริมาณของสารดูดซับ และสารที่ถูกดูดซับ จึงเรียกว่า ไอโซเทอร์ม (Isotherm) ซึ่งมีใช้งานอยู่ 3 แบบ คือ

1. ฟรอนด์ลิค (Freundlich Isotherm) เป็นไอโซเทอร์มในรูปแบบการยกกำลัง
2. แลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) เป็นไอโซเทอร์มที่ได้จากการจัดรูปสมการการคำนวณค่าคงที่สมดุลระหว่างพื้นผิวหน้าของตัวดูดซับที่ว่างเปล่า กับพื้นผิวหน้าที่อิ่มตัว ซึ่งคิดค้นได้โดย Irving Langmuir
3. บีอีทีหรือเบท (Brunauer-Emmett-Teller Isotherm: BET Isotherm) พัฒนาจาก Langmuir Isotherm ซึ่งตั้งสมมติฐานให้การดูดซับเป็นแบบผิวหน้าชั้นเดียว (Monolayer) เป็นผิวหลายชั้น (Multilayer)

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kalapathy Proctor และ Shultz [1] ได้เสนอการสกัดซิติกาจากถั่วลันเตาของเมล็ดข้าว ด้วยวิธีง่ายๆ โดยการนำเข้าไปปั่นลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเพื่อกำจัดไอออนบางชนิดออกก่อนนำไปต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วทำการตกตะกอนซิติกาด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะได้ซิติกาในรูปแบบ Xerogel ซึ่งเมื่อนำไปล้างด้วยน้ำ แล้วอบแห้งอีกครั้ง จะได้ซิติกาที่มีความบริสุทธิ์ 91% โดยมีความชื้น 2.6%

จากการทดลองของเขา พบว่า การล้างกรดนั้น ให้ปรับให้ค่า pH เท่ากับ 1 จะช่วยในการกำจัดไอออนเหล็ก แมงกานีส และแคลเซียมได้ดีที่สุด แต่การล้างกรดไม่มีผลต่อปริมาณซิติกาที่สกัดได้ ปริมาณซิติกาที่สกัดได้นั้น จะขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ จะได้ซิติกาประมาณ 91% และจะได้ปริมาณซิติกาลดลงถ้าความเข้มข้นลดลง นอกจากนั้น การล้าง Xerogel ก่อนอบแห้งอีกครั้ง จะช่วยกำจัดไอออน โซเดียมและไอออนโพแทสเซียมได้มาก

Moonjung Kim และคณะ [11] ได้ทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันถั่วเหลือง ด้วยตัวดูดซับ 5 ชนิด คือ ถั่วลันเตาจากฟางข้าวที่เกิดจากการเผาที่อุณหภูมิ 300 500 700 และ 900 องศาเซลเซียส โดยเรียกว่า RHA300 RHA500 RHA700 และ RHA900 และซิติกาที่สกัดจาก RHA500 เรียกว่า RHS500 (โดยใช้วิธีของ Kalapathy Proctor และ Shultz) พบว่า RHA500 และ RHS500 มีประสิทธิภาพในการดูดซับกรดไขมันอิสระใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงที่สุด

Farook Adam และ Joo-Hann Chua [2] ทำการสังเคราะห์ซิลิกาที่มีอะลูมิเนียมซึ่งสังเคราะห์จากเถ้าแกลบที่เกิดจากการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีโซลเจล ได้เป็น RHS-AI และนำส่วนหนึ่งไปเผา (Calcination) ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ส่วนที่ผ่านการเผาแล้วเรียกว่า RHS-AI (C) จากการวิเคราะห์ด้วย XRD พบว่าตัวดูดซับทั้งสองชนิดมีอัตราส่วนกับซิลิกากับอะลูมิเนียมเป็น 4:1 จากนั้น ทดลองนำไปดูดซับกรดไขมันอิสระ โดยใช้กรดปาล์มิติก (Palmytic Acid) เติมลงในไอโซออกเทน ให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.5096 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อนำไปทดลองการดูดซับกรดไขมันอิสระ พบว่า RHS-AI (C) มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่า โดยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส RHS-AI มีค่าน้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ เท่ากับ 16.64 มิลลิกรัมต่อกรัม และ RHS-AI (C) มีค่าน้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับเท่ากับ 21.51 มิลลิกรัมต่อกรัม



## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 การสกัดตัวดูดซับซิติลิกจากเถาลอยซานอ้อย

ในขั้นตอนนี้ จะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการสกัดซิติลิกจากเถาลอยซานอ้อย โดยวิธีสกัดอย่างง่าย [1] รวมถึงศึกษาถึงความจำเป็นในการล้างเถาลอยด้วยกรดเพื่อกำจัดสารเจือปนอื่นๆ

##### 3.1.1 สารเคมีและอุปกรณ์

###### 3.1.1.1 สารเคมี

1. เถาลอยซานอ้อย
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 6 โมลาร์
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 โมลาร์
4. น้ำกลั่น

###### 3.1.1.2 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. กระบอกตวงขนาด 200 มิลลิลิตร
3. หลอดหยด
4. เครื่องปั่นกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
5. กระดาษวัดค่า pH
6. ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ
7. กระดาษกรอง Whatman No. 41
8. เครื่องเหวี่ยงแยกหนีศูนย์กลาง

###### 3.1.1.3 เครื่องมือวิเคราะห์

1. X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF) เพื่อศึกษาปริมาณโลหะในเถาลอยและตัวดูดซับซิติลิกที่สกัดได้

### 3.1.2 ขั้นตอนการสกัดตัวดูดซับซิติกา

#### 3.1.2.1 การล้างเถ้าลอยด้วยกรด

1. ผสมเถ้าลอย 10 กรัม ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 60 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 1 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 6 โมลาร์ ปั่นกวน 2 ชั่วโมง
2. นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman No. 41) ล้างเถ้าลอยด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เก็บส่วนเถ้าลอยเอาไว้

#### 3.1.2.2 การสกัดซิติกาจากเถ้าลอย

1. นำเถ้าลอยที่ไม่ได้ผ่านขั้นตอนล้างกรด หรือผ่านการล้างกรดแล้ว ผสมลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ปั่นกวนที่อุณหภูมิ 70 ถึง 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman No. 41) ล้างเถ้าลอยด้วยน้ำร้อน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เก็บส่วนของเหลวเอาไว้
3. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นตัวลงถึงอุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ จนมี pH เท่ากับ 7
4. ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 18 ชั่วโมงให้เกิดเป็นเจล
5. เติมน้ำ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และคนให้เจลละลาย นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง เหวี่ยงแยกที่ 2,500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที เพื่อแยกน้ำออกจากซิติกาเจล
6. อบเพื่อไล่น้ำที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำซิติกาที่ได้ ออกมาทิ้งไว้ให้เย็นและบดสารให้ละเอียด
7. นำเถ้าลอยและซิติกาไปทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาปริมาณของโลหะเจือปน โดยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF)

### 3.2 การสังเคราะห์ตัวดูดซับซิติกาที่มีส่วนผสมของโลหะ

จากงานวิจัยของ Farook Adam และคณะ [2] พบว่าการเติมโลหะอะลูมิเนียม และการทำ Calcination ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระของซิติกาได้ ในขั้นตอนนี้ จึงเป็นการศึกษาชนิดของโลหะที่จะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของซิติกาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1 สารเคมีและอุปกรณ์

#### 3.2.1.1 สารเคมี

1. แก๊สลอยฆานอ้อย
2. สารละลายกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) ความเข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ความเข้มข้น 2 โมลาร์
4. อะลูมิเนียมไนเตรต ( $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ )
5. เฟอร์รัสไนเตรต ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ )
6. นิกเกิลไนเตรต ( $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )
7. คอปเปอร์ไนเตรต ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )
8. น้ำกลั่น

#### 3.2.1.2 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 4 ใบ
3. กระจกตวงขนาด 200 มิลลิลิตร
4. หลอดหยด
5. เครื่องปั่นควมแม่เหล็กไฟฟ้า
6. กระดาษวัดค่า pH
7. ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ
8. กระดาษกรอง (Whatman No. 41)

#### 3.2.1.3 เครื่องมือวิเคราะห์

1. X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF) เพื่อศึกษาปริมาณโลหะในแก๊สลอยและตัวดูดซับชนิดิกที่สกัดได้

### 3.2.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะ

#### 3.2.2.1 การล้างเถ้าลอยด้วยกรด

1. ผสมเถ้าลอย 40 กรัม ลงใน สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ปั่นกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman No. 41) ล้างเถ้าลอยด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เก็บส่วนเถ้าลอยเอาไว้
3. นำเถ้าลอยที่กรองได้ ไปอบเพื่อไล่น้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

#### 3.2.2.2 การเตรียมสารละลายกรดไนตริกที่มีส่วนผสมของโลหะ

1. เตรียมสารละลายกรดไนตริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 800 มิลลิลิตร แบ่งเป็น 4 ส่วน ส่วนละ 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ 4 ใบ
2. ละลายอะลูมิเนียมไนเตรด ลงในสารละลายกรดไนตริกที่แบ่งไว้ 1 บีกเกอร์ เป็นปริมาณ 2.5 มิลลิโมล คิดเป็นน้ำหนัก 0.944 กรัม
3. ละลายโลหะไนเตรดที่เหลือ 3 ชนิด คือ เฟอรัสไนเตรด นิกเกิลไนเตรด และ คอปเปอร์ไนเตรด ลงในสารละลายกรดไนตริก ความเข้มข้น 3 โมลาร์ชนิดละ 1 บีกเกอร์ เป็นปริมาณ 2.5 มิลลิโมล คิดเป็นน้ำหนัก 1.017 0.732 และ 0.608 กรัมตามลำดับ

#### 3.2.2.3 การสังเคราะห์ตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะ

1. นำเถ้าลอยที่ผ่านการล้างกรดแล้ว ผสมลงในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ปั่นกวนที่อุณหภูมิปกติ เป็นเวลา 18 ชั่วโมง
2. นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman No. 41) ล้างเถ้าลอยด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เก็บส่วนของเหลวเอาไว้
3. แบ่งของเหลวที่ได้เป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน จากนั้นเติมสารละลายกรดไนตริกที่มีส่วนผสมของโลหะที่เตรียมได้จากข้อ 3.2.2.2 ทั้ง 4 ชนิด ลงในของเหลวที่แบ่งไว้ (ด้วยกรด 1 ชนิด ต่อของเหลว 1 ส่วน) จนของเหลวมีค่า pH เท่ากับ 1

4. ตั้งทิ้งไว้ 6 วัน จะมีตะกอนสีส้มแดงเกิดขึ้น กรองออกทั้งหมดด้วยกระดาษกรอง (Whatman No. 41) แล้วนำของเหลวมาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 โมลาร์ จนของเหลวมีค่า pH เท่ากับ 2 หรือ 3 ทำให้ครบทั้ง 4 ส่วน
5. ตั้งทิ้งไว้ อีก 6 วัน ให้เกิดเป็นเจล
6. คนให้เจลละลาย นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman No. 41) เพื่อแยกน้ำออกจากเจล
7. อบเพื่อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะที่ได้ออกมาทิ้งไว้ให้เย็นและบดสารให้ละเอียด
8. เเป่าตัวดูดซับซิลิกาที่อบแห้งแล้วที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
9. นำตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะทั้ง 4 ชนิด ไปทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาปริมาณของโลหะเจือปน โดยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF)

### 3.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบด้วยตัวดูดซับซิลิกาที่สังเคราะห์ได้

อุ่นน้ำมันปาล์มดิบให้ละลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นำน้ำมันปาล์มดิบที่ละลายแล้ว ปริมาณ 12.5 กรัม เติลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ผสมตัวดูดซับปริมาณ 0.5 กรัม ลงในน้ำมัน ปั่นกวนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แบ่งน้ำมันที่ผ่านการดูดซับแล้วปริมาณ 5 กรัม มาทดสอบหาปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยการไทเทรต ตามวิธีของ American Oil Chemists' Society (AOCS) Ca 5a-40 [2]

### 3.4 การไทเทรตหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันตามวิธีของ AOCS : Ca 5a-40

#### 3.4.1 Blank Titration

เตรียมสารละลายไอโซโพรพานอลปริมาตร 50 มิลลิลิตร หยอดสารละลายฟีนอล์ฟทาเลิน ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนสารมีสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

#### 3.4.2 การไทเทรตน้ำมันดิบด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

นำน้ำมันปาล์มดิบปริมาณ 5 กรัม เจือจางในสารละลายไอโซโพรพานอลปริมาตร 50 มิลลิลิตร หยอดสารละลายฟีนอล์ฟทาเลิน ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ จนสารมีสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

#### 3.4.3 การคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน

การคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ ใช้สมการดังนี้

$$\% \text{ FFA} = \frac{(v - b) \times N \times \text{MW}}{10w} \quad (2)$$

โดยที่	v	ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ทั้งหมด (มิลลิลิตร)
	b	ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในขั้นตอน Blank Titration (มิลลิลิตร)
	N	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลาร์)
	MW	มวลโมเลกุลกรดไขมันอิสระ โดยเฉลี่ย (น้ำมันปาล์มมีค่าประมาณ 270)
	w	น้ำหนักน้ำมันที่ใช้ (กรัม)

### 3.5 การทดสอบความเป็นเบสของตัวดูดซับ

#### 3.5.1 สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 3.42 โมลาร์
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.001 โมลาร์
3. สารละลายฟีนอล์ฟทาเลิน
4. ตัวดูดซับที่จะทดสอบ
5. น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร
3. บิวเรต
4. กรวยแก้ว
5. เครื่องปั่นกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
6. กระดาษฟอยล์
7. กระดาษวัดค่า pH
8. กระดาษกรอง

### 3.5.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. อบโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 20 กรัม ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
2. ละลายโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณ 14 กรัม ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 70 มิลลิลิตร เพื่อให้ได้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 3.42 โมลาร์ แบ่งสารละลายลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
3. เติมน้ำกลั่นปริมาณ 0.2 กรัม ลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่แบ่งไว้ ใช้กระดาษปิดฝาบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟอยล์ ปั่นกวนเป็นเวลา 30 ชั่วโมง
4. กรองสารละลายที่ได้ หยดฟีนอล์ฟทาลีน นำไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.001 โมลาร์ จนถึงจุดยุติ ขึ้นย่นค่า pH เท่ากับ 7 ด้วยกระดาษ pH บันทึกรายการสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

## 3.6 การวิเคราะห์ความปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำมันปาล์มดิบ

### 3.6.1 สารเคมี

1. น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการคูดซบแล้ว
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น
3. สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น
4. น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.2 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. เครื่องปั่นกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
3. เตาเผา

### 3.6.3 เครื่องมือวิเคราะห์

1. Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) เพื่อศึกษาปริมาณปรอทในป้อนโลหะของน้ำมันปลาล์มดิบที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะ

### 3.6.4 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำน้ำมันที่ผ่านการดูดซับปริมาณ 2 กรัม ไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. นำเถ้าที่ได้จากการเผา ผสมลงในสารผสมระหว่างสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ปริมาตร 20 มิลลิลิตร สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ ปิดฝาบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา
3. อุ่นสารที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
4. กรองสารละลายเพื่อกำจัดเถ้าที่ไม่ถูกย่อย เจือจางสารละลายที่ได้ด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเท่ากับ 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดลองนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการสกัดตัวดูดซับซัลฟิดาจากถ้ำลอยซานฮ้อย และความจำเป็นของการล้างสารเจือปนในถ้ำลอยด้วยกรด โดยเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระของตัวดูดซับ ชนิดของตัวดูดซับที่ศึกษาคือ ถ้ำลอย ตัวดูดซับซัลฟิดาที่ไม่ผ่านการล้างกรด และตัวดูดซับซัลฟิดาที่ผ่านการล้างกรด โดยใช้วิธีการสกัดตัวดูดซับซัลฟิดาตามขั้นตอนการทดลองที่ 3.1 นำตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิดไปทดสอบการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบตามขั้นตอนการทดลองที่ 3.3 คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการทดสอบการดูดซับตามขั้นตอนการทดลองที่ 3.4 และนำตัวดูดซับไปวิเคราะห์ปริมาณของโลหะเจือปนด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF) จากนั้นศึกษาการปรับปรุงความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับซัลฟิดาโดยการเติมโลหะ โลหะที่ศึกษามี 4 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียม เหล็ก นิกเกิล และ คอปเปอร์ นำตัวดูดซับซัลฟิดาที่มีส่วนผสมของโลหะทั้ง 4 ชนิด ไปทดสอบการดูดซับกรดไขมันอิสระ และคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบก่อนและหลังการทดสอบการดูดซับ และวิเคราะห์ปริมาณของโลหะเจือปน โดยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF)

#### 4.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการสกัดตัวดูดซับซัลฟิดาและความจำเป็นของการล้างสารเจือปนในถ้ำลอยด้วยกรด

##### 4.1.1 ความจำเป็นของการล้างสิ่งเจือปนในถ้ำลอยด้วยกรด

ถ้ำลอยซานฮ้อยสามารถสกัดตัวดูดซับซัลฟิดาได้เช่นเดียวกับถ้ำลอยของแกลบ โดยถ้ำลอยซานฮ้อยปริมาณ 10 กรัม สามารถสกัดตัวดูดซับซัลฟิดาได้ประมาณ 3 กรัม เมื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระของตัวดูดซับ 3 ชนิด คือ ถ้ำลอยซานฮ้อย ตัวดูดซับซัลฟิดาที่ไม่ผ่านการล้างกรด และตัวดูดซับซัลฟิดาที่ผ่านการล้างกรด โดยใช้ น้ำมันปาล์มดิบซึ่งมีปริมาณกรดไขมัน

อิสระเท่ากับ 3.47 % โดยน้ำหนัก จำนวนปริมาณกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับซึ่งเท่ากับปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนทดสอบการดูดซับลบปริมาณกรดไขมันอิสระหลังทดสอบการดูดซับ ผลแสดงดังตารางที่ 4.3 โดย ตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับ คือ มีค่าน้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับมากที่สุด คือตัวดูดซับซิลิกาที่ผ่านการล้างกรด ซึ่งเท่ากับ 170 มิลลิกรัม/กรัม

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับของตัวดูดซับที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ เท่ากับ 3.47 % โดยน้ำหนัก

ชนิดตัวดูดซับ	น้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)
ถ้ำลอยซานฮ้อย	110
ตัวดูดซับซิลิกา (ไม่ล้างกรด)	90
ตัวดูดซับซิลิกา (ล้างกรด)	170

#### 4.1.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของตัวดูดซับ

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิดด้วยเครื่อง XRF แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยองค์ประกอบทางเคมีของถ้ำลอยซานฮ้อยและตัวดูดซับซิลิกาที่ไม่ผ่านการล้างกรดมีปริมาณซิลิกาน้อยกว่าตัวดูดซับซิลิกาที่ผ่านการล้างกรด และมีปริมาณสารเจือปนอื่น ๆ มากกว่า ถ้ำลอยซานฮ้อยมีชนิดของสารเจือปนมากที่สุด ขณะที่ตัวดูดซับซิลิกาทั้ง 2 ชนิด มีชนิดของสารเจือปนเท่ากัน

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวดูดซับที่สกัดจากเถ้าลอยขานอ้อยด้วยเครื่อง XRF

องค์ประกอบ (% โดยน้ำหนัก)	ชนิดตัวดูดซับ		
	เถ้าลอยขานอ้อย	ตัวดูดซับซิติกา (ไม่ล้างกรด)	ตัวดูดซับซิติกา (ล้างกรด)
SiO <sub>2</sub>	72.80	95.20	98.00
CaO	9.70	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.80	1.43	0.86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.27	-	-
K <sub>2</sub> O	2.21	0.22	0.04
MgO	1.68	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.10	0.27	0.20
TiO <sub>2</sub>	0.62	-	-
Na <sub>2</sub> O	0.13	2.63	0.69
SO <sub>3</sub>	0.20	-	-
MnO	0.19	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การปรับปรุงความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระของตัวดูดซับซิลิกาโดยการเติมโลหะ

### 4.2.1 การทดสอบความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ

เมื่อนำตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะแต่ละชนิด (อะลูมิเนียม เหล็ก นิกเกิล และคอปเปอร์) ทดสอบการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ 2 ตัวอย่างซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 3.40 และ 2.89 % โดยน้ำหนัก และคำนวณน้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ ผลแสดงดังตารางที่ 4.3 ตัวดูดซับที่มีค่าน้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับมากที่สุด คือ ตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะคอปเปอร์ โดยมีค่าเท่ากับ 405 และ 216.70 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับของตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะ

ชนิดโลหะที่เป็นส่วนผสมของตัวดูดซับซิลิกา	น้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)	
	น้ำมันปาล์มดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 3.40 % โดยน้ำหนัก	น้ำมันปาล์มดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 2.89 % โดยน้ำหนัก
ไม่เติม	65	-
อะลูมิเนียม	100	84.86
เหล็ก	340	94.54
นิกเกิล	190	75.49
คอปเปอร์	405	216.70

#### 4.2.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของตัวดูดซับซีลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะ

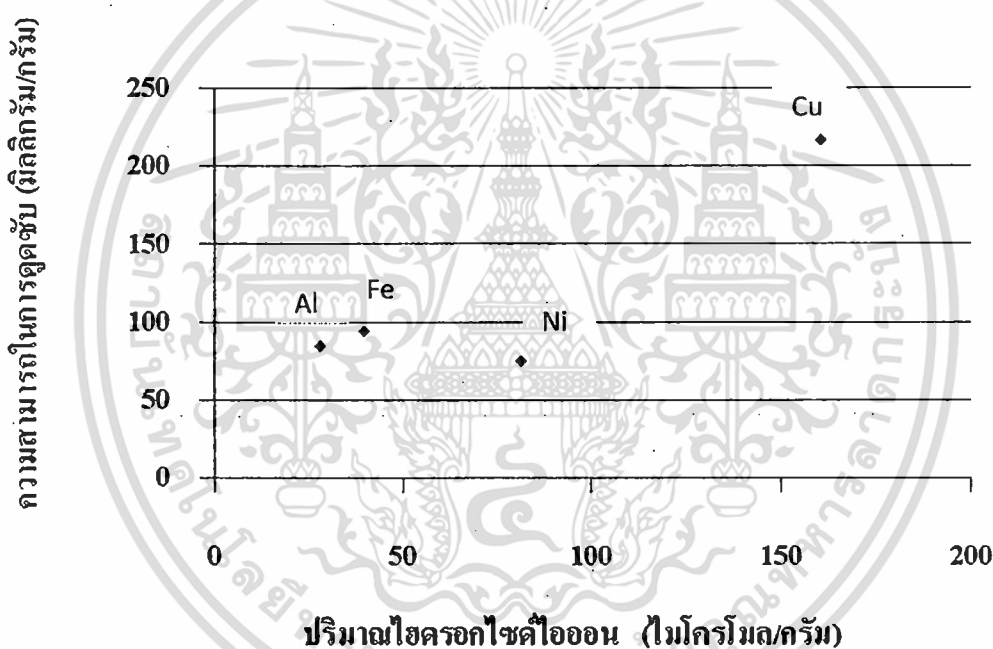
เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวดูดซับซีลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะด้วยเครื่อง XRF แสดงดังตารางที่ 4.4 โดยตัวดูดซับซีลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะอะลูมิเนียมมีปริมาณซีลิกามากที่สุดคือ 89.50 % โดยน้ำหนัก รองลงมาคือตัวดูดซับซีลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะนิกเกิล เหล็ก และคอปเปอร์ ตามลำดับ และสารเจือปนที่เป็นโลหะเหล็ก นิกเกิล หรือคอปเปอร์ จะไม่มีเจือปนในตัวดูดซับซีลิกาที่ไม่ได้เติมโลหะนั้นๆลงไป

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวดูดซับซีลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะด้วยเครื่อง XRF

องค์ประกอบ (% โดยน้ำหนัก)	ชนิดโลหะที่เป็นส่วนผสมของตัวดูดซับซีลิกา			
	อะลูมิเนียม	เหล็ก	นิกเกิล	คอปเปอร์
SiO <sub>2</sub>	89.50	77.90	83.10	74.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.12	4.56	4.97	4.54
Na <sub>2</sub> O	4.90	10.40	5.11	12.50
MgO	0.28	-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	6.75	-	-
NiO	-	-	6.39	-
CuO	-	-	-	7.94

### 4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ กับ ปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนในตัวดูดซับ

จากผลการทดลองหาค่าความเป็นเบสของตัวดูดซับตามขั้นตอนการทดลองที่ 3.5 ค่าความเป็นเบสแปรผันตรงกับความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ (น้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ) ของตัวดูดซับที่มีส่วนผสมของโลหะ โดยตัวดูดซับซิงก์ที่มีส่วนผสมของโลหะคอปเปอร์ มีปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนสูงสุด คือ 160.50 ไมโครโมลต่อกรัมตัวดูดซับ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ กับ ปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนในตัวดูดซับแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ กับ ปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนในตัวดูดซับ

#### 4.4 การวิเคราะห์ความปนเปื้อนของโลหะในน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการดูดซับ

เมื่อวิเคราะห์น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยตัวดูดซับซิงก์ที่มีส่วนผสมของโลหะชนิดต่างๆ โดยใช้เครื่อง AAS มีผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความปนเปื้อนของโลหะในน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยเครื่อง AAS

ชนิดโลหะที่เป็นส่วนผสมของตัวดูดซับซิงก์	ปริมาณโลหะตามชนิดที่เป็นส่วนผสมของตัวดูดซับซิงก์ในน้ำมันปาล์มดิบ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
เหล็ก	1.167
นิกเกิล	1.015
คอปเปอร์	0.145

จากตาราง ตัวดูดซับซิงก์ที่มีส่วนผสมของโลหะคอปเปอร์ ทำให้น้ำมันปาล์มดิบเกิดความปนเปื้อนของชนิดโลหะที่เป็นส่วนผสมน้อยที่สุด คือ มีปริมาณปนเปื้อนโลหะคอปเปอร์ในน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับ 0.145 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำมัน (พีพีเอ็ม) แต่ตัวดูดซับซิงก์ที่มีส่วนผสมของโลหะเหล็ก ทำให้เกิดความปนเปื้อนของโลหะสูงที่สุด คือ มีปริมาณโลหะเหล็กในน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับ 1.167 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 พ.ศ. 2543 เรื่องน้ำมันและไขมัน [12] กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของน้ำมันที่ผลิตโดยวิธีอื่นๆ ซึ่งไม่ใช่การบีบอัดโดยใช้ความร้อน หรือการสกัดด้วยสารละลาย โดยน้ำมันที่ผลิตได้จะต้องตรวจพบสารปนเปื้อนจำพวกเหล็กได้ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำมัน และสารปนเปื้อนจำพวกคอปเปอร์ต้องตรวจพบได้ไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำมัน แต่กระทรวงสาธารณสุขไม่ได้กำหนดปริมาณสารปนเปื้อนจำพวกนิกเกิล

The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) ระบุว่าโลหะนิกเกิล และสารประกอบนิกเกิล ไม่เป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งเมื่อถูกย่อยสลาย The National Toxicology Program (USA) กำลังพิจารณาการกำหนดให้โลหะนิกเกิลเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง และ The International Agency for Research on Cancer (IARC) ยังไม่ระบุแน่ชัดในการก่อมะเร็งของโลหะนิกเกิล เนื่องจากไม่มีหลักฐานการก่อมะเร็งในมนุษย์ แต่มีหลักฐานการก่อมะเร็งในสัตว์ และในเอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (MSDS) กำหนดค่า LD<sub>50</sub> Oral-rat ของนิกเกิลเท่ากับ 9,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม [13]

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำมัน ตามตารางที่ 4.5 กับข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการดูดซับกรดไขมันอิสระโดยใช้ตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะเหล็กและคอปเปอร์ มีปริมาณโลหะปนเปื้อน (ตามชนิดโลหะที่เติมลงในตัวดูดซับซิลิกา) ผ่านมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ดังนั้นการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบโดยการดูดซับด้วยตัวดูดซับซิลิกาที่สังเคราะห์จากถ้ำลอยชานอ้อยจึงมีความเป็นไปได้ในการออกแบบหน่วยดูดซับและใช้งานจริงในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันสำหรับบริโภค

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัย

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ตัวดูดซับซิติกาสามารถสังเคราะห์ได้จากเถ้าลอยขานอ้อยเช่นเดียวกับเถ้าลอยของแกลบ จากผลการทดลองพบว่า ตัวดูดซับซิติกาที่ผ่านการล้างกรดสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ ได้ดีที่สุด ดังนั้นขั้นตอนการล้างสารเจือปนในเถ้าลอยด้วยกรดจึงมีความจำเป็นในการทำให้ตัวดูดซับซิติกา มีความบริสุทธิ์ และมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น

การศึกษาการปรับปรุงความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับซิติกาโดยการเติมโลหะ โลหะที่ทำให้ตัวดูดซับซิติกา มีความสามารถในการดูดซับสูงสุด คือ โลหะคอปเปอร์ เมื่อทดสอบการดูดซับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อัตราส่วนน้ำหนักตัวดูดซับต่อน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับ 1 ต่อ 25 ตัวดูดซับซิติกาที่มีส่วนผสมของโลหะมีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 405 มิลลิกรัมกรดไขมันอิสระต่อกรัมน้ำมันปาล์มดิบ

การทดสอบค่าความเป็นเบสของตัวดูดซับแต่ละชนิด ตัวดูดซับซิติกาที่มีส่วนผสมของโลหะคอปเปอร์ มีค่าความเป็นเบสสูงสุด (มีปริมาณของไฮดรอกไซด์ไอออนสูงสุด) เท่ากับ 160.50 ไมโครโมลต่อกรัม จากรูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับ กับปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนแสดงความสัมพันธ์เป็นแบบแปรผันตรง สอดคล้องกับผลการทดลองเบื้องต้น คือ ตัวดูดซับซิติกาที่มีส่วนผสมของโลหะคอปเปอร์ ซึ่งมีค่าความเป็นเบสและความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระสูงสุด

เมื่อศึกษาความปนเปื้อนของโลหะในน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการดูดซับ ตัวดูดซับซิติกาที่มีส่วนผสมของโลหะทุกชนิด ทำให้น้ำมันปาล์มดิบเกิดการปนเปื้อนของโลหะตามชนิดที่เป็นส่วนผสมของตัวดูดซับผ่านมาตรฐานตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข ตัวดูดซับซิติกาที่มี

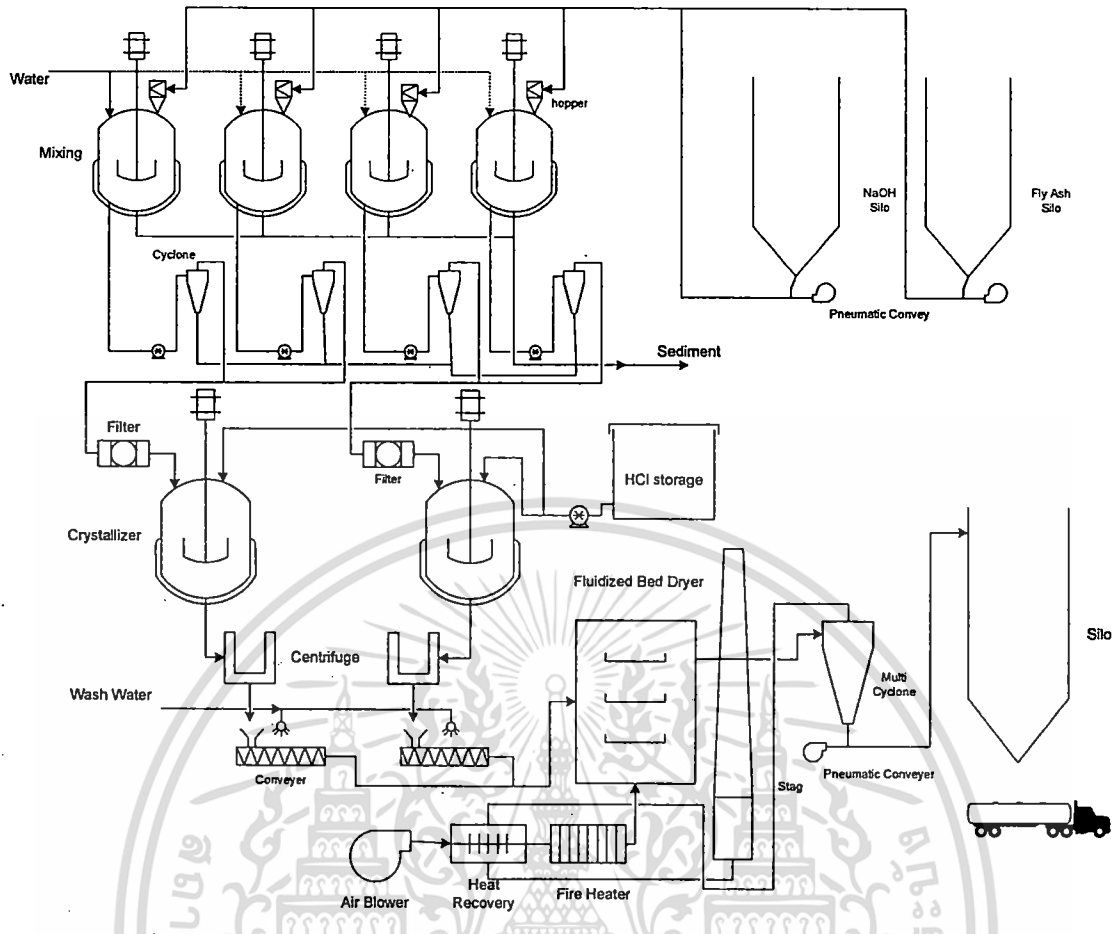
ส่วนผสมของโลหะคอปเปอร์ทำให้น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการดูดซับ เกิดการปนเปื้อนของโลหะ น้อยที่สุด เท่ากับ 0.145 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

งานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า ตัวดูดซับซิลิกาสามารถสังเคราะห์จากเถ้าลอยชานอ้อยได้ เช่นเดียวกับเถ้าแกลบ และเมื่อนำไปปรับปรุงโดยการเติมโลหะคอปเปอร์ จะสามารถใช้เป็นตัวดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบได้ดี และไม่ทำให้น้ำมันเสียคุณภาพด้านการปนเปื้อนของโลหะคอปเปอร์

## 5.2 การออกแบบโรงงานผลิตตัวดูดซับซิลิกา

### 5.2.1 ขั้นตอนการผลิตตัวดูดซับซิลิกา

นำเถ้าลอย และ โซดาไฟ (NaOH) จากไซโคลงในถังปฏิกรณ์ผสมน้ำ และทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ของผสมที่ได้จะทำการแยกส่วนที่ไม่ละลาย ออกโดยใช้ไซโคลน ส่วนที่เป็นของแข็งจะถูกนำไปฝังกลบ ในขณะที่ซิลิกาที่ละลาย จะทำการกรองอีกครั้งด้วยชุดเครื่องกรอง และจะทำการตกตะกอนซิลิกาที่ละลายอยู่โดยการปรับค่าความเป็นกรด่างโดยใช้กรดเกลือ (HCl) ในเครื่องก่อผลึก (Crystallizer) เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ตะกอนซิลิกาที่เกิดขึ้นจะถูกแยกออกโดยใช้เครื่องแยกเหวี่ยง (Centrifuge) และถูกล้างโดยระบบสายพาน และล้างด้วยน้ำ ในขณะที่ล้าง ซิลิกาที่ผ่านการล้างด้วยน้ำแล้วจะทำการส่งไปยังระบบอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 °C ตัวดูดซับซิลิกาที่อบแล้ว จะถูกส่งไปยังไซโคลนเพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็ง และนำไปเก็บไว้ยังไซโล แผนภาพอุปกรณ์กระบวนการผลิตตัวดูดซับซิลิกาแสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนผังอุปกรณ์การผลิตในหน่วยผลิตตัวดูดซับซิลิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Kalapathy U., Proctor A. and Shultz J., "A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Hull Ash," *Bilores. Technol.*, Vol. 73, 2000, pp. 257-262
- [2] Farook A., & Joo H. C., "The Adsorption of Palmytic Acid on Rice Husk Ash Chemically Modified with Al(III) Ion Using the Sol-gel Technique," *J. Colloid Interface Sci.*, Vol. 280, 2004, pp. 55-61
- [3] เนื้อทอง วรนาวุธ. น้ำมัน ไขมันและผลิตภัณฑ์. ม.ป.ท. ม.ป.ป.
- [4] ชิตติมา รักษรรมดี และ มนตรี โขสิดคุลย์. "การดูดซับโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยชานอ้อยที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์." *ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.* 2544
- [5] วรศรา จิระชาติ. "การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่หุบแป็ง โดยใช้สารดูดซับซิลิกาเจล." *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.* 2548
- [6] สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. "เวทีแสดงความคิดเห็น." [Online]. Available : [www.biodiesel.eng.psu.ac.th](http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th). 2551.
- [7] เคลทินิวส์. "อ้วน....สัญญาอันตราย หยุดได้ด้วยหลักพอเพียง." [Online]. Available : [www.softfmthailand.com/news/detail.php?id=00316](http://www.softfmthailand.com/news/detail.php?id=00316). 2551.
- [8] นิตยสารหญิงไทย. "การใช้ไขมันพืช." [Online]. Available : [61.47.61.50/board/view.php?id=948062](http://61.47.61.50/board/view.php?id=948062). 2550.
- [9] ชีวรัตน์ ศิลปรัตน์ ปริญา รุ่งโรจน์กิจไพศาล และ ปวีณจ จรัส โชติพิณี. "การดูดซับตะกั่ว โดยการพัฒนาตัวกลางดูดซับที่ได้จากเปลือกหอยแห้ง." *ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.* 2544
- [10] "กระบวนการดูดซับ." [Online]. Available : [203.158.6.144/Learning/Engineering/432311/Chapter%207%20Adsorption.ppt](http://203.158.6.144/Learning/Engineering/432311/Chapter%207%20Adsorption.ppt). 2551.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] Moonjung K., Suk H. Y., Eunsoo C., and Bogim G., "Comparison of the Adsorbent Performance between Rice Hull Ash and Rice Hull Silica Gel according to Their Structural Differences," *LWT*, Vol. 41, 2007, pp. 701-706
- [12] กระทรวงสาธารณสุข ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 พ.ศ. 2543 เรื่องน้ำมันและไขมัน. [Online]. Available :  
<http://elib.fda.moph.go.th/library/default.asp?page2=detail&ngid=102>
- [13] Mill-Rose Laboratories, "MSDS of Stainless Steel PTFE," [Online]. Available :  
[www.cleanfit.com/MSDS\\_Sheets/Stainless\\_Steel\\_PTFE\\_MSDS.pdf](http://www.cleanfit.com/MSDS_Sheets/Stainless_Steel_PTFE_MSDS.pdf), 2008



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## ประกาศกระทรวงสาธารณสุข

(ฉบับที่ 205) พ.ศ.2543

## เรื่อง น้ำมันและไขมัน

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง น้ำมันและไขมัน อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6(3)(4)(5)(6)(7) และ (10) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 48 และมาตรา 50 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทยบัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุขออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิก

(1) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ.2522) เรื่อง กำหนดน้ำมันและไขมันเป็นอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน วิธีการผลิต และฉลากสำหรับน้ำมันและไขมัน ลงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ.2522

(2) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 72 (พ.ศ.2525) เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ.2522) ลงวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ.2525

(3) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 134 (พ.ศ.2534) เรื่อง น้ำมันและไขมันผสม (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) ลงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2534

(4) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 164) พ.ศ.2538 เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง น้ำมันและไขมัน (ฉบับที่ 3) ลงวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ.2538

ข้อ 2 ให้น้ำมันและไขมันที่ใช้เป็นอาหาร ได้ ซึ่งได้แก่ กลิเซอไรด์ของกรดไขมันต่าง ๆ ที่ได้จากพืชหรือสัตว์ซึ่งใช้เป็นอาหารและบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท ถลอด ชอง หรือสิ่งห่อหุ้มที่ปิดผนึกเพื่อจำหน่าย เป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน ทั้งนี้ไม่รวมถึงเนยและเนยเทียม

ข้อ 3 น้ำมันและไขมันที่ใช้เป็นอาหาร แบ่งออกเป็นสามชนิด

(1) น้ำมันและไขมันที่ได้จากพืช

(2) น้ำมันและไขมันที่ได้จากสัตว์

(3) น้ำมันและไขมันผสม ได้แก่ น้ำมันและไขมันที่ได้จากพืชต่างชนิดผสมกันไม่เกินสองชนิด หรือน้ำมันและไขมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่ผสมกันโดยผ่านกรรมวิธีไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) หรือเอสเตอริฟิเคชัน (Esterification) หรือน้ำมันและไขมันผสมตามชนิดและกรรมวิธีอื่นที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 4 พืชหรือไขมันของสัตว์ที่จะนำมาผลิตเอาน้ำมันและไขมัน ต้องมีสภาพที่เหมาะสมจะใช้ผลิตอาหาร และอยู่ในสภาพที่ให้น้ำมันและไขมันซึ่งบริโภคได้โดยปราศจากอันตราย

ข้อ 5 วิธีการผลิตน้ำมันและไขมันให้ทำได้ ดังนี้

(1) วิถีธรรมชาติ ทำโดยการบีบอัดโดยใช้ความร้อนหรือวิถีธรรมชาติอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และนำมาทำให้สะอาดโดยการล้าง การตั้งไว้ให้ตกตะกอน การกรอง หรือการหมุนเหวี่ยง

(2) วิถีผ่านกรรมวิธี ทำโดยนำน้ำมันและไขมันที่ได้จากวิถีธรรมชาติ หรือที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และนำมาผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง

(3) วิถีอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 6 น้ำมันและไขมันต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(1) มีค่าของกรด (Acid Value) คิดเป็นมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัม

(1.1) ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิถีธรรมชาติ

(1.2) ได้ไม่เกิน 0.6 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิถีผ่านกรรมวิธี

(1.3) ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับน้ำมันและไขมันผสมซึ่งทำโดยวิถีธรรมชาติ

(1.4) ได้ไม่เกิน 0.6 สำหรับน้ำมันและไขมันผสมซึ่งทำโดยวิถีผ่านกรรมวิธี

(1.5) ได้ไม่เกิน 1.0 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิถีผ่านกรรมวิธีผสมกับ

น้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิถีธรรมชาติ

(2) มีค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value) คิดเป็นมิลลิกรัมสมมูลย์ ต่อน้ำมันและไขมัน 1 กิโลกรัม ได้ไม่เกิน 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) มีน้ำและสิ่งทีระเหยได้ (Water and Volatile Matter) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนัก

(4) มีปริมาณสบู่ (Soap Content) ได้ไม่เกินร้อยละ 0.005 ของน้ำหนัก

(5) มีสิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (Insoluble Impurities) ได้ไม่เกินร้อยละ 0.05 ของน้ำหนัก

(6) มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของน้ำมันและไขมัน ยกเว้นน้ำมันและไขมันผสม

(7) ไม่มีกลิ่นหืน

(8) ตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินที่กำหนด ดังต่อไปนี้

(8.1) ไม่พบน้ำมันแร่ (Mineral oil)

(8.2) เหล็ก

ในน้ำมันหรือไขมันธรรมชาติและในน้ำมันหรือไขมันผสมไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัม  
ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

ในน้ำมันหรือไขมันผ่านกรรมวิธีไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัม ต่อ น้ำมันหรือไขมัน  
1 กิโลกรัม

(8.3) ทองแดง

ในน้ำมันหรือไขมันธรรมชาติและในน้ำมันหรือไขมันผสมไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัม  
ต่อ น้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

ในน้ำมันหรือไขมันผ่านกรรมวิธีไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อ น้ำมันหรือไขมัน 1  
กิโลกรัม

(8.4) ตะกั่ว ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อ น้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

(8.5) สารหนู ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อ น้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

(8.6) อฟลาท็อกซิน (Aflatoxin) ไม่เกิน 20 ไมโครกรัม ต่อ น้ำมันหรือไขมัน  
1 กิโลกรัม (ไม่เกิน 20 ส่วนในพันล้านส่วน)

(8.7) ไซโคลโพรเพนอยด์ แฟตตี้ แอซิด (Cyclopropenoid Fatty Acid) ไม่เกิน  
ร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก

น้ำมันและไขมันผสมนอกจากต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามวรรคหนึ่งแล้ว อาจมี  
คุณภาพหรือมาตรฐานอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาด้วย  
ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันและไขมันที่ผลิตตามวิธีอื่นในข้อ 5(3) ให้มีคุณภาพหรือมาตรฐานตามที่ได้รับ  
ความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 7 การใช้วัตถุเจือปนอาหาร ให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กำหนดไว้ในบัญชีท้าย  
ประกาศนี้

การใช้วัตถุเจือปนอาหารชนิดอื่นนอกจากที่กำหนดให้ใช้ได้ตามวรรคแรก ต้องได้รับ  
ความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 8 ผู้ผลิตหรือนำเข้า น้ำมันและไขมันเพื่อจำหน่าย ต้องปฏิบัติตามประกาศ  
กระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษา  
อาหาร

ข้อ 9 การใช้ภาชนะบรรจุ น้ำมันและไขมัน ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่า  
ด้วยเรื่อง ภาชนะบรรจุ

ข้อ 10 การแสดงฉลากของ น้ำมันและไขมัน ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวง  
สาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ฉลาก

ข้อ 11 ให้ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหารหรือใบสำคัญการใช้ฉลากอาหารตามประกาศ  
กระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ.2522) เรื่อง กำหนดน้ำมันและไขมันเป็นอาหาร  
ควบคุมเฉพาะ และกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน วิธีการผลิต และฉลาก สำหรับน้ำมันและไขมัน  
ลงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 72  
(พ.ศ.2525) เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ.2522) ลงวันที่ 19  
พฤศจิกายน พ.ศ.2525 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 134 (พ.ศ.2534) เรื่อง น้ำมันและ  
ไขมันผสม (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) ลงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2534 และประกาศกระทรวง  
สาธารณสุข (ฉบับที่ 164) พ.ศ.2538 เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง  
น้ำมันและไขมัน (ฉบับที่ 3) ลงวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ.2538 ซึ่งออกให้ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้  
บังคับยังคงใช้ต่อไปได้อีกสองปี นับแต่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 12 ให้ผู้ผลิต ผู้นำเข้า น้ำมันและไขมันที่ได้รับอนุญาตอยู่ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้  
บังคับ

ยื่นคำขอรับเลขสารบบอาหารภายในหนึ่งปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ เมื่อยื่นคำขอ  
ดังกล่าวแล้วให้ได้รับการผ่อนผันการปฏิบัติตามข้อ 8 ภายในสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บังคับ และให้คงใช้ฉลากเดิมที่เหลืออยู่ต่อไปจนกว่าจะหมดแต่ต้องไม่เกินสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 13 ประกาศนี้ ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2543

กร ทัพพะรังสี

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

(ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 6 ง. ลงวันที่ 24 มกราคม พ.ศ.2544)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์

## MATERIAL SAFETY DATA SHEET

## SECTION 1 - PRODUCT INFORMATION

**Supplier Name**  
The Mill-Rose Company  
7310 Corporate Blvd.  
Mentor, OH 44060  
(800) 321-3598

**Emergency Telephone No.**  
(800) 321-3598

**Date Prepared:** June 2007  
**Replaces:** June 2003

**Product**  
Thread Sealing Tape

**Trade Names and Synonyms**  
Stainless Steel Tape

## SECTION 2 - HAZARDOUS INGREDIENTS/IDENTITY INFORMATION

Ingredients	OSHA PEL	CAS Number	ACGIH TLV
Polytetrafluoroethylene	N/A	9002-84-0	N/A
Petroleum Solvent	N/A	64742-47-8	N/A
Pigment	N/A	N/A	N/A
Nickel	N/A	N/A	N/A

## SECTION 3 - PHYSICAL/CHEMICAL CHARACTERISTICS

**Boiling Point:** N/A  
**Vapor Pressure (mm Hg):** N/A  
**Vapor Density (air=1):** N/A  
**Solubility in Water:** Insoluble

**Specific Gravity (H<sub>2</sub>O=1):** 2.7  
**Melting Point:** N/A  
**Evaporation Rate (Butyl Acetate=1):** N/A  
**Appearance and Odor:** Metallic Looking Film/Odorless

## SECTION 4 - FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA

**Flash Point (Method Used):** N/A  
**Flammable Limits:** N/A  
**Extinguishing Media:** Any standard medium  
**Special Fire Fighting Procedures:** Combustible Solid. Will burn if in contact with flame. Combustion ceases when flame is removed. Decomposition on heating above 260°C results in the emission of toxic fumes. Fire fighters to wear self contained breathing apparatus if there is a risk of exposure to products of combustion and decomposition.  
**Unusual Fire and Explosion Hazards:** Toxic fumes given off above 260°C

## SECTION 5 - REACTIVITY DATA

**Conditions to Avoid:** Temperatures above 260°C without adequate ventilation  
**Incompatibility (Materials to avoid):** Alkali Metals, extremely potent oxidizers (e.g. Fluorine, Chlorine Tri-Fluoride), 80% NaOH or KOH, Metal Hydrides such as Boranes (e.g. B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), Aluminum Chloride, Ammonia, certain Amines (R-NH<sub>2</sub>) Imines (RH-NH) and 70% Nitric Acid at temperatures near 260°C.  
Do not use on oxygen lines. Concentrated acids might react with metal powders dispersed through the tape.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SECTION 6 - HEALTH HAZARD DATA

**Health Hazards (Acute):****Swallowed:** No adverse effect known**Eye:** May cause physical irritation to the eyes**Skin:** No adverse effect known

**Inhalation:** The material is not normally an Inhalation hazard at temperatures below 260°C as it remains an inert solid. However, exposure to thermal degradation products at temperatures above 260°C or fumes from tobacco contaminated with particles of the product may result in "Polymer Fume Fever" or Influenza-like symptoms (chills, headaches, difficulty in breathing and fever). Symptoms may appear several hours after exposure but will disappear within 24-48 hours. There are exposure standards for decomposition products.

HF*	TWA		STEL	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
	3	2.6		Peak Limitation

\*Measured as an inspirable fraction

Carbonyl Fluoride is the main decomposition product formed when PTFE is subjected to extended exposure at normal sintering temperatures (400°C). Carbonyl Fluoride is immediately converted to highly corrosive hydrogen fluoride in the presence of moist air.

**Health Hazards (Chronic):** No information is available on the product but there is data on nickel.**Skin:** Repeated contact with metallic nickel can cause sensitivity and allergic skin rashes.**Toxicity:** There is no information on the product but there is data on the ingredients

**Polytetrafluoroethylene (PTFE):** No LD50 data is available on the product. No toxicity was observed in male/female rats when fed PTFE (up to 25%) for 90 days. Local sarcomas were induced in mice and rats implanted subcutaneously or intraperitoneally with PTFE. However, this is not considered relevant to normal industrial usage.

**Nickel:** LD50 Oral - Rat >9000mg/kg. Nickel metal has low oral toxicity. The US Food and Drug Administration has affirmed that nickel is generally recognized as safe (GRAS) as a direct human food ingredient.

**Carcinogenicity:**

**Polytetrafluoroethylene (PTFE):** PTFE has been classified by the International Agency for Research into Cancer as a group III agent. As such it is not classifiable as to its carcinogenicity to humans.

**Nickel:** The US National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) concluded that nickel and its organic compounds are not carcinogenic when ingested. The National Toxicology Program (USA) has listed Nickel as reasonably anticipated to be a carcinogen based on the production of injection site tumors. The International Agency for Research on Cancer concluded that there was sufficient evidence that nickel and nickel compounds, as a group but not necessarily as individual chemicals, were carcinogenic to humans. IARC could not state with certainty which nickel compounds are human carcinogens and which are not. Epidemiological studies of workers exposed to nickel powder and to dust and fume generated in the production of nickel alloys and of stainless steel have not indicated the presence of a significant respiratory cancer hazard. The inhalation of nickel powder has not resulted in an increased incidence of malignant lung tumors in rodents. Repeated intratracheal instillation of nickel powder produced an increased incidence of malignant lung tumors in rats. Repeated intratracheal instillation of nickel powder did not produce an increased incidence of malignant lung tumors in hamsters when administered at the maximum tolerated dose. Single intratracheal instillations of nickel powder in hamsters at doses near LD50 produced an increased incidence of fibro sarcomas, mesotheliomas and rhabdomyosarcomas. Inhalation of nickel powder at concentration 15 times the PEL irritated the respiratory tract in rodents. Nickel metal powder has caused tumors at the site of injection in rodents. However, studies do not suggest a significant risk for humans from nickel containing prostheses.

**Emergency and First Aid Procedures:****Swallowed:** Rinse mouth with water. Give plenty of water to drink. Seek medical advice.**Eye:** Irrigate the eyes with plenty of water for 15 minutes. In all cases of eye contamination it is a sensible precaution to seek medical advice.**Skin:** If irritation occurs wash the contaminated area with plenty of soap and water. Remove any contaminated clothing and wash prior to reuse. If irritation continues, seek medical advice.**Inhalation:** Remove victim from exposure - avoid becoming a casualty. Allow patient to assume most comfortable position and keep warm. Keep at rest until fully recovered. If breathing labored and patient cyanotic (blue) insure that airways are clear and have a qualified person give oxygen through a face mask. If breathing has stopped apply artificial respiration at once. In event of cardiac arrest apply external cardiac massage. Seek medical advice.

### SECTION 7 - PRECAUTIONS FOR SAFE HANDLING AND USE

Steps to be taken in case material is released or spill: Sweep Up  
 Waste Disposal Method: Burning is not recommended. Comply with local regulations  
 Precautions to be taken in Handling and Storage: Keep away from flames. Store below 260°C

### SECTION 8 - CONTROL MEASURES

Respiratory Protection: No special controls are necessary if used within recommended operation temperatures (ie -260°C to +260°C).  
 Ventilation: See above  
 Protective Gloves: See above  
 Eye Protection: See above  
 Other Protective Clothing or Equipment: See above  
 Work/Hygienic Practices: See above

### NOTICE FROM THE MILL-ROSE COMPANY

*The information in this Material Safety Data Sheet (MSDS) relates only to the specific material designated herein and does not relate to use in combination with any other material or in any process. We believe that the information contained herein is current as of the date of the MSDS. Since use of this information and these opinions and the conditions of use of the product are not within the control of The Mill-Rose Company, it is the user's obligation to determine the conditions of safe use of the product.*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

บทความเรื่อง “ การดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบด้วยตัวดูดซับซิลิกาที่สังเคราะห์จาก  
เถ้าลอยขานอ้อย (The Adsorption of Free Fatty Acid in Crude Palm Oil on Silica from Bagasse  
Fly Ash)” ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ปีที่ 27 ฉบับที่ 1 เดือนมีนาคม 2553



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบด้วยตัวดูดซับซิลิกา

## ที่สังเคราะห์จากเถ้าลอยขานอ้อย

### The Adsorption of Free Fatty Acid in Crude Palm Oil on Silica from Bagasse Fly Ash

พิณเทพ เศรษฐโกสิน<sup>1</sup>, พุทธชาติ จันทร์เมือง<sup>1</sup>, พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์<sup>1</sup> และ สุชาติ นิเนรมิตคคพงศ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการสังเคราะห์ซิลิกาจากเถ้าลอยขานอ้อยเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ โดยสกัดซิลิกาจากเถ้าลอยขานอ้อยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยใช้เวลาในการกวนผสม 1 ชั่วโมง ตกตะกอนซิลิกาด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ นำเจลที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะได้ตัวดูดซับซิลิกา หลังจากนั้นเตรียมตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะด้วยวิธีการเดียวกันแต่เติมสารละลายโลหะไนเตรดเพื่อตกตะกอนและเผาของแข็งที่ได้ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โลหะที่ศึกษา มี 4 ชนิด คือ อะลูมิเนียม เหล็ก นิกเกิล และคอปเปอร์ เมื่อทดลองดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบที่มีปริมาณของกรดไขมันอิสระ 3.40% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าตัวดูดซับที่มีส่วนผสมของโลหะคอปเปอร์มีความสามารถในการดูดซับสูงที่สุดเท่ากับ 405 มิลลิกรัมต่อกรัม จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณโลหะเหล็ก นิกเกิล และคอปเปอร์ที่ปนเปื้อนในน้ำมันปาล์มดิบด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) ผลวิเคราะห์แสดงปริมาณโลหะปนเปื้อนในน้ำมันปาล์มดิบผ่านมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข โดยตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะคอปเปอร์เกิดความปนเปื้อนของโลหะคอปเปอร์เท่ากับ 0.145 มิลลิกรัมต่อกรัม

คำสำคัญ : การดูดซับ, กรดไขมันอิสระ, เถ้าลอยขานอ้อย

#### Abstract

This research is to syntheses silica from bagasse fly ash for using as an adsorbent for the adsorption of free fatty acids in crude palm oil. Silica gels were prepared from fly ash by stirring with 1 M NaOH for 1 h followed by acid precipitation using 1 M HCl. The silica gels were dried at 100°C to obtain silica. Silica-incorporated metal ion was synthesized with the similar method as silica but using an aqueous of metal nitrate instead of hydrochloric acid and then calcined the solid products at 500°C for 3 h. The effect of incorporate-metal (aluminum, iron, nickel and copper) ions on the adsorption of free fatty acids from crude palm oil was investigated. The adsorptions of free fatty acids in crude palm oil with

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

initial concentration 3.40 wt% of free fatty acids using silica or silica-incorporated metal ion were carried out in batch stirred reactor at 50°C for 1 h. It has been showed that the silica-incorporated copper had the most effective in reducing free fatty acids. The amount of adsorbed free fatty acid on the silica-incorporated copper was 405 mg/g. The amounts of metal (Fe, Ni and Cu) contamination in palm oil after the adsorption were analyzed by Atomic Absorption Spectroscopy AAS. These three adsorbents permitted the acceptable metal contaminant level according to the code of Ministry of Public Health. The amount of copper ion in palm oil after the adsorption was 0.145 ppm.

**Key Words :** Adsorption, Free Fatty Acid, Bagasse Fly Ash

## 1. บทนำ

ขานอ้อยเป็นเศษที่เหลือจากการหีบเอาน้ำอ้อยออกจากต้นอ้อย เป็นส่วนที่มีเส้นใยปริมาณมาก ทางโรงงานจะนำไปเผาไหม้เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานความร้อนและผลิตไอน้ำ หลังจากการเผาไหม้จะทำให้เกิดเถ้าลอยขึ้น เรียกว่าเถ้าลอยขานอ้อย [1]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเถ้าลอยขานอ้อยมีปริมาณซิลิกาใกล้เคียงกับเถ้าลอยแกลบข้าว คือประมาณ 60 % โดยน้ำหนัก Kalapathy Proctor และ Shultz [2] เสนอวิธีสกัดซิลิกาจากเถ้าลอยแกลบข้าว โดยการนำเถ้าไปปั่นกวนในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเพื่อกำจัดสารเจือปนบางชนิดออกก่อนนำไปต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อละลายซิลิกา ตกตะกอนซิลิกาด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะได้ซิลิกาในรูป Xerogel ซึ่งเมื่อนำไปล้างด้วยน้ำ แล้วอบแห้งอีกครั้ง จะได้ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์ 91% โดยมีความชื้น 2.6%

Farook Adam และ Joo-Hann Chua [3] ทำการสังเคราะห์ตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะอะลูมิเนียมจากเถ้าลอยแกลบข้าวที่เกิดจากการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีเช่นเดียวกับ Kalapathy แบ่งตัวดูดซับส่วนหนึ่งไปเผา (Calcination) ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ดูดซับกรดปาล์มติก (Palmytic Acid) ในไอโซออกเทนเข้มข้น 0.5096 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะอะลูมิเนียมที่ผ่านการเผา

มีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะอะลูมิเนียมที่ไม่ผ่านการเผา

จากงานวิจัยเกี่ยวกับเถ้าลอยของแกลบข้าวคังกล้วย และคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันระหว่างเถ้าลอยแกลบข้าวกับเถ้าลอยขานอ้อย จึงเป็นแนวคิดในการเพิ่มมูลค่าเถ้าลอยขานอ้อย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ตัวดูดซับซิลิกา และตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะ จากเถ้าลอยขานอ้อย เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ ทั้งนี้จะศึกษาถึงชนิดของโลหะที่จะใช้เป็นส่วนผสมของตัวดูดซับเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ โลหะที่ศึกษามี 4 ชนิดคือ โลหะอะลูมิเนียม เหล็ก นิกเกิล และคอปเปอร์ โดยโลหะเหล็กและคอปเปอร์ มีข้อกำหนดปริมาณปนเปื้อนในน้ำมันตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข [4] และโลหะนิกเกิลมีความเป็นพิษจากการรับประทานน้อย ตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะทั้ง 4 ชนิด จะนำมาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ และปริมาณปนเปื้อนโลหะในน้ำมันที่ผ่านการดูดซับ เพื่อเลือกชนิดของโลหะที่เหมาะสมในการปรับปรุงตัวดูดซับซิลิกามากที่สุด

## 2. การทดลอง

### 2.1 การสกัดตัวดูดซับซิลิกาจากเถ้าลอยขานอ้อย

ผสมเถ้าลอย 10 กรัม ลงในน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 1 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 6 โมลาร์ ปั่นกวน 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั่วโมง นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman No. 41) ล้างแก้วลอยด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เก็บส่วนแก้วลอยผสมลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ปั่นกวนที่อุณหภูมิ 70 ถึง 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman No. 41) ล้างแก้วลอยด้วยน้ำร้อน 100 มิลลิลิตร เก็บส่วนของเหลวเอาไว้ทิ้งให้เย็นตัวลงถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ จนมี pH เท่ากับ 7 ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดเป็นเจล ประมาณ 18 ชั่วโมง เติมน้ำ 100 มิลลิลิตร และคนให้เจลละลาย นำไปเหยียงแยกที่ 2,500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที เพื่อแยกน้ำออกจากซิลิกาเจล ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำซิลิกาที่ได้ออกมาทิ้งไว้ให้เย็นและบดสารให้ละเอียด

## 2.2 การสังเคราะห์ตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะ

ผสมแก้วลอย 40 กรัม ลงใน สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ปั่นกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman No. 41) ล้างแก้วลอยด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เก็บส่วนแก้วลอยที่กรองได้ไปอบเพื่อไล่น้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำแก้วลอยที่ผ่านการล้างกรดแล้ว ผสมลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ปั่นกวนที่อุณหภูมิปกติ 18 ชั่วโมง นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman No. 41) ล้างแก้วลอยด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เก็บส่วนของเหลวเอาไว้ แบ่งของเหลวที่ได้เป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน เตรียมสารละลายกรดไนตริกที่มีส่วนผสมของโลหะ ปริมาตร 0.01 โมลาร์ ทั้ง 4 ชนิด ซึ่งเตรียมจากสารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ละลายโลหะไนเตรดเป็นปริมาณ 2.5 มิลลิโมล คิดเป็นน้ำหนักโลหะอะลูมิเนียม เหล็ก นิกเกิลและคอปเปอร์ เท่ากับ 0.944, 1.017, 0.732 และ 0.608 กรัมตามลำดับ เติมสารละลายกรดลงในของเหลวที่แบ่งไว้ ด้วยกรดที่มี

ส่วนผสมของโลหะแต่ละชนิดลงในของเหลวที่แบ่งเตรียมไว้ 4 ส่วนจนของเหลวมีค่า pH เท่ากับ 1 ตั้งทิ้งไว้ 6 วัน จะมีตะกอนสีส้มแดงเกิดขึ้น กรองออกทั้งหมดด้วยกระดาษกรอง (Whatman No. 41) แล้วนำของเหลวมาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลาร์ จนของเหลวมีค่า pH เท่ากับ 2 หรือ 3 ทำให้ครบทั้ง 4 ส่วนที่แบ่งไว้ ตั้งทิ้งไว้อีก 6 วัน ให้เกิดเป็นเจล คนให้เจลละลาย นำไปกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman No. 41) เพื่อแยกน้ำออกจากเจล ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะที่ได้ออกมาทิ้งไว้ให้เย็นและบดสารให้ละเอียด นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้ตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะทั้ง 4 ชนิด

## 2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบตัวดูดซับซิลิกาและตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะ

วิเคราะห์องค์ประกอบตัวดูดซับซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF)

## 2.4 การทดสอบประสิทธิภาพในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบด้วยตัวดูดซับซิลิกาที่สังเคราะห์ได้

อุ่นน้ำมันปาล์มดิบให้ละลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นำน้ำมันปาล์มดิบที่ละลายแล้วปริมาณ 12.5 กรัม เทลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ผสมตัวดูดซับ 0.5 กรัม ลงในน้ำมัน ปั่นกวนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แบ่งน้ำมันที่ผ่านการดูดซับแล้วปริมาณ 5 กรัม มาทดสอบหาปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยการไทเทรต ตามวิธีของ American Oil Chemists' Society (AOCS) Ca 5a-40

## 2.5 การทดสอบความเป็นเบสของตัวดูดซับ [5]

เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 3.42 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เทตัวดูดซับ 0.2 กรัม ลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ปิดฝา บีกเกอร์ด้วยกระดาษฟอยล์ ปั่นกวน 30 ชั่วโมง กรองสารละลายที่ได้ ไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ริก ความเข้มข้น 0.001 โมลาร์ โดยใช้สารละลาย ฟีนอล์ฟทาลินเป็นอินดิเคเตอร์ ปริมาณสารละลายกรด ไฮโดรคลอริกที่ไทเทรตจะใช้คำนวณปริมาณของ ไฮดรอกไซด์ไอออนที่หลุดออกมาจากตัวดูดซับ

## 2.6 การวิเคราะห์ความปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำมัน ปาล์มดิบ

นำน้ำมันที่ผ่านการดูดซับปริมาณ 2 กรัม ไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำเถ้าที่ได้จากการเผา ผสมลงในสารผสมระหว่าง สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ ปิดฝาด้วยกระจกนาฬิกา อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที กรอง สารละลายเพื่อกำจัดเถ้าที่ไม่ถูกย่อย เจือจางสารละลาย ที่ได้ ด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเท่ากับ 100 มิลลิลิตร นำ สารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

## 3. ผลการทดลอง

### 3.1 การศึกษาความเป็นไปได้ในการสกัดตัวดูดซับซิลิกา และความจำเป็นของการล้างเถ้าลอยด้วยกรด

เถ้าลอยขานอ้อยสามารถสกัดตัวดูดซับซิลิกา ได้ โดยเถ้าลอยขานอ้อย 10 กรัม สามารถสกัดตัวดูดซับ ซิลิกาได้ประมาณ 3 กรัม เมื่อศึกษาความสามารถในการ ดูดซับกรดไขมันอิสระของตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิด คือ เถ้า ลอยขานอ้อย ตัวดูดซับซิลิกาที่ไม่ผ่านการล้างกรด และ ตัวดูดซับซิลิกาที่ผ่านการล้างกรด โดยใช้ น้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 3.47 % โดยน้ำหนัก จำนวนปริมาณกรดไขมันอิสระที่ถูกดูดซับ พบว่า ลำดับ ตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับสูง คือตัวดูดซับ ซิลิกาที่ผ่านการล้างกรด เถ้าลอยขานอ้อย และตัวดูดซับ ซิลิกาที่ไม่ผ่านการล้างกรด ซึ่งมีค่าปริมาณกรดไขมัน อิสระที่ดูดซับได้เท่ากับ 170, 110 และ 90 มิลลิกรัมต่อ กรัมตามลำดับ เถ้าลอยขานอ้อยซึ่งสารปนเปื้อนอื่นมาก อาจทำให้เกิดการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) จึงมี ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระดีกว่าซิลิกาที่

ไม่ล้างกรด แต่การล้างกรดสามารถช่วยกำจัดสาร ปนเปื้อนอื่นที่ปิดกั้นรูพรุนของซิลิกามากกว่าการกำจัด สารปนเปื้อนที่ช่วยในการดูดซับทางเคมี จึงมี ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระสูงที่สุด

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ ตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิดด้วยเครื่อง XRF แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า ตัวดูดซับซิลิกาที่ผ่านการล้างกรดมีส่วนของ ซิลิกาสูงที่สุด และมีปริมาณสารเจือปนอื่นๆน้อย เถ้าลอย ขานอ้อยมีชนิดของสารเจือปนมากที่สุด

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวดูดซับ ด้วย XRF

องค์ประกอบ (% โดย น้ำหนัก)	ชนิดตัวดูดซับ		
	เถ้าลอย ขานอ้อย	ซิลิกา (ไม่ล้าง กรด)	ซิลิกา (ล้างกรด)
SiO <sub>2</sub>	72.80	95.20	98.00
CaO	9.70	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.80	1.43	0.86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.27	-	-
K <sub>2</sub> O	2.21	0.22	0.04
MgO	1.68	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.10	0.27	0.20
TiO <sub>2</sub>	0.62	-	-
Na <sub>2</sub> O	0.13	2.63	0.69
SO <sub>3</sub>	0.20	-	-
MnO	0.19	-	-

### 3.2 การปรับปรุงความสามารถในการดูดซับกรดไขมัน อิสระของตัวดูดซับซิลิกาโดยการเติมโลหะ

เมื่อนำตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของ โลหะ แต่ละชนิด (อะลูมิเนียม เหล็ก นิกเกิล และคอปเปอร์) ทดสอบการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ 2 ความเข้มข้น คือปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากับ 3.40 และ 2.89 % โดยน้ำหนักและคำนวณค่าความสามารถใน

การดูดซับกรดไขมันอิสระ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2 ซึ่งตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะคอปเปอร์มีค่าสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 405 และ 216.70 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และจากผลการทดลอง ปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ มีผลต่อความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับที่มีส่วนผสมของโลหะทั้ง 4 ชนิด

ตารางที่ 2 ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะ

ชนิดโลหะที่เป็นส่วนผสมของตัวดูดซับซิลิกา	ความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)	
	น้ำมันปาล์มดิบที่มีกรดไขมันอิสระ 3.40 % โดยน้ำหนัก	น้ำมันปาล์มดิบที่มีกรดไขมันอิสระ 2.89 % โดยน้ำหนัก
ไม่เติม	65	-
อะลูมิเนียม	100	84.86
เหล็ก	340	94.54
นิกเกิล	190	75.49
คอปเปอร์	405	216.70

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวดูดซับที่มีส่วนผสมของโลหะด้วยเครื่อง XRF แสดงดังตารางที่ 3 โดยตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะอะลูมิเนียมมีปริมาณซิลิกาออกไซด์มากที่สุด คือ 89.50 % โดยน้ำหนัก ตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะอื่นมีปริมาณเหล็กออกไซด์ นิกเกิลออกไซด์ และคอปเปอร์ออกไซด์เจือปน 6.75, 6.39 และ 7.94 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

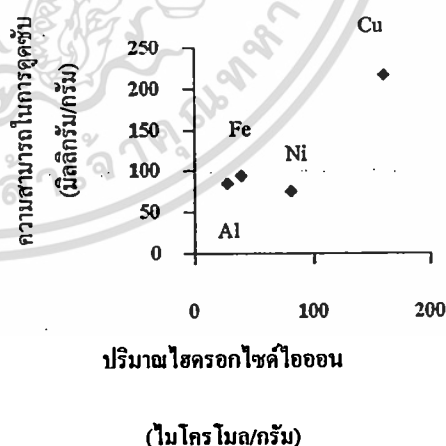
### 3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระกับ ปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนในตัวดูดซับ

จากผลการทดลองหาค่าความเป็นเบสของตัวดูดซับตามขั้นตอนการทดลองที่ 2.5 พบว่าตัวดูดซับที่มีปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนมากจะมีความสามารถในการ

การดูดซับสูงดังแสดงในรูปที่ 1 ยกเว้นตัวดูดซับที่มีส่วนผสมของโลหะนิกเกิล เนื่องจากโลหะนิกเกิลสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนภายในตัวดูดซับได้ง่าย ทำให้ความสามารถในการดูดซับต่ำ

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะด้วย XRF

องค์ประกอบ (% โดยน้ำหนัก)	ชนิดโลหะที่เป็นส่วนผสมของตัวดูดซับซิลิกา			
	อะลูมิเนียม	เหล็ก	นิกเกิล	คอปเปอร์
SiO <sub>2</sub>	89.50	77.90	83.10	74.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.12	4.56	4.97	4.54
Na <sub>2</sub> O	4.90	10.40	5.11	12.50
MgO	0.28	-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	6.75	-	-
NiO	-	-	6.39	-
CuO	-	-	-	7.94



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับกับปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนในตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การวิเคราะห์ความปนเปื้อนของโลหะในน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการดูดซับ

เมื่อวิเคราะห์น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการดูดซับกรดไขมันอิสระด้วยตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะชนิดต่างๆ โดยใช้เครื่อง AAS พบว่า ลำดับของโลหะที่เป็นส่วนผสมของตัวดูดซับที่ทำให้ น้ำมันปาล์มดิบเกิดความปนเปื้อนของโลหะจากสูงไปต่ำ คือ เหล็ก นิกเกิล และคอปเปอร์ ซึ่งมีปริมาณโลหะในน้ำมันปาล์มดิบเท่ากับ 1.167, 1.015 และ 0.145 พีพีเอ็ม (ppm) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำมันตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการดูดซับกรดไขมันอิสระโดยใช้ตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะเหล็กและคอปเปอร์ มีปริมาณโลหะปนเปื้อนผ่านมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขคือไม่เกิน 5.0 และ 0.4 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ดังนั้นการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบโดยการดูดซับด้วยตัวดูดซับซิลิกาที่สังเคราะห์จากเถ้าลอยขานอ้อยจึงมีความเป็นไปได้ในการออกแบบหน่วยดูดซับและใช้งานจริงในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันสำหรับบริโภค

### 4. สรุปผลการทดลอง

ตัวดูดซับซิลิกาสามารถสังเคราะห์จากเถ้าลอยขานอ้อยได้เช่นเดียวกับเถ้าลอยแกลบข้าว และเมื่อนำไปปรับปรุงโดยการเติมโลหะคอปเปอร์ จะสามารถใช้เป็นตัวดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบได้ดีกว่าตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะอะลูมิเนียม เหล็ก และนิกเกิล โดยตัวดูดซับซิลิกาที่มีส่วนผสมของโลหะคอปเปอร์มีค่าความเป็นเบสสูงที่สุด คือมีปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนเท่ากับ 160.50 ไมโครโมลต่อกรัมตัวดูดซับ และทำให้น้ำมันเกิดความปนเปื้อนของโลหะคอปเปอร์เท่ากับ 0.145 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งผ่านมาตรฐานด้านการปนเปื้อนของโลหะคอปเปอร์ตามกำหนดคุณภาพน้ำมันสำหรับบริโภคของประกาศกระทรวงสาธารณสุข

### 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนวิจัย

### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ธิดิมา รักษรรณดี และ มนตรี โฆสิตดูลย์. "การดูดซับโครเมียมในน้ำเสีย ด้วยขานอ้อยที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์." ปรินญาณีพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544
- [2] Kalapathy U., Proctor A. and Shultz J., "A Simple Method for Production of Pure Silica from Rice Hull Ash," Biores. Technol., Vol. 73, 2000, pp. 257-262
- [3] Farook A., & Joo H. C., "The Adsorption of Palmytic Acid on Rice Husk Ash Chemically Modified with Al(III) Ion Using the Sol-gel Technique," J. Colloid Interface Sci., Vol. 280, 2004, pp. 55-61
- [4] กระทรวงสาธารณสุข ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 พ.ศ. 2543 เรื่องน้ำมันและไขมัน. [Online]. Available :<http://elib.fda.moph.go.th/library/default.asp?page2=detail&ngid=102>
- [5] Ian A. Fisher and Alexis T. Bell, "A Mechanistic Study of Methanol Decomposition over  $\text{Cu/SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$  and  $\text{Cu/ZrO}_2/\text{SiO}_2$ ," Journal of catalysis, Vol. 184, 1999, pp. 357 - 376