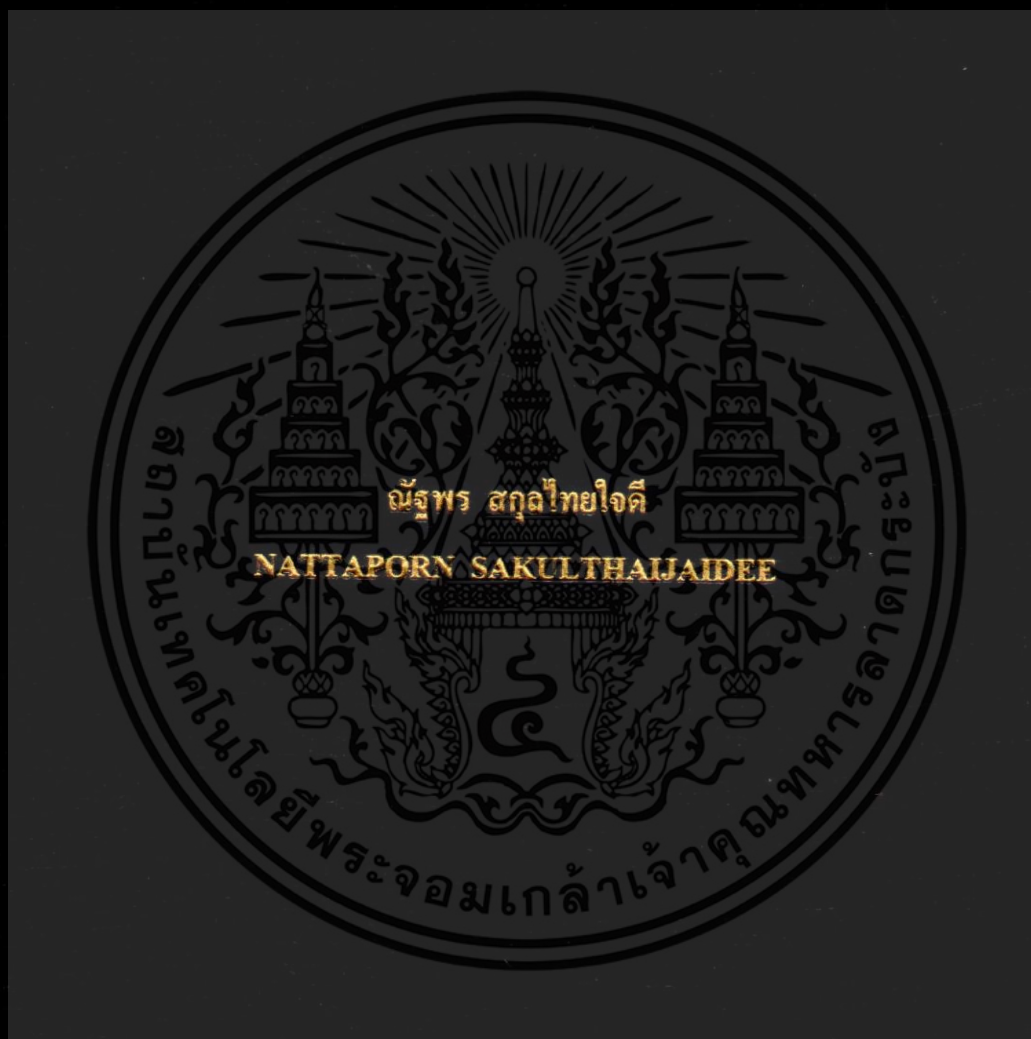


การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทอดด้วยตัวดูดซับเถ้าแกลบแช่กรด

RECOVERY OF USED FRYING OIL BY ACIDIFIED RICE HUSK ASH



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-AI-M-053-240

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทอดด้วยตัวดูดซับเถ้าแกลบแช่กรด

RECOVERY OF USED FRYING OIL BY ACIDIFIED RICE HUSK ASH



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-AI-M-053-240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **Recovery of Used Frying Oil by Acidified Rice Husk Ash**

**NATTAPORN SAKULTJHAIJAIDEE**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE**

**IN FOOD SCIENCE**

**FACULTY OF AGRO-INDUSTRY**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2015**

**KMITL-2015-AI-M-053-240**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2015**

**FACULTY OF AGRO-INDUSTRY**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทอดด้วยตัวดูดซับเถ้าแกลบแช่กรด  
RECOVERY OF USED FRYING OIL BY ACIDIFIED RICE HUSK ASH

ชื่อนักศึกษา นางสาวณัฐพร สกุลไทยใจดี





รหัสประจำตัว 55680205

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พอใจ ถามากร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พอใจ ถามากร	
ดร.กิตติชัย บรรจง	
ผศ.ดร.ประมวดี ศรีกาหลง	
รศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ	

วัน / เดือน / ปีที่ 20 ตุลาคม 2558 เวลา 13.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 19 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทอดด้วยตัวดูดซับจากถั่วแกลบแช่กรด  
นักศึกษา                    นางสาว ณิชพร สกกุลไทยใจดี  
รหัสประจำตัว              55680205  
ปริญญา                      วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา                  วิทยาศาสตร์การอาหาร  
พ.ศ.                          2558  
อาจารย์ที่ปรึกษา         ผศ.ดร. พอใจ ถามากร

### บทคัดย่อ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันใช้แล้วด้วยตัวดูดซับจากถั่วแกลบที่ผ่านการแช่กรดไฮโดรคลอริก และ ไนตริกโดยเปรียบเทียบการแช่กรดก่อนและหลังเผาที่ (550 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง) เพื่อการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำมันใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่พบว่า การแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกก่อนการเผา สามารถทำให้มีปริมาณรูพรุนและขนาดของรูพรุนที่สูงขึ้นทำให้สามารถดูดซับหรือปรับปรุงน้ำมันใช้แล้วให้มีคุณภาพทางเคมี ทั้งค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ พาราแอนนิซิดีน และ สารประกอบมีขี้ผึ้ง ได้ดีมากที่สุดหรือมีร้อยละการปรับปรุง เท่ากับ 69.04 , 58.53 , 35.45 และ 38.89 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันใช้แล้วพบว่า ถั่วแกลบที่แช่กรดหรือไม่แช่กรดสามารถปรับปรุง ค่าสี  $L^*a^*b^*$  ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) การนำถั่วแกลบแช่กรดไฮโดรคลอริกก่อนการเผา มาผสมกับซิลิกาเจล ที่อัตราส่วน ของถั่วแกลบ ต่อ ซิลิกาเจล ร้อยละ 40:60 60:40 80:20 และ 100:0 เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน พบว่า ที่อัตราส่วน 40:60 สามารถปรับปรุง ค่าเปอร์ออกไซด์ และ ค่าสารประกอบมีขี้ผึ้ง ได้มากที่สุดคือร้อยละ 45.16 และ 53.26 ตามลำดับ และการใช้การใช้สารดูดซับผสมในทุกๆอัตราส่วน สามารถปรับปรุงค่าสี  $L^*a^*b^*$  ค่ากรดไขมันอิสระ และ ค่าพาราแอนนิซิดีน ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) การนำน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงมาใช้น้ำมันใช้ในอัตราส่วน น้ำมันใหม่ ต่อ น้ำมันปรับปรุง 75:25 พบว่าเมื่อนำไปทอดแผ่นก๊วยทงที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ไม่ส่งผลต่อสี ความอมน้ำมัน ของแผ่นก๊วย แต่การใช้ไขมันผสมส่งผลต่อค่า TBA ในผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าการใช้น้ำมันใหม่ โดยเฉพาะค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ก๊วยทอดจากน้ำมันทอดซ้ำวันที่ 2 และ 3 มีค่าสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดโดยใช้น้ำมันใหม่อย่างมีนัยสำคัญในระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์

<b>Thesis</b>	Recovery of Used Frying Oil by Acidified Rice Husk Ash
<b>Student</b>	Ms. Nattaporn Sakulthaijaidee
<b>Student ID</b>	55680205
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Food Science
<b>Year</b>	2015
<b>Thesis advisor</b>	Assist. Prof. Dr. Porjai Thamakorn

### Abstract

The recovery of used frying oil by acidified rice husk ash (RHA) adsorbent was investigated. The adsorbent was prepared by acidified rice husk in hydrochloric acid or nitric acid, and before or after incineration at 550°C for 12h. RHA treated by hydrochloric acid before incinerating (BFHCl) had significantly higher ( $p < 0.05$ ) in pore volume and pore diameter than that treated by hydrochloric acid after incineration and also nitric treated and untreated RHA. BFHCl could reduce acid value, peroxide value, para-anisidine and total polar compounds to approximately 69%, 58%, 35% and 39% of the original values, respectively. Blending effect of BFHCl and silica gel in the ratio of 40:60 60:40 80:20 and 100:0 on quality improvement of frying oil was also studied. The ratio of BFHCl : Silica gel 40:60 had the highest ability to reduce peroxide value and total polar compound of about 45% and 53%, respectively. All ratio had no different improvement of color ( $L^*, a^*, b^*$ ), acid value and para-anisidine of recovered oil ( $p > 0.05$ ). The recovered used oil (25%) was mixed with new palm oil (75%) to fry wonton sheet at 160°C and repeated for 3 days. The color and absorbed oil content of fried product was not significant different between frying with blended and new palm oil ( $p > 0.05$ ). However the fried wonton sheet on second and third day of used blended oil had significant greater ( $p > 0.05$ ) on thiobarbituric acid value (TBA) than the one fried with new oil after 4 weeks storage.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาโทของสาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร ผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ.ดร. พอใจ งามาทร ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาและข้อมูลต่างๆ ระหว่างการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณท่านกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ได้แก่ รศ.ดร.ระดิพร หาเรือนกิจ ดร. กิติชัย บรรจง และ ผศ.ดร. ประมวล ศรีกาหลง ที่ช่วยให้คำแนะนำตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิค และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่คอยดูแล อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือและสารเคมี ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำและเป็นกำลังใจให้ทำงานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากปราศจากความช่วยเหลืออันดีจากผู้มีพระคุณทั้งหลาย งานวิจัยนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ และผู้เขียนขอขอบคุณผู้แต่งและสำนักพิมพ์ของหนังสืออ้างอิงดังกล่าวเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่นิสิต นักศึกษาและผู้สนใจอ่านทั่วไป และหากมีข้อความใดหรือเนื้อหาตอนหนึ่งตอนใดผิดพลาดไปเนื่องจากการพิมพ์หรือด้วยเหตุใดก็ตาม ผู้จัดทำยินดีรับการติชมจากผู้อ่านด้วยใจจริง

ณัฐพร สกุลไทยใจดี

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การทอด (Frying).....	3
2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันระหว่างทอดอาหาร.....	3
2.3 สารประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างทอดอาหาร.....	8
2.4 ดัชนีที่ใช้ควบคุมคุณภาพของน้ำมันบริโภค.....	10
2.5 ข้อกำหนดและผลกระทบต่อสุขภาพของน้ำมันทอดซ้ำ.....	11
2.6 สารดูดซับ.....	13
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง.....	21
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	21
3.2 วัสดุดิบ.....	21
3.3 สารเคมี.....	22
3.4 สถานที่ทำการทดลอง.....	22
3.5 วิธีการดำเนินงาน.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ IV ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	26
4.1 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติของสารดูดซับถ้ำเกลบที่เตรียมด้วยการแช่ด้วยกรดไนตริก และ กรดไฮโดรคลอริก.....	26
4.2 ผลการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันด้วยสารดูดซับถ้ำเกลบที่เตรียมด้วยการแช่ด้วยกรดไนตริก และ กรดไฮโดรคลอริก.....	28
4.3 ผลการศึกษาสัดส่วนของสารดูดซับถ้ำเกลบและซิลิกาเจลในการดูดซับน้ำมันที่ผ่านการทอด.....	38
4.4 ผลการศึกษาการนำไปใช้ใหม่ของน้ำมันที่ผ่านการดูดซับ.....	44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	55
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
บรรณานุกรม.....	57
ภาคผนวก.....	61
ภาคผนวก ก.....	62
ภาคผนวก ข.....	71
ภาคผนวก ค.....	73
ภาคผนวก ง.....	75
ภาคผนวก จ.....	77
ประวัติผู้วิจัย.....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อVอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อกำหนดของน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการทอดในแต่ละประเทศ.....	12
2.2	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของน้ำมันปาล์มโอเลอินผ่านกรรมวิธี.....	13
2.3	องค์ประกอบแร่ธาตุของ Magnesol XL, diatomaceous earth และเถ้าแกลบ.....	16
2.4	องค์ประกอบแร่ธาตุของเถ้าแกลบก่อนและหลังการเผาที่ 700 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง.....	17
4.1	ลักษณะสมบัติเฉพาะของสารดูดซับเถ้าแกลบที่เตรียมด้วยการแช่กรดไนตริก และกรดไฮโดรคลอริกก่อนและหลังการเผา.....	27
4.2	ปริมาณของน้ำมันภายหลังจากผ่านกระบวนการดูดซับด้วยเถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด.....	28
4.3	ร้อยละของปริมาณน้ำมันที่อยู่ในแผ่นแก้วที่ใช้ น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันผสมทอดซ้ำเป็นเวลา 3 วัน.....	51
4.4	ค่าสี $L^*, a^*, b^*$ , Chroma และ Hue ของแผ่นแก้วที่ใช้ น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันผสมทอดซ้ำเป็นเวลา 3 วัน.....	52
ก1	ปริมาณกรดไขมันอิสระ, ปริมาณแอลกอฮอล์ และ ความเข้มข้นของด่าง.....	62
ข1	สมบัติทางเคมีและร้อยละการปรับปรุงของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดใ้ชุบแป้งก่อนและหลังการดูดซับด้วยเถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด.....	71
ข2	สมบัติทางกายภาพและร้อยละการปรับปรุงของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดใ้ชุบแป้งก่อนและหลังการดูดซับด้วยเถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด.....	72
ค1	สมบัติทางเคมีและร้อยละการปรับปรุงของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดใ้ชุบแป้งก่อนและหลังการดูดซับด้วยเถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดและซิลิกาเจลที่อัตราส่วนต่างๆ.....	73
ค2	สมบัติทางกายภาพและร้อยละการปรับปรุงของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดใ้ชุบแป้งก่อนและหลังการดูดซับด้วยเถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดและซิลิกาเจลที่อัตราส่วนต่างๆ.....	74

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ง1 สมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผสมที่ผ่านการทอดแผ่นกล้วยข้าวเป็นเวลา 3 วัน.....	75
ง2 สมบัติทางกายภาพสมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผสมที่ผ่านการทอดแผ่นกล้วยข้าวเป็นเวลา 3 วัน.....	76
จ1 ค่าTBA ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำมันที่นำมาทอดข้าวเป็นเวลา 3 วัน โดยใช้ น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันผสมน้ำมันปรับปรุง หลังการทอดทันที.....	77
จ2 ค่าTBA ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำมันที่นำมาทอดข้าวเป็นเวลา 3 วัน โดยใช้ น้ำมันปาล์มใหม่และ น้ำมันผสมน้ำมันปรับปรุงหลังจากการเก็บไว้ เป็นเวลา 1 สัปดาห์.....	77
จ3 ค่าTBA ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำมันที่นำมาทอดข้าวเป็นเวลา 3 วัน โดยใช้ น้ำมันปาล์มใหม่และ น้ำมันผสมน้ำมันปรับปรุงหลังจากการเก็บไว้ เป็นเวลา 2 สัปดาห์.....	78
จ4 ค่าTBA ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำมันที่นำมาทอดข้าวเป็นเวลา 3 วัน โดยใช้ น้ำมันปาล์มใหม่และ น้ำมันผสมน้ำมันปรับปรุงหลังจากการเก็บไว้ เป็นเวลา 3 สัปดาห์.....	78
จ5 ค่าTBA ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำมันที่นำมาทอดข้าวเป็นเวลา 3 วัน โดยใช้ น้ำมันปาล์มใหม่และ น้ำมันผสมน้ำมันปรับปรุงหลังจากการเก็บไว้ เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	79

# สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	แสดงการสลายตัวของสาร 9-Hydroperoxide linoleic acid..... 5
2.2	แสดงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ..... 7
2.3	แสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ..... 7
2.4	แสดงการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน (polymerization)..... 8
2.5	แสดงการเกิดสารประกอบต่างๆในน้ำมันทอด..... 9
4.1	ค่าความเป็นกรดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และ น้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ผ่าน การปรับปรุงคุณภาพโดยถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่กรด..... 30
4.2	ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ผ่าน การปรับปรุงคุณภาพโดยถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด..... 31
4.3	ค่าสารประกอบมีขี้ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด..... 32
4.4	ค่าพาราแอนนิซินดินของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ผ่าน การปรับปรุงคุณภาพโดยถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด..... 33
4.5	ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ผ่านการ ปรับปรุงคุณภาพโดยถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด..... 34
4.6	ค่าสี $L^*$ ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการดูดซับโดยถั่ว เหลืองที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด..... 35
4.7	ค่าสี $a^*$ ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ผ่านการปรับ- ปรับปรุงคุณภาพโดยถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด..... 36
4.8	ค่าสี $b^*$ ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ผ่านการ ปรับปรุงคุณภาพโดยถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด..... 36
4.9	ค่าสี Chroma ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ผ่านการ ปรับปรุงคุณภาพโดยถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด..... 37
4.10	ค่าสี Hue angle ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ผ่าน การปรับปรุงคุณภาพโดยถั่วเหลืองที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด..... 37
4.11	ค่าความเป็นกรด ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถั่ว เหลืองและซิลิกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ..... 39

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.12	ค่าเปอร์ออกไซด์ ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถั่ว แกลบและซีลีกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ..... 39
4.13	ค่าสารประกอบมีขี้ ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่าง ถั่วแกลบและซีลีกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ..... 40
4.14	ค่าพาราแอนนิซิติน ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่าง ถั่วแกลบและซีลีกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ..... 41
4.15	ค่าความหนืด ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถั่ว แกลบและซีลีกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ..... 41
4.16	ค่าสี L* ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถั่วแกลบ และ ซีลีกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ..... 42
4.17	ค่าสี a* ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถั่วแกลบ และ ซีลีกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ..... 42
4.18	ค่าสี b* ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถั่วแกลบ และ ซีลีกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ..... 43
4.19	ค่าสี Chroma ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถั่ว แกลบ และซีลีกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ..... 43
4.20	ค่าสี Hue angle ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถั่ว แกลบ และซีลีกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ..... 44
4.21	ค่าความเป็นกรด (ร้อยละ) ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดเกี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน..... 45
4.22	ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg) ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดเกี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน.... 46
4.23	ค่าสารประกอบมีขี้ (ร้อยละ) ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดเกี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน 46
4.24	ค่าพาราแอนนิซิติน (meq/kg) ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดเกี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน.... 47
4.25	ค่าความหนืด (cP) ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดเกี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน..... 48
4.26	ค่าสี L* ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดเกี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน..... 49
4.27	ค่าสี a* ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดเกี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน..... 49
4.28	ค่าสี b* ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดเกี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน..... 50
4.29	ค่าสี Chroma ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดเกี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน..... 50

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4.30	ค่าสี Hue angle ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดเกี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน.....	50
4.13	ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ที่ทำที่นำมาทอดซ้ำเป็นเวลา 3 วัน โดยใช้ น้ำมันปาล์มใหม่ และน้ำมันผสมในการทอดและเก็บไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

การทอดเป็นการแปรรูปอาหารด้วยความร้อนที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีลักษณะที่กรอบนอกนุ่มใน หรือกรอบทั้งชิ้น มีกลิ่นรสและลักษณะที่ทำให้น่ารับประทาน อีกทั้งยังมีวิธีการที่สะดวกรวดเร็ว แต่ทั้งนี้หากรับประทานในปริมาณที่มากเกินไป และจากที่ผู้ขายหลายรายยังใช้น้ำมันที่ทอดอาหารซ้ำเป็นเวลานาน ก็จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายของผู้บริโภคได้

การทอดอาหารนั้นใช้น้ำมันทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนสู่อาหาร น้ำมันที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานขณะทำการทอด จะมีน้ำที่ปลดปล่อยออกมาจากอาหาร จะทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส คือไขมันหรือน้ำมันจะถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) และกลีเซอรอล (glycerol) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยานี้ทำให้ค่าความเป็นกรดของไขมันและน้ำมันสูงขึ้น เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจะสลายตัวได้สารพวก อะโครเลอิน (acrolein) ซึ่งระเหยกลายเป็นควัน ทำให้อาหารมีกลิ่นผิดปกติและน้ำมันมีสีคล้ำ การเกิดพอลิเมอร์ไฮดรอกซีของโมเลกุลน้ำมัน ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะทำให้เกิดสารประกอบที่มีวงแหวน (cyclic compounds) และพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้น้ำมันมีการเกิดฟอง (foaming) มากขึ้นและมีการเกิดสารเหนียว (gumming) แสดงให้เห็นว่าน้ำมันมีการเสื่อมคุณภาพ ปริมาณของกรดไขมันอิสระภายในอาหารก็จะเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทอด ขนาดและลักษณะของอาหาร คุณภาพของน้ำมันและการเก็บรักษาภายหลังการทอด

การศึกษาศาสตร์ดูดซับเพื่อลดปริมาณของสารประกอบที่เป็นอันตรายอันเกิดจากน้ำมันที่ทอดซ้ำเป็นเวลานานเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันนั้นให้ดีขึ้น เช่นการใช้สารดูดซับซิลิกาเจล วริศรา (2548) พบว่าซิลิกาเจลสามารถดูดซับสารมีขั้วต่างๆออกจากน้ำมันได้ และยังสามารถปรับปรุงสีและคุณภาพของน้ำมันให้ดีขึ้น Della และคณะ (2002) ศึกษาพบว่าในเกลบซึ่งเป็นผลพลอยได้จาก การกะเทาะเปลือกเมล็ดข้าวมีสารประกอบซิลิกาเป็นสารประกอบหลักอยู่ถึงร้อยละ 95 ในการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการเตรียมเถ้าเกลบ โดยการนำเกลบไปแช่ในกรดเพื่อศึกษาขนาดของพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุน เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับสารประกอบต่างๆที่เกิดจากความร้อนในระหว่างการทอดอาหาร ทำให้สามารถนำน้ำมันที่ทอดแล้วกลับมาใช้ใหม่หรือผสมกับน้ำมันใหม่ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบลักษณะและคุณสมบัติของสารดูดซับถั่วแกลบที่เตรียมด้วยการแช่ด้วยกรดไนตริก และ กรดไฮโดรคลอริก ก่อนและหลังการเผา

1.2.2 เพื่อศึกษาสัดส่วนของถั่วแกลบและซิลิกาเจลเพื่อใช้เพิ่มประสิทธิภาพการปรับปรุงน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว

1.2.3 เพื่อศึกษาการนำไปใช้ใหม่ของน้ำมันที่ผ่านการดูดซับในลักษณะของการผสมกับน้ำมันใหม่

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของสารดูดซับถั่วแกลบที่เตรียมด้วยการแช่ด้วย กรดไนตริก 10 N เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ กรดไฮโดรคลอริก 3N เวลา 3 ชั่วโมง ในสัดส่วน แกลบ 1 ส่วน ต่อ กรด 5 ส่วน (w/v) โดยเปรียบเทียบการแช่กรดก่อนและหลังการเผา โดยทำการเผาที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำถั่วแกลบไปดูดซับน้ำมันทอดอาหารที่ 80 องศาเซลเซียส ศึกษาสัดส่วนของ ถั่วแกลบและซิลิกาเจลที่อัตราส่วนของถั่วแกลบต่อซิลิกาเจล ร้อยละ 40:60 60:40 80:20 และ 100:0 ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ และศึกษาสมบัติการทอดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันที่ปรับปรุงและน้ำมันใหม่ต่อการทอดแผ่นกล้วย โดยวิเคราะห์คุณภาพระหว่างการนำไปใช้ทอดกล้วย ได้แก่ ค่าสารประกอบมีขี้้ว ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนิซิดีน ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าความหนืด ค่าสี และ ศึกษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของกล้วยเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ที่ อุณหภูมิห้อง โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA ค่าสี และความอมน้ำมันของกล้วย

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อพัฒนาวิธีการเตรียมสารดูดซับจากถั่วแกลบ

1.4.2 เพื่อคิดค้นแนวทางการนำน้ำมันทอดอาหารกลับมาใช้ใหม่

1.4.3 เพื่อลดความเสี่ยงหรืออันตรายที่เกิดการบริโภคน้ำมันทอดซ้ำ

1.4.4 เพื่อเป็นการนำถั่วแกลบกลับมาใช้ประโยชน์

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การทอด (Frying)

การทอดอาหารถือเป็นกระบวนการที่ใช้ผลิตอาหารที่นิยมกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก โดยการทอดอาหารนั้นเป็นการทำอาหารให้สุกโดยใส่ในน้ำมันที่ร้อน ประมาณ 150 องศาเซลเซียส ถึง 190 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิในอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จะมีการสูญเสียน้ำออกจากอาหาร ส่งผลให้ผิวหน้าของอาหารที่ทอดแห้งเหมือนกับทำให้ความร้อนโดยวิธีอบ (baking) โดยระหว่างการทอดทั้งน้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนบริเวณผิวของอาหาร และน้ำมันจะเข้าไปแทนที่น้ำและไอน้ำที่เคลื่อนที่ออกมา ซึ่งความชื้นดังกล่าวจะเคลื่อนที่ผ่านไปยังผิวของน้ำมัน โดยเวลาของการทอดอาหารนั้นขึ้นกับ ชนิดของอาหาร อุณหภูมิของน้ำมัน วิธีที่ใช้ในกระบวนการทอด ความหนาของอาหาร และความต้องการในด้านคุณภาพของอาหาร (Wai , 2007)

สิ่งสำคัญคืออุณหภูมิที่ใช้ในการทอด ซึ่งต้องคำนึงถึงความประหยัดและผลที่มีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยการใช้อุณหภูมิที่สูงจะใช้เวลาทอดที่สั้นทำให้มีอัตราการผลิตที่สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการทอดอาหารด้วยอุณหภูมิที่สูงนั้นทำให้เกิดความเสี่ยงของน้ำมันได้อย่างรวดเร็ว เช่น การเปลี่ยนแปลงไปเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว การเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืด กลิ่นรส และสีของน้ำมันที่ใช้ทอด โดยการเสื่อมเสียของน้ำมันนั้นจะส่งผลต่อคุณภาพของอาหารด้วยเช่นกัน

### 2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันระหว่างทอดอาหาร

น้ำมันโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ประมาณร้อยละ 96-99 ซึ่งในระหว่างทอดอาหารนั้นน้ำมันได้รับความร้อนสูงถึง 160-180 องศาเซลเซียส และมีการสัมผัสกับออกซิเจนและน้ำจึงมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเกิดสารประกอบมากกว่า 400 ชนิดนำไปสู่การเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดอาหาร เช่น จุดเกิดควันต่ำลง สีเข้มขึ้น กลิ่นรสเปลี่ยนไป ฟองมากขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้น มีกรดไขมันอิสระ สารโพลาร์และสาร โพลีเมอร์เพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของอาหารที่นำมาทอด (Paul and mittal, 1977) โดยในระหว่งการทอด จะเกิดปฏิกิริยาเคมีของน้ำมันดังนี้

#### 2.2.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation)

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาที่ออกซิเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่ตำแหน่งพันธะคู่ ทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสีย โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นช้าๆ ระหว่างการเก็บรักษา แต่เมื่อมีการให้ความร้อนแก่น้ำมันปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปฐมภูมิ (primary oxidation products) มีสมบัติไม่

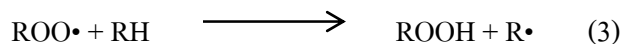
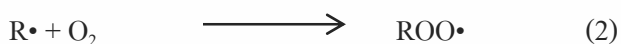
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสถียร คือ สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบทุติยภูมิ (secondary oxidation products) อื่นๆ ได้ ดังนี้

1. จากการแตกตัว (fission) เป็นแอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ กรดไฮโดรคาร์บอน
2. จากการสูญเสียน้ำ (dehydration) ได้ คีโตน
3. จากการก่อรูปของอนุมูลอิสระได้แก่มโนเมอร์ ไดเมอร์ ไตรเมอร์ พอลิเมอร์ อีพอกไซด์ แอลกอฮอล์ โดยสารประกอบเหล่านี้ทำให้น้ำมันทอดมีกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์

ปฏิกิริยาอโตออกซิเดชัน (autooxidation) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลา โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาอโตออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่อไขมันหรือน้ำมันได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้น มีการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ได้รับแสงและ สัมผัสกับวัตถุที่เป็น โปรออกซิแดนซ์ (prooxidant) เช่น ทองแดง ทองเหลือง ตะกั่ว ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น การเกิดกลิ่นโดยปฏิกิริยานี้ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกาย ถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมันและน้ำมันลดลงด้วย และยังทำลายพวกวิตามินต่างๆ ที่ละลายในไขมันและน้ำมันได้อีกด้วย (นิธิยา รัตนานพนธ์, 2545)

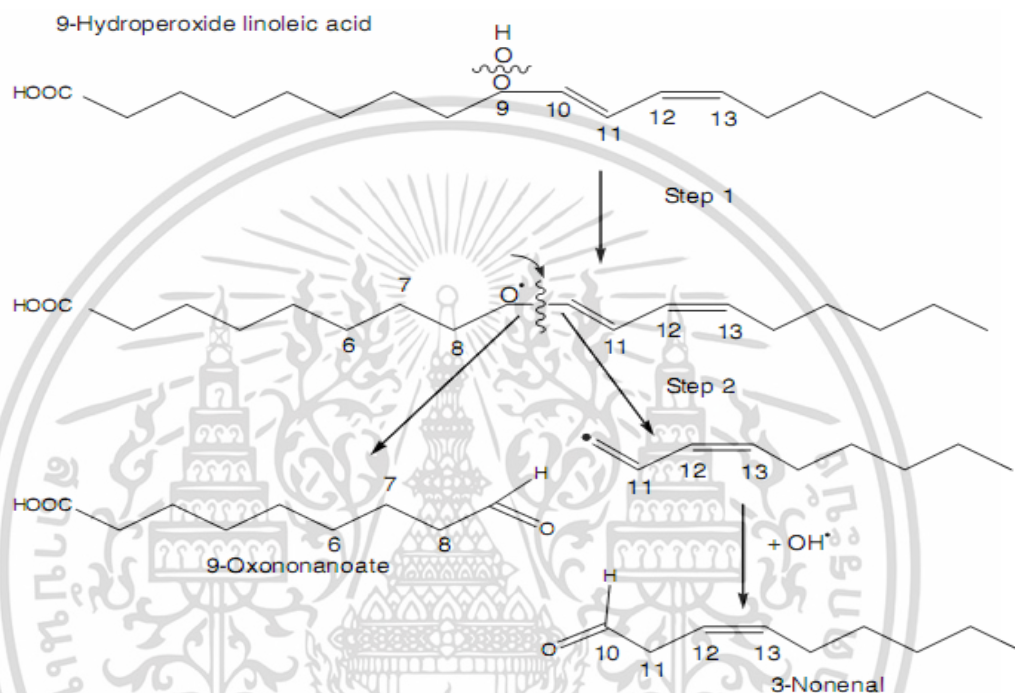
อโตออกซิเดชันเป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลออกซิเจนกับไขมันไม่อิ่มตัวเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ที่เกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระ (free radical) (Shahidi and Wanasundara, 1992) โดยมี ออกซิเจน โลหะไอออน แสงหรือความร้อนเป็นสารตั้งต้น (initiator) การเกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนแรกนี้  $\alpha$ -methylene hydrogen ในโมเลกุลของไขมันไม่อิ่มตัวจะถูกดึงออกทำให้ไขมันไม่อิ่มตัวถูกเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลอิสระของลิปิด (lipid free radicals) (ปฏิกิริยา (1)) อนุมูลอิสระนี้มีความว่องไวมากสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปโดยการรวมตัวกับโมเลกุลออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระของเปอร์ออกไซด์ (ปฏิกิริยา(2)) อนุมูลอิสระนี้จะเป็นตัวการที่ทำให้ปฏิกิริยาอโตออกซิเดชันเกิดอย่างต่อเนื่องโดยไปดึงอนุมูลอิสระไฮโดรเจนจากไขมันไม่อิ่มตัวในโมเลกุลอื่นๆ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระของลิปิดตัวใหม่และเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้หมุนเวียนกันไป (ปฏิกิริยา (2) และ(3)) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้คือไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide)



สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวและเปลี่ยนแปลงต่อไปให้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์ คีโตน แอลดีไฮด์ ไฮโดรคาร์บอน หรือ ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ส่งผลให้ลักษณะสี กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารเปลี่ยนแปลงไป (Shahidi and

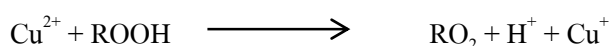
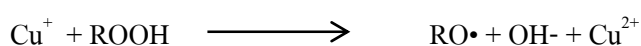
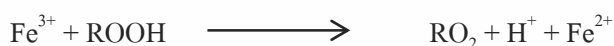
Wanasundara, 1992) โดยสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวเมื่อมีอุณหภูมิที่สูง มีแสง หรือมีสาร  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (prooxidant) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะขึ้นกับชนิดของกรดไขมันอิสระ และขึ้นกับตำแหน่งของหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ด้วย ดังภาพที่ 2.1 แสดงถึงการสลายตัวของ 9-Hydroperoxide linoleic acid เป็นสารอัลดีไฮด์ 3-normal ซึ่งจะเกิดอนุมูล alkoxy ที่จะสามารถนำไปสู่การเกิดปฏิกิริยา  $\beta$ -scission ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้กรดไขมันสลายตัวไปเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลต่ำหรือสารที่ทำให้เกิดกลิ่นหืน (Srinivasan *et al.*, 2008)



ภาพที่ 2.1 แสดงการสลายตัวของสาร 9-Hydroperoxide linoleic acid  
ที่มา: Srinivasan และคณะ, 2008

สารโลหะ (prooxidant) จะเป็นตัวเร่งให้เกิดโดยการสลายตัวของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Marisa *et al.*, 2012) โดยเฉพาะ  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^+$  หรือ  $\text{Cu}^{2+}$  ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



นอกจากนี้อนุมูลอิสระของลิพิด (lipid free radicals) ที่เกิดขึ้นยังอาจทำให้โมเลกุลอื่นๆที่อยู่ในอาหารเช่น รงควัตถุ สารให้กลิ่น วิตามิน เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมี 3 ขั้นตอนแสดงดังภาพที่ 2.2 ดังนี้

### 2.2.1.1 ขั้นเริ่มต้น (Initiation)

ขั้นตอนการเริ่มเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) เกิดกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ซึ่งไม่แข็งแรง ไวต่อปฏิกิริยา โดยเริ่มต้นที่ตำแหน่งพันธะคู่สูญเสียไฮโดรเจนอะตอม ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นด้วยแสง รังสี โลหะ ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระไฮโดรคาร์บอน ( $R\cdot$ ) ซึ่งอะตอมอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเป็นอิเล็กตรอนที่ไม่มีคู่ (unpaired electron) ซึ่งว่องไวต่อปฏิกิริยา



### 2.2.1.2 ขั้นเกิดปฏิกิริยาแบบทวีคูณ (propagation)

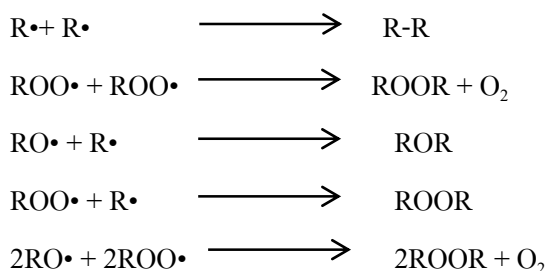
เกิดจากออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ของไฮโดรเจนคาร์บอน เกิดเป็น peroxy-radical ( $ROO\cdot$ ) ซึ่งขั้นตอนนี้ เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากมาย โดย peroxy radical ทำปฏิกิริยาต่อกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวใหม่ ได้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ( $ROOH$ )



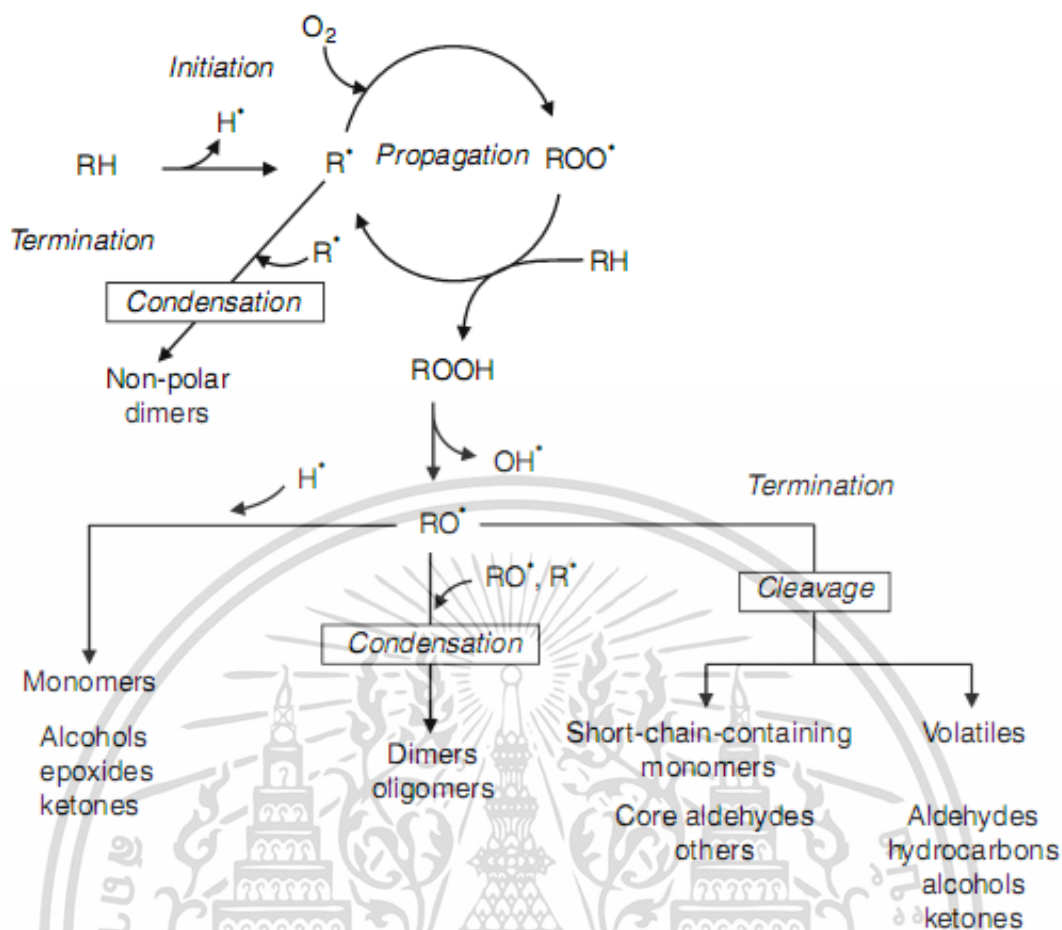
เพอร์ออกไซด์หรือไฮโดรเพอร์ออกไซด์ ที่เกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นต้นที่ไม่มีกลิ่นหรือรสชาติ แต่จะแตกตัวต่อไปได้แอลดีไฮด์ คีโตน กรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์หลากหลายชนิดผสมผสานกันทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์

### 2.2.1.3 ขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยา (termination)

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมารวมตัวกันเองเกิดเป็นสารใหม่ (secondary product) เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ อัลเคน และ กรด เป็นต้นซึ่งทำให้เกิดสี กลิ่น และ รส ที่ผิดปกติของน้ำมัน และไขมัน การสิ้นสุดปฏิกิริยา สามารถเกิดขึ้นได้ตามปฏิกิริยาดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

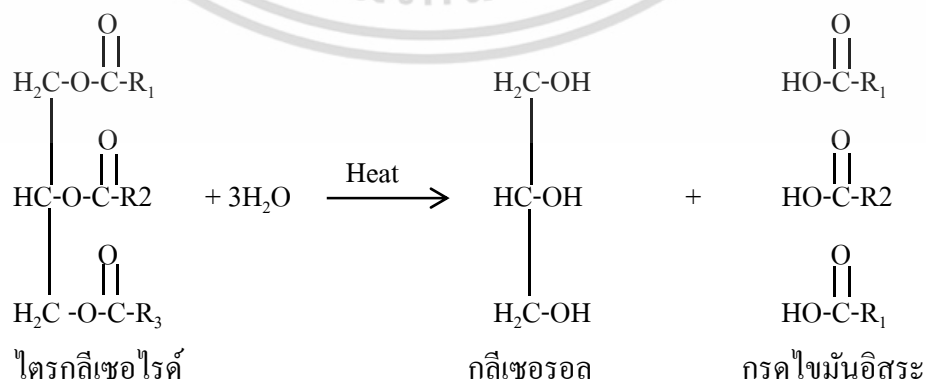


ภาพที่ 2.2 แสดงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation)

ที่มา : Velasco และ คณะ (2009)

### 2.2.2 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนสูง เช่น ขณะทอดอาหารที่มีปริมาณน้ำสูง ไขมันหรือน้ำมันจะถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) และ กลีเซอรอล (glycerol) ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

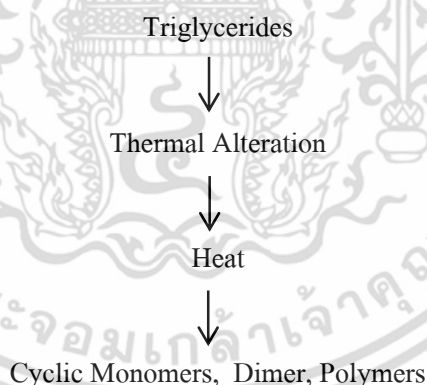
ที่มา : นิธิยา รัตนานนท์ (2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการเกิดปฏิกิริยานี้ทำให้ค่าความเป็นกรดของไขมันและน้ำมันสูงขึ้น เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจะสลายตัวได้สารพวกอะโครเลอิน (acrolein) ซึ่งระเหยกลายเป็นควันและมีกลิ่นเหม็น (นิธิยา รัตนานนท์, 2545) โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่เพิ่มเข้าไปในน้ำมันทอด ถ้ามีปริมาณน้ำมากขึ้นจะเกิดเร็วขึ้น อุณหภูมิของน้ำมันทอดถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดมากขึ้น อัตราการเติมน้ำมันแทนที่น้ำมันที่ใช้หายไประหว่างทอด หากมีการแทนที่น้ำมันใช้แล้วด้วยน้ำมันใหม่มากขึ้นอัตราการเกิดจะน้อยลง และเมื่อกากและเศษอาหารที่สะสมในเตาทอด ถ้ามีเศษอาหารสะสมในเตาทอดมากจะทำให้อัตราการเกิดมากขึ้นด้วย

### 2.2.3 การเกิดโพลิเมอร์ด้วยความร้อน (polymerization)

การทอดอาหารที่อุณหภูมิ 200-300 องศาเซลเซียส ไตรกลีเซอไรด์ ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสามารถมารวมตัวกันเกิดเป็นโพลิเมอร์ โดยมีการเกิดพันธะใหม่ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน โดยไม่มีอะตอมของออกซิเจนในโมเลกุลไขมัน ถ้าพันธะเหล่านี้เกิดในกรดไขมัน 1 โมเลกุล จะทำให้เกิดกรดไขมันแบบต่อกันเป็นวง (cyclic fatty acid) ถ้าเกิดพันธะระหว่างกรดไขมัน 2 โมเลกุล อาจเกิดภายในโมเลกุลเดียวกันหรือระหว่างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้เกิดกรดไดเมอร์ (dimers) และถ้าเกิดพันธะข้ามระหว่างโมเลกุลเหล่านี้ต่อไปก็ทำให้เกิดโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นอีกซึ่งจะทำให้ไขมันมีการเกิดฟอง (foaming) มากขึ้นและมีการเกิดสารเหนียว (gumming) แสดงให้เห็นว่าไขมันมีการเสื่อมคุณภาพ (มณฑาทิพย์ ชูณฉลาด, 2535) แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน (polymerization)

ที่มา: Paul และ Mittal (1997)

## 2.3 สารประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดอาหาร

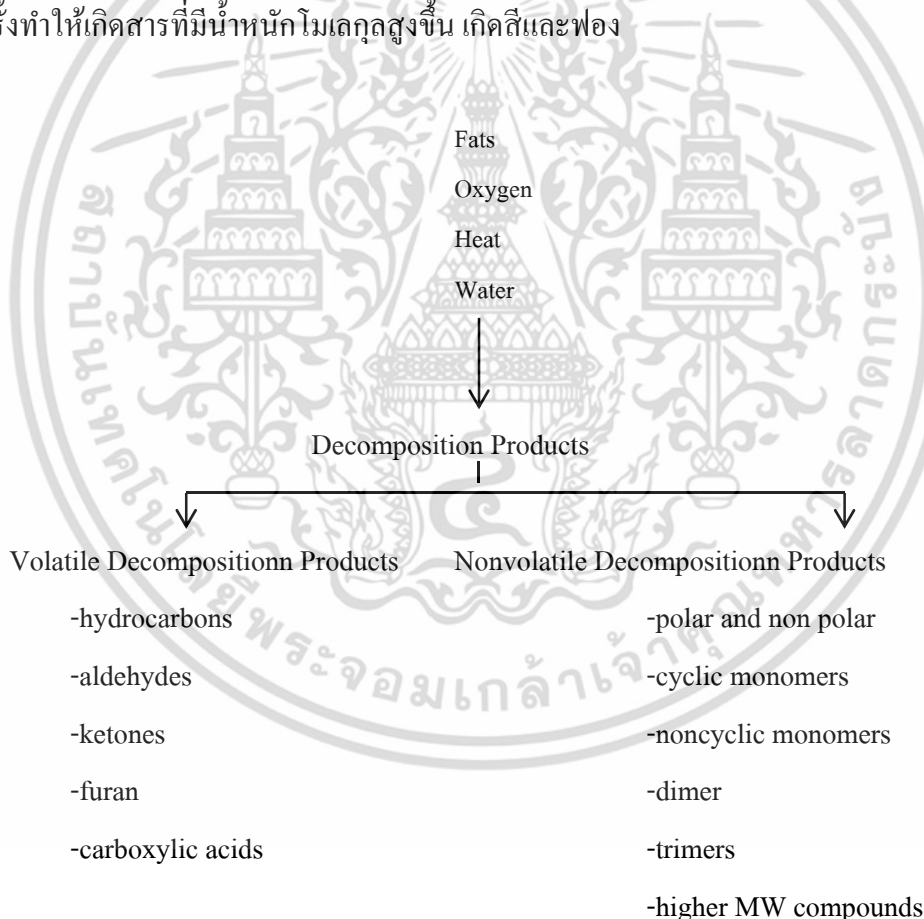
ในระหว่างทอดอาหารเมื่อมีการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีจะทำให้ได้สารประกอบต่างๆมากมาย ดังภาพที่ 2.5 ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือสารประกอบที่สลายตัวระเหยได้ (volatile decomposition products) และ สารประกอบที่สลายตัวไม่ระเหย (nonvolatile decomposition products) ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 สารประกอบสลายตัวระเหยได้ (volatile decomposed products)

การสลายตัวของกรดไขมันในน้ำมันทอดจะส่งผลต่อการเกิดสารประกอบสลายตัวระเหยได้และส่งผลต่อกลิ่นรสของตัวอาหารทอด สารประกอบสลายตัวระเหยได้ เช่น ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) คีโตน (ketone) อัลดีไฮด์ (aldehyde) กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic) เป็นต้น ซึ่งสารประกอบกลุ่มนี้มีผลต่อกลิ่นรสของอาหารทอด

### 2.3.2 สารประกอบสลายตัวที่ไม่ระเหย (nonvolatile decomposed products)

สารเหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดออกซิเดชันและโพลิเมอไรเซชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมัน สารประกอบสลายตัวที่ไม่ระเหย เช่น โมโนเมอร์แบบวง (cyclic monomer) โมโนเมอร์ไม่ไซ้แบบวง (noncyclic monomer) ไดเมอร์ (dimer) ไตรเมอร์ (trimer) และสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สารที่ไม่ระเหยเหล่านี้ยังคงอยู่ในน้ำมันทอด และจะเสื่อมสลายต่อไปทุกครั้งที่ใช้น้ำมันนี้ทอดอาหาร และอาหารจะดูดซึมสารเหล่านี้ไว้ หากใช้น้ำมันทอดหลายๆ ครั้งทำให้เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น เกิดสีและฟอง



ภาพที่ 2.5 แสดงการเกิดสารประกอบต่างๆในน้ำมันทอด

ที่มา : White (1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ดัชนีที่ใช้ควบคุมคุณภาพของน้ำมันบริโภค

### 2.4.1 ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (polar compound)

สารประกอบมีขั้วเกิดจากไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีขั้วในน้ำมันถูกไฮโดรไลซิส ออกซิไดซ์ และโพลิเมอร์ไรซ์ ได้สารประกอบมีขั้ว เช่น กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ออกซิไดส์ไตรกลีเซอไรด์ ไซคลิกโมโนเมอร์ ไดเมอร์และโพลิเมอร์ของไตรกลีเซอไรด์ ไดเมอร์และโพลิเมอร์ที่ถูกออกซิไดซ์ ดังนั้นสารประกอบมีขั้วจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพและการยอมรับของน้ำมันใช้แล้วในทุกประเทศ หากมีสารประกอบมีขั้วมากในน้ำมันทอดจะมีผลต่อกลิ่นรสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทั่วไปจึงอนุญาตให้น้ำมันใช้แล้วมีปริมาณของสารประกอบมีขั้วไม่มากกว่าร้อยละ 25-30

### 2.4.2 ค่าความเป็นกรด (acidity)

เป็นการวัดปริมาณกรดไขมันอิสระซึ่งเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงการเกิดไฮโดรไลซิสของน้ำมันในระหว่างทอด สามารถบ่งชี้ความเป็นกรดของน้ำมัน ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระมากจะทำให้ น้ำมันมีจุดเกิดควันต่ำลง และปริมาณกรดไขมันอิสระ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บสั้นลง

### 2.4.3 จุดเกิดควัน (smoke point)

จุดเกิดควัน คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนจนเกิดเป็นควันขึ้น เป็นสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหรือไขมันในการจะนำไปใช้ในการทอดอาหาร บ่งบอกถึงความคงทน ความร้อนของน้ำมันเมื่อสัมผัสกับความร้อน เป็นการแสดงถึงคุณภาพของน้ำมันที่จะนำมาใช้ โดยน้ำมันที่จุดเกิดควันต่ำเกินไปไม่ควรนำมาใช้ทอดอาหาร เพราะควันที่เกิดขึ้นขณะทอดจะทำให้ อาหารมีกลิ่นควันติดไปด้วย ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันมีความสัมพันธ์ต่ออุณหภูมิที่ทำให้เกิดควัน หากน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระต่ำจะทำให้จุดเกิดควันสูง แต่ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ค่าจุดเกิดควันจะลดลงโดยเมื่อการทอดเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลของกลีเซอรอล จะเปลี่ยนเป็น อะโครเลอิน (acrolein) ซึ่งเป็นสารที่เป็นส่วนประกอบของสารเกิดควันที่ทำให้เกิดการ แสบตาแสบคอ

### 2.4.4 ความหนืด (viscosity)

บ่งบอกถึงองค์ประกอบและชนิดของกรดไขมัน ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นและเมื่ออุณหภูมิของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่ความหนืดของน้ำมันทอดเพิ่มขึ้นนั้นมีผลมาจากในระหว่างการทอดมี สารโพลิเมอร์ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ น้ำมันมีความหนืดและฟองมากขึ้น

### 2.4.5 สี (color)

สีเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันได้ น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ รังควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสี น้ำมันที่มีสี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เป็นการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลืองอ่อนจะคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม อาหารที่ทอดจะให้สารพวกฟอสเฟต และ ซัลเฟอร์ ซึ่งสารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำมันทอดทำให้น้ำมันมีสีดำ และจะสะสมอยู่ในน้ำมัน ระหว่างการทอดอาหาร เมื่อน้ำมันดำขึ้นหลังจากการทอด อาหารที่ทอดในน้ำมันจะมีสีดำในอัตราที่ รวดเร็วมากจนถึงจุดซึ่งอาหารที่ทอดจะดำทั้งที่ยังไม่สุกหมด

#### 2.4.6 ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)

ค่าเปอร์ออกไซด์ เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่มีเปอร์ ออกไซด์เป็นสารปฐมภูมิ ซึ่งเป็นสาเหตุและสามารถบ่งชี้การเกิดกลิ่นหืน (rancidity) ที่เป็นค่าที่ บอกราคาเสื่อมเสียของน้ำมันได้ ถ้าค่าเปอร์ออกไซด์สูงแสดงว่าไขมันหรือน้ำมันเกิดออกซิเดชันมาก มีกลิ่นเหม็นหืนมาก จาก ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 56 (พ.ศ.2524) เรื่อง น้ำมัน ปาล์ม กำหนดให้ น้ำมันปาล์มบริ โภค มีค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมสมมูลย์เปอร์ออกไซด์ ออกซิเจนต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม

#### 2.4.7 ค่าพาราแอนนิซิดิน (p-anisidine)

เป็นการหาปริมาณสารอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นจากการออกซิเดชันของไขมันได้แก่ 2,4 dienals และ 2-alkenals เป็นต้น ซึ่งสารอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นเหล่านี้เป็นสารที่ให้กลิ่นหืน หากมีการพบ สารเหล่านี้มากในน้ำมันทอดแสดงว่ามีการหืนมากและจะส่งผลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหาร ทอด ทำให้มีกลิ่นรสผิดปกติ

#### 2.4.8 ปริมาณสาร โพลีเมอร์ (polymer)

สาร โพลีเมอร์เป็นสารที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันในระหว่างการ ทอดอาหาร เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้น้ำมันทอดมีการเกิดฟองมากขึ้นและมีการเกิดสาร เหนียวที่ขอบเตาทอด ซึ่งเมื่อมีการเกิดฟองที่ผิวของน้ำมันระหว่างทอดจะมีการสะสมเป็นชั้น ทำใ้ น้ำมันมีการแตกตัวและเสื่อมคุณภาพ ในการตรวจวัดควรตรวจวัดทั้ง ไคเมอร์และโพลีเมอร์ของไตร กลีเซอไรด์ที่ถูกออกซิไดส์

### 2.5 ข้อกำหนดและผลกระทบต่อสุขภาพของน้ำมันทอดซ้ำ

ข้อกำหนดของน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการทอดของประเทศต่างๆมีการกำหนดค่าเปอร์ ออกไซด์ (PV) ค่าความเป็นกรด (AV) และค่ากรดไขมันอิสระ (FFA) แสดงดังตารางที่ 2.1 สำหรับ ประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดสมบัติของน้ำมันที่ใช้ทอด ทั้งนี้ น้ำมันพืชที่นิยมบริโภคได้แก่ น้ำมัน ปาล์ม น้ำมันรำข้าว และ น้ำมันถั่วเหลือง หากแต่มีการกำหนดคุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมี ของน้ำมันปาล์ม โอเลอินผ่านกรรมวิธี ตาม มอก. 288-2535 (ตารางที่ 2.2)

น้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารซ้ำนานเกินไปจะมีคุณค่าทางโภชนาการลดลง Supatra และคณะ (2006) ศึกษาในหนูทดลอง พบว่าทำให้เกิดการเจริญเติบโตลดลง ด้ับและไตมีขนาดใหญ่ มีการ สะสมไขมันในตับ การหลั่งน้ำย่อยทำลายสารพิษในกระเพาะอาหารเพิ่มขึ้น นอกจากนั้น ไขมันที่ถูก

ออกซิไดส์ปริมาณสูงอาจทำให้ไลโปโปรตีนชนิดแอลดีแอลมีโอกาสเกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น จึงมี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ ส่วนไธระเหยจากน้ำมันทอดอาหาร หากสุดคม เป็นระยะเวลาานอาจมีอันตรายต่อสุขภาพ และพบว่าปริมาณสาร โพลาร์ที่พบในน้ำมันที่ใช้ทอดจะ สะท้อนถึงปริมาณสาร โพลาร์ในน้ำมันที่ถูกดูดซับในอาหาร

เมื่อคำนึงถึงปริมาณสาร โพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดจากการสำรวจพบว่าหากเป็นการบริโภค ในบ้านเรือนการใช้ น้ำมันทอดซ้ำ 2-3 ครั้งถือว่าค่อนข้างปลอดภัย เนื่องจากไม่มีน้ำมันพืชต่างชนิด ที่สำรวจมีปริมาณ สาร โพลาร์เกินขีดจำกัดที่มีอันตรายต่อสุขภาพ (ร้อยละ 25-27) ส่วนการบริโภค ในร้านอาหารและอาหารจานด่วนทั้งหลายพบว่าค่อนข้างอันตรายต่อสุขภาพ เนื่องจากพบปริมาณ สาร โพลาร์ มากกว่าร้อยละ 25 ในตัวอย่างอาหารค่อนข้างมาก

การประเมินจากคุณสมบัติทางกายภาพ รูป รส กลิ่น สี ของน้ำมันทอดซ้ำ และปริมาณสาร โพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำ เป็นวิธีที่มีประโยชน์ที่จะช่วยชี้วัดว่าน้ำมันนั้นไม่ควรนำกลับมาใช้อีก กระทรวงสาธารณสุขจึงได้ออกประกาศกำหนดให้น้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบเพื่อจำหน่าย ทั้ง น้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์ มีค่าสาร โพลาร์ ได้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 6 พฤศจิกายน 2547 หากพบ มีโทษปรับไม่เกิน 50,000 บาท ตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดของน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการทอดในแต่ละประเทศ

ค่า	ปริมาณไม่เกิน	ชนิดของน้ำมัน	ประเทศ	ที่มา
PV	<1.0 meq peroxide/kg oil	Fresh oil	-	Perkins และ Erickson, 1996
PV	<10.0 meq peroxide/kg oil	Used oil	-	Perkins และ Erickson, 1996
AV	<2.5mg KOH/1g oil	Used oil	Austria	Rossell, 2001
AV	<2.0 mg KOH/1g oil	Used oil	Germany	Rossell, 2001
AV	<2.5mg KOH/1g oil	Used oil	Japan	Rossell, 2001
AV	<4.5mg KOH/1g oil	Used oil	Netherland	Rossell, 2001
FFA	<0.05%	Used oil	-	Perkins และ Erickson, 1996
FFA	<0.2%	Fresh oil	USA	Rossell, 2001
FFA	<0.4%	Fresh oil	Austria	Rossell, 2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของน้ำมันปาล์มโอเลอินผ่านกรรมวิธี

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density)	0.891-0.899
2	ดัชนีหักเห (refractive index)	1.455-1.456
3	จุดขุ่น (องศาเซลเซียส)	ไม่เกิน 10
4	น้ำและสารที่ระเหยได้ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	ไม่เกิน 0.2
5	สิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	ไม่เกิน 0.05
6	ค่าไอโอดีน (Iodine value, Wijs)	55-60
7	ค่าสะaponิฟิเคชัน (saponification value) มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม	190-209
8	สารที่สะaponิฟายไม่ได้ (unsaponifiable matter) กรัมต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม	ไม่เกิน 10
9	ค่าของกรด (acid value) มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อตัวอย่าง 1 กรัม	ไม่เกิน 0.6
10	ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ ออกไซด์ออกซิเจนต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม	ไม่เกิน 10
11	สบู่ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	ไม่เกิน 0.005

ที่มา : มอก. 288-2535

## 2.6 สารดูดซับ

### 2.6.1 กลไกของกระบวนการดูดซับ (adsorption process)

การดูดซับเป็นกระบวนการกักพวงสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กนี้เรียกว่า adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่า adsorbent การดูดติดผิวนี้จะเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะต่างๆทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว ก๊าซ และ ของแข็ง ซึ่งมิได้ทั้งแบบ ของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง (liquid – solid Interface) ในการดูดติดผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายใน โพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของโมเลกุลจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับ โดยในการเกาะติดจะมีแรงขับ (driving force) อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

2.6.1.1 การดูดซับทางกายภาพ เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และ แรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2.6.1.2 การดูดซับทางเคมี การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกละลายกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกละลายเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอม ไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกละลายออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น

## 2.6.2 สารดูดซับซิลิกาเจล

ซิลิกาเจล (silica gel) เป็นรูปหนึ่งของสารซิลิกาตั้งเคราะห์ (synthetic amorphous silica) มีสูตรทางเคมีคือ  $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  อยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์ซิลิกอนไดออกไซด์ (hydrous silicon dioxide) ซิลิกาเจลมีลักษณะเป็นของแข็งทรงกลม โครงสร้างภายในประกอบด้วยอนุภาคซิลิกาเชื่อมต่อกันเป็นร่างแหเรียกว่า micells ทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กอยู่มากมาย ซึ่งรูพรุนมีขนาดประมาณ 2 – 10 นาโนเมตร และมีพื้นที่ผิวประมาณ 300 – 1000 ตารางเมตรต่อกรัม  $\text{SiO}_2$  ซึ่งรูพรุนเหล่านี้สามารถเกิดแรงดึงดูดและสามารถกักเก็บน้ำ แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอนและสารเคมีอื่นๆได้ โดยองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาเจลส่วนใหญ่ประกอบด้วย  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  และ Trace oxide ประมาณร้อยละ 99.71, 0.10, 0.09, 0.03 และ 0.07 ตามลำดับ (Weinheim, 1999) โดยพื้นที่ผิวของซิลิกาเจลประกอบด้วยฟังก์ชันหลายหมู่ ดังนี้

### 2.6.2.1 หมู่ซิลานอล (silanol groups) –Si(OH)-

มีคุณสมบัติเป็นกรดเล็กน้อยและเป็นหมู่ที่มีบทบาทสำคัญในการแยกสาร เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่แอคทีฟ (active) สามารถเกิดอันตรกิริยาได้กับสารประกอบที่มีฟังก์ชันนอลกรุปที่มีขั้ว (polar functional group) เช่น น้ำ และสารประกอบมีขั้วต่างๆ โดยไฮโดรเจนของหมู่ซิลานอลสามารถเป็นเอกสารถึงสวิงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอลเกิดการฟอร์มพันธะไฮโดรเจนกับสารประกอบมีขั้วทำให้สามารถดูดซับสารประกอบเหล่านั้นได้

#### 2.6.2.2 หมู่ซิลิโชน (siloxane group) –Si-O-Si–

มีอิทธิพลต่อการแยกสารน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย

#### 2.6.2.3 พันธะไฮโดรเจน (hydrogen group)

ในโมเลกุลของไฮโดรเจน วาเลนซ์อิเล็กตรอนเกี่ยวข้องกับการเกิดพันธะระหว่างไฮโดรเจนอะตอมทั้งสอง (H-H) และไม่มีอิเล็กตรอนอื่นๆ ซึ่งทำปฏิกิริยากับอะตอมของซัลเฟอร์ได้ดังนั้นส่วนใหญ่การดูดซับทางเคมีของไฮโดรเจนบนโลหะแทบจะเป็นกระบวนการแตกตัว (Dissociative process) โดยเกี่ยวข้องกับการแตกพันธะของไฮโดรเจน (H-H) จากนั้นอะตอมไฮโดรเจนอิสระเกิดอันตรกิริยากับซัลเฟอร์ ดังนั้นในกรณีนี้สารที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของซัลเฟอร์ด้วยกระบวนการทางเคมีคืออะตอมของไฮโดรเจน

#### 2.6.3 แกลบ (Rice Husk)

แกลบ คือ เปลือกแข็งของเมล็ดข้าวที่ได้จากการสีข้าว เป็นส่วนที่เหลือใช้จากการผลิตข้าวสาร แกลบประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และ เถ้า และมีซิลิกาในแกลบมาก แกลบไม่ละลายในน้ำ มีความคงตัวทางเคมี ทนทานต่อแรงกระทำ จึงเป็นตัวดูดซับที่ดี แกลบที่ถูกเผาในสภาวะที่มีการเผาไหม้สมบูรณ์สีของขี้เถ้าแกลบ (rice husk ash) จะเป็นสีเทาหรือสีขาว หากยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เถ้าแกลบจะมีสีดำ ขี้เถ้าแกลบ จะมีสารประกอบซิลิกาเป็นสารประกอบหลัก ซิลิกาเป็นสารประกอบอนินทรีย์ มีชื่อเรียกทางเคมีว่า ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>) หากเผาแกลบในอุณหภูมิที่เหมาะสมจะได้ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูง เถ้าแกลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 70-90 และเถ้าแกลบมีความพรุน (porosity) มาก น้ำหนักเบาและมีพื้นที่ผิวมาก ทำให้มีสมบัติดูดซับดี มีสมบัติเป็นฉนวน ไม่นำไฟฟ้าและความร้อนต่อการกักความร้อนจากสารเคมี ดูดซับความชื้นและสารเคมีได้ดี ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารและยา Farag และคณะ (2009) ศึกษาองค์ประกอบแร่ธาตุของเถ้าแกลบจากข้าวและสารดูดซับ Magnesol XL, diatomaceous earth โดยใช้เครื่อง Atomic absorption spectrometer มีค่าแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบแร่ธาตุของ Magnesol XL, diatomaceous earth และเถ้าแกลบ

แร่ธาตุ (ppm)	Magnesol XL	Diatomaceous earth	เถ้าแกลบ
Si	330.5 ± 2.70	325.30 ± 1.87	304.60 ± 2.40
Mg	265.7 ± 1.81	109.03 ± 2.11	173.50 ± 1.55
Ca	140.5 ± 1.02	201.02 ± 2.31	133.30 ± 1.34
Fe	10.03 ± 0.62	25.07 ± 1.02	20.03 ± 1.03
Al	6.3 ± 0.51	10.50 ± 0.72	8.99 ± 0.68
Mn	556.30 ± 3.40	450.50 ± 2.91	521.30 ± 4.11
Cu	10.30 ± 0.76	71.30 ± 2.03	75.50 ± 1.13

ที่มา : ดัดแปลงจาก Farag และคณะ (2009)

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lin และคณะ (1999) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ตัวดูดซับ 4 ชนิด ได้แก่ Britesorb (Br), Hubersorb (HB), Frypowder (Fr) และ Magnesol (Ma) เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ใช้แล้วให้สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก พบว่าการใช้ตัวดูดซับดังกล่าวผสมกันที่ระดับความเข้มข้น 3%HB+3%Ma+%2%Fr และ 2%HB+3%Ma+%Br จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้ตัวดูดซับเพียงชนิดเดียวในการดูดซับ ส่วนระยะเวลาในการดูดซับที่เหมาะสมคือ 6-9 นาทีและ 3-6 นาทีตามลำดับ ซึ่งสามารถลดกรดไขมันอิสระได้ร้อยละ 82.6-87.6 และลดค่าคูคคลินแสงได้ร้อยละ 26.8-32.6 และต่อมา ได้ศึกษาการใช้ตัวดูดซับทั้งสองชนิดปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ใช้แล้วและนำกลับมาใช้ทอดใหม่ เป็นเวลา 32 ชั่วโมงเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ พบว่า น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยตัวดูดซับทั้งสองชนิดนั้น เมื่อนำกลับมาทอดใหม่เป็นเวลา 32 ชั่วโมง มีค่า กรดไขมันอิสระและค่าการเปลี่ยนแปลงของสีลดลงร้อยละ 59.7-61.9 และ 3.5-9.4 ตามลำดับ

Farook และ Ravendran (2000) ศึกษาการเตรียมตัวดูดซับจากเถ้าแกลบด้วยการแช่กรดไนตริก ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ และ 14 โมลาร์ โดยแช่กรดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อทำให้ pH เป็นกลาง จากนั้นทำแห้งในตู้อบที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นนำมาทดสอบการดูดซับกรดไขมันอิสระชนิดอิ่มตัว ได้แก่ Caprylic (C8), Capric (C10), Lauric (C12), Myristic (C14), Palmitic (C16), และ Stearic (C18) โดยใช้ สมการของ Langmuir isotherm วิเคราะห์การดูดซับกรดไขมันอิสระเหล่านี้พบว่า ความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ สอดคล้องกับขนาดพื้นที่ผิวของเถ้าแกลบ พบว่า การแช่กรดนั้นช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนของเถ้าแกลบให้มากขึ้นกว่าเถ้าแกลบที่ไม่ได้ผ่านการแช่กรด และยังเพิ่มความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ โดยเถ้าแกลบที่แช่ด้วยกรดไนตริก 1 โมลาร์ และ 14 โมลาร์ มีค่า free energy adsorption  $\Delta G_{ads}^{\circ}$  เท่ากับ  $-7.06 \text{ kcal mol}^{-1}$  และ  $-6.75 \text{ kcal mol}^{-1}$  ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้อง

กับขนาดพื้นที่ผิว ที่เมื่อสารดูดซับมีขนาดพื้นที่ผิวมากขึ้นจึงสามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้มากขึ้นเช่นกัน และการเพิ่มขนาดของปริมาตรรูพรุน ยังสอดคล้องกับค่า  $q_m$  (the amount of adsorbate adsorbed to form a mono layer coverage on the ash particle) หรือปริมาณของสารที่ถูกดูดซับที่ชั้นโมโนเลเยอร์ของอนุภาคเถ้าแกลบ ซึ่งการนำเถ้าแกลบแช่กรดที่ความเข้มข้นที่มากขึ้นส่งผลให้มีค่า  $q_m$  ที่มากขึ้นเช่นกัน

Della และ คณะ (2002) กล่าวว่า การนำเถ้าแกลบแช่ด้วย HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> และ NaOH โดยการต้มแล้วจึงนำเถ้าไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส ถึง 1400 องศาเซลเซียส ที่เวลาที่แตกต่างกัน สามารถกำจัดสารโลหะที่เจือปน ทำให้เถ้าแกลบมีสีขาวบริสุทธิ์และมีขนาดพื้นที่ผิวที่มากขึ้น และได้ศึกษาองค์ประกอบแร่ธาตุของเถ้าแกลบก่อนและหลังการเผาดังตารางที่ 2.4 พบว่าการเผาทำให้มีร้อยละของ SiO<sub>2</sub> ที่เพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบแร่ธาตุของเถ้าแกลบก่อนและหลังการเผาที่ 700 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง

แร่ธาตุ	เถ้าแกลบก่อนการเผา(ร้อยละ)	เถ้าแกลบหลังการเผา(ร้อยละ)
SiO <sub>2</sub>	72.1	94.95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.30	0.39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.15	0.26
CaO	0.43	0.54
Na <sub>2</sub> O	0.50	0.25
K <sub>2</sub> O	0.72	0.94
MnO	0.15	0.16
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.02
MgO	0.70	0.90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.74
สูญเสียจากการเผา	24.3	0.85

ที่มา : Della และคณะ (2002)

Chandrasekhar และ คณะ (2005) ศึกษาการเตรียมเถ้าแกลบด้วยการแช่กรด ไฮโดรคลอริก กรดไนตริก กรดอะซิติก กรดออกซาลิก และ น้ำกลั่น ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน พบว่าการแช่แกลบด้วยกรด ไฮโดรคลอริกสามารถชะล้างสารโลหะที่เจือปนอยู่ในเถ้าแกลบออกไปได้ โดยเฉพาะการแช่กรดไฮโดรคลอริกที่ 0.1 N พบว่าสามารถชะล้าง K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> และ Zn ออกไปได้มากที่สุดโดยการเพิ่มความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก จะช่วยชะล้าง Na Ca Mn Cu และ Cd ได้มากขึ้น ซึ่งการใช้กรด ออกซาลิก และกรดอะซิติก มีความสามารถในการชะล้างสารโลหะได้ดี เอกสารนี้เช่นกันแต่น้อยกว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริกเล็กน้อย โดยพบว่า โปแตสเซียมไอออน (K<sup>+</sup>) นั้นเป็นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวที่ยึดสารคาร์บอนในถ้ำเคลือบไว้ การแช่กรดจึงช่วยชะล้างโปแตสเซียมไอออนออกทำให้การเผาผลาญที่ผ่านการแช่กรด จะกำจัดสารคาร์บอนออกไปได้มากขึ้น ถ้ำเคลือบจึงมีความเป็นซิติกาที่บริสุทธิ์มากขึ้น

Kim และคณะ (2008) ศึกษาความสามารถในการดูดซับระหว่างถ้ำเคลือบและซิติกาเจลดสกัดจากถ้ำเคลือบ โดยทดสอบจากการเลือกเผาถ้ำเคลือบที่บดจนมีขนาดเล็กกว่า  $180 \mu\text{m}$  ที่อุณหภูมิต่างกัน คือที่  $300^{\circ}\text{C}$  (RHA300) ,  $500^{\circ}\text{C}$  (RHA500),  $700^{\circ}\text{C}$  (RHA700) และ  $900^{\circ}\text{C}$  (RHA900) เป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยนำถ้ำเคลือบที่เผาที่ 500 องศาเซลเซียส ไปสกัดซิติกาเจลดด้วยสารละลายต่าง พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเผามีผลต่อขนาดของรูพรุนของถ้ำเคลือบโดย มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาให้สูงขึ้น และ RHA300 มีพื้นที่ผิวสูงที่สุดเท่ากับ  $88 \text{ m}^2/\text{g}$  และน้อยลงไปตามลำดับ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผา และสารสกัดซิติกา (RHS500) มีขนาดของพื้นที่ผิว  $345 \text{ m}^2/\text{g}$  มากที่สุด ส่วนปริมาตรของรูพรุนเปรียบเทียบได้ดังนี้คือ  $\text{RHS500} > \text{RHA500} > \text{RHA300} > \text{RHA700} > \text{RHA900}$  เมื่อนำมาทดสอบการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกัม (degummed soybean oil) พบว่า ถึงแม้ RHA500 จะมีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนน้อยกว่า RHS500 แต่มีประสิทธิภาพในการดูดซับกรดไขมันอิสระได้ใกล้เคียงกับ RHS500 อาจเนื่องจากขนาดรูพรุนที่ใหญ่กว่าของ RHA500

Taspinar และ Ozgul-Yucel (2008) ศึกษาความสามารถในการดูดซับของแมกนีเซียมซิติกาเกตและแอคทีเวทคาร์บอนที่เตรียมได้จากถ้ำเคลือบโดยการเผาที่ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และนำมาผ่านกระบวนการต่างๆ ให้ได้  $\text{MgSiO}_3$  และเปรียบเทียบกับสารดูดซับที่มีขายอยู่ในท้องตลาด ได้แก่ แมกนีเซียมซิติกาเกต; Magnesol XL และ Activated carbon พบว่าแมกนีเซียมซิติกาเกตที่สังเคราะห์ออกมาได้นั้นมีขนาดพื้นที่ผิวเท่ากับ  $680 \text{ m}^2/\text{g}$  และมีความสามารถในการดูดซับสารมีขี้เท่ากับ  $644 \text{ mg}$  ของสารประกอบมีขี้ต่อตัวดูดซับ 1 กรัม ซึ่งสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ Activated carbon ที่ผลิตจากถ้ำเคลือบเช่นเดียวกัน โดยมีพื้นที่ผิวเท่ากับ  $43 \text{ m}^2/\text{g}$  และมีความสามารถในการดูดซับสารมีขี้เท่ากับ  $368 \text{ mg}$  ของสารประกอบมีขี้ต่อตัวดูดซับ 1 กรัม

วริศรา (2548) ศึกษาปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งทอดโดยใช้สารดูดซับซิติกาเจลด จากการศึกษาพบว่า ขนาดรูพรุนและขนาดอนุภาคของสารดูดซับซิติกาเจลดมีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันได้ดีกว่าที่ขนาดรูพรุน 40 และ 60 อังสตรอม ซิติกาเจลด ขนาดอนุภาคเล็ก ( $\leq 0.063$  มิลลิเมตร) ไม่ทำให้การปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีส่วนใหญ่ของน้ำมันดีขึ้นกว่าซิติกาเจลดที่ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า (0.063-2 และ 0.2-0.5 มิลลิเมตร) ในขณะที่ซิติกาเจลดขนาดอนุภาค 0.063-0.2 มิลลิเมตรทำให้การปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันดีที่สุดใน การดูดซับและปริมาณสารดูดซับซิติกาเจลดมีผลต่อการปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร การเพิ่มปริมาณซิติกาเจลดทำให้น้ำมันมีการปรับปรุงคุณสมบัติไม่ว่าการฉีกๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางเคมีและกายภาพดีขึ้น และเมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นมีผลต่อการปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเล็กน้อย น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไปชุบแป้งก่อนการปรับปรุง มีค่ากรดไขมันอิสระร้อยละ 0.46 ค่าเปอร์ออกไซด์ 6.04 meq/kg ค่าพาราแอนนิซิติน 37.71 meq/kg ค่าสารประกอบมีซัวร์ร้อยละ 12.28 ค่าความหนืด 95.40 cP เมื่อใช้สารดูดซับที่มีขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม ขนาดอนุภาค 0.063-0.2 มิลลิเมตร ปริมาณ 30 กรัมใช้เวลาในการดูดซับ 10 นาทีปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไปชุบแป้ง พบว่ามีค่ากรดไขมันอิสระร้อยละ 0.19 ค่าเปอร์ออกไซด์ 3.89 meq/kg ค่าพาราแอนนิซิติน 8.88 meq/kg ค่าสารประกอบมีซัวร์ร้อยละ 5.25 ค่าความหนืด 83.6 cP

สาวิตรี และ ศดานันท์ (2548) ศึกษาความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ผ่านการทอดเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มเก่า ได้แก่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารหลายชนิดจากร้านอาหารจานด่วน น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป และ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดปาต่องโก๋ พบว่าน้ำมันที่ผ่านการทอดปาต่องโก๋มีสารประกอบที่ระเหยได้สูงกว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปและร้านอาหารจานด่วน ทั้งนี้เนื่องจากร้านขายปาต่องโก๋ไม่มีการใช้ เหมเบรนกรองเศษอาหารออก มีเพียงการใช้ผ้ากรองหรือตะแกรงแบบหยาบ ซึ่งต่างจากระบบอุตสาหกรรม ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่เลิกใช้แล้วจากร้านอาหารจานด่วนมีค่าสูงถึงร้อยละ 6.87 โดยที่ตัวอย่างน้ำมันจากแหล่งอื่นๆมีปริมาณกรดไขมันอิสระที่ใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วงร้อยละ 0.46-0.67 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มที่เลิกใช้แล้วจากร้านอาหารจานด่วนมีค่า 2.99 meq/kg oil ซึ่งเท่ากับน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการทอด ส่วนตัวอย่างน้ำมันจากแหล่งอื่นๆ มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 9.93-12.91 meq/kg oil ความหนืดของน้ำมันที่เลิกใช้แล้วทุกชนิดมีความหนืดอยู่ในช่วง 52.4-61.9 cP ซึ่งใกล้เคียงกับน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการทอด

วาริทธิย์ (2553) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไปชุบแป้งโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่เผาที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 80±2 และ 105±2 องศาเซลเซียส สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันได้ดีกว่าการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง การใช้สัดส่วนถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 เป็นเวลา 20 และ 30 นาทีให้คุณภาพของน้ำมันปรับปรุงดีที่สุด และ สัดส่วนการผสมน้ำมันปาล์มเก่าและน้ำมันปาล์มใหม่ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ที่ 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 โดยใช้ทอดนั้กเกตโก๋ ซ้ำเป็นเวลา 7 วัน พบว่า การเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปรับปรุงคุณภาพในน้ำมันผสมทำให้ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าสารประกอบมีซัวร์ ค่าพาราแอนนิซิติน ค่าความหนืด ค่าความเข้มของสี เพิ่มขึ้นและมีค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าความสว่างลดลง อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีคุณภาพของน้ำมันน้ำมันผสมทุกสัดส่วนไม่แตกต่างกัน ในระหว่างการทอดนั้กเกตโก๋ในน้ำมันทอดซ้ำ 7 วัน

ภาภภูมิ และคณะ (2554) ได้ศึกษาวิจัยการเตรียมตัวดูดซับจากถ่านกัมมันต์เพื่อดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเตรียมจากการเผาถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 450 และ 700 องศาเซลเซียส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในสื่อใดๆ ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแชนด์ไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ ก่อนหรือหลังเผาและตัวดูดซับทดลองดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวดูดซับ 0.4 กรัมต่อน้ำมันปาล์มดิบ 20 กรัมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงพบว่าถ้าแกลบ 700 องศาเซลเซียส ดูดซับดีกว่าถ้าแกลบ 450 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเผาแกลบที่อุณหภูมิสูงทำให้สิ่งเจือปนน้อยและรูพรุนมีขนาดใหญ่ สำหรับการแชนด์ของแกลบที่ 450 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นแต่การแชนด์ของแกลบที่ 700 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับลดลงอาจเนื่องจากการแชนด์ส่งผลต่อขนาดรูพรุนพื้นที่ผิวและองค์ประกอบของตัวดูดซับโดยลำดับการแชนด์ก่อนหลังไม่มีนัยสำคัญ ตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับดีที่สุดคือแกลบแชนด์หลังเผาที่ 450 °C สามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 210 มิลลิกรัมของกรดไขมันต่อกรัมของตัวดูดซับ

Wannahari และ Nordin (2012) ศึกษาการใช้สารดูดซับจากชานอ้อยเตรียมโดยล้าง ทำแห้ง และ บด ให้มีขนาดเล็กกว่า 600  $\mu\text{m}$  กระตุ้นผงชานอ้อยด้วยการอบที่ 200 องศาเซลเซียส 120 นาที แล้วนำผงชานอ้อย รุ่มในสารละลาย NaOH ให้ความร้อนต่ออีก 1.5 ชั่วโมง กรองและนำชานอ้อยไปอบที่ 200 องศาเซลเซียส อีกครั้งเวลา 90 นาที ในการปรับปรุงค่าเปอร์ออกไซด์ ในน้ำมันที่ใช้ทอดแล้ว โดยศึกษาปริมาณของชานอ้อยที่ใช้ และเวลาให้การใช้ชานอ้อย ในการกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันใช้แล้ว พบว่าการใช้สารดูดซับจากชานอ้อย 7.5 กรัม โดยใช้เวลาดูดซับ 60 นาที สามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันที่ใช้แล้วได้ถึงร้อยละ 26.67

Gholizadeh และ คณะ (2013) ศึกษาผลของการแชนด์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (0.01-6 N) ก่อนการเผาที่ 700 องศาเซลเซียส (0.25-16 ชั่วโมง) พบว่าแกลบที่แชนด์มีปริมาณซิลิกาไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) มากกว่าแกลบที่ไม่ผ่านการแชนด์ อีกทั้งยังมีความเป็นด่างต่ำ มีพื้นที่ผิวมาก และมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าแกลบที่ไม่ผ่านการแชนด์อีกด้วย

Wonglamom และ Rakariyatham (2014) ศึกษาการใช้สารดูดซับจาก ผงถ่านกัมมันต์ (activated charcoal) และ แร่เบนโทไนต์ (bentonite) ในการปรับปรุงคุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันพืชที่ใช้ทอดแล้ว โดยเปรียบเทียบการใช้สารดูดทั้งสองชนิดแบบเดี่ยวและ ศึกษาการใช้สารดูดซับสองชนิดนี้ร่วมกัน ในสัดส่วนของ แร่เบนโทไนต์ ต่อ ผงถ่านกัมมันต์ 2:1 , 1:1 และ 1:2 และการดูดซับ 2 ชั้น คือ ดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ก่อนแล้วเบนโทไนต์และสลับกัน โดยใช้ปรับปรุงคุณภาพที่ 150 องศาเซลเซียส แล้ว กวนต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที โดยใช้สารดูดซับร้อยละ 15 จากนั้นกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรอง (whatman's no. 1) พบว่าการดูดซับสองชั้น โดยใช้ ผงถ่านกัมมันต์ ในการดูดซับก่อนแล้วจึงดูดซับด้วยแร่เบนโทไนต์ สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันได้สูงสุด โดยปรับปรุงค่ากรดไขมันอิสระ ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าสารประกอบมีขี้้ว ค่าคอนจูเกตไดอิน และค่าสี  $L^* a^* b^*$  ได้ถึงร้อยละ 62.53, 63.17, 46.57, 15.64, 25.91, 18.43, 1.12 และ 6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติของสารดูดซับถ้ำแกลบที่เตรียมด้วยการแช่ด้วยกรดไนตริก และ กรดไฮโดรคลอริก

การปรับปรุงสารดูดซับถ้ำแกลบแบบแช่กรดก่อนเผา และ แช่กรดหลังเผา โดยใช้กรดไนตริกที่มีความเข้มข้น 10 โมลาร์ เวลา 24 ชั่วโมง (Farook and Ravendran, 2000) และ กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 3 โมลาร์ เวลา 3 ชั่วโมง (ภาคภูมิ และคณะ , 2554) โดยเปรียบเทียบกับถ้ำแกลบที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดทั้งสองชนิดจะสามารถแบ่งสารดูดซับถ้ำแกลบได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. RHA = แกลบผ่านการเผาที่ 550 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง
2. BF HCl = แกลบแช่กรดไฮโดรคลอริก 3 โมลาร์ 3 ชั่วโมง ล้างให้ pH เป็นกลางด้วยน้ำกลั่นแล้วเผาที่ 550 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง
3. BF HNO<sub>3</sub> = แกลบแช่กรดไนตริก 10 โมลาร์ 24 ชั่วโมง ล้างให้ pH เป็นกลางด้วยน้ำกลั่นแล้วเผาที่ 550 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง
4. AF HCl = แกลบเผาที่ 550 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง แล้วนำมาแช่กรดไฮโดรคลอริก 3 โมลาร์ เวลา 3 ชั่วโมง ล้างให้ pH เป็นกลางด้วยน้ำกลั่นแล้วอบแห้ง
5. AF HNO<sub>3</sub> = แกลบเผาที่ 550 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมงแล้วนำมาแช่กรดไนตริก 10 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ล้างให้ pH เป็นกลางด้วยน้ำกลั่นแล้วอบแห้ง

นำถ้ำแกลบมาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของอนุภาคด้วยวิธี ของ Brunauer-Emmett-Teller (BET) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติเฉพาะของสารดูดซับถ้ำแคลบที่เตรียมด้วยการแช่กรดไนตริก และกรดไฮโดรคลอริกก่อนและหลังการเผา

	พื้นที่ผิว (ตารางเมตร/กรัม)	ปริมาตรรูพรุน (ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม)	เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน (อังสตรอม)
RHA	173.15±9.12 <sup>a</sup>	0.276±0.008 <sup>ab</sup>	63.71±1.61 <sup>bc</sup>
BF HCl	135.60±12.44 <sup>b</sup>	0.295±0.002 <sup>a</sup>	87.31±8.58 <sup>a</sup>
BF HNO <sub>3</sub>	135.10±1.97 <sup>b</sup>	0.257±0.023 <sup>b</sup>	75.99±5.72 <sup>ab</sup>
AF HCl	174.55±1.06 <sup>a</sup>	0.272±0.019 <sup>ab</sup>	62.21±4.08 <sup>c</sup>
AF HNO <sub>3</sub>	157.60±0.64 <sup>a</sup>	0.253±0.002 <sup>b</sup>	64.21±0.67 <sup>bc</sup>

หมายเหตุ \* ตัวอักษร (a b c) ที่กำกับต่างกัน ในแนวตั้งหมายถึงประเภทของถ้ำแคลบที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

โดยวิธีของ Brunauer-Emmett-Teller (BET) เป็นวิธีการวัดการดูดซับแก๊สบนพื้นผิวของของแข็งเพื่อที่จะทราบ พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุนและปริมาตร รูพรุนของของแข็งนั้นจากการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติเฉพาะของสารดูดซับถ้ำแคลบที่ผ่านการแช่ กรดและไม่ผ่านการแช่กรด พบว่า พื้นที่ผิว (surface area) ของถ้ำแคลบที่ผ่านการแช่กรดทั้งสองชนิดหลังการเผา (AFHCl และ AFHNO<sub>3</sub>) และ ถ้ำแคลบที่ไม่ได้ผ่านการแช่กรด (RHA) มีขนาดพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนที่ไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าการแช่กรดก่อนเผากลับมีขนาดพื้นที่ผิวที่น้อยกว่าถ้ำแคลบที่ไม่แช่กรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดัง ตารางที่ 4.1 ซึ่งแตกต่างกับงานของ Chandrasekhar และคณะ (2005) ที่พบว่าแคลบที่ผ่านการแช่กรดแล้วเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ถ้ำแคลบจะมีขนาดของพื้นที่ผิวที่สูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิในการเผาที่แตกต่างกันอาจมีผลต่อขนาดของพื้นที่ผิว และเมื่อพิจารณาปริมาตรรูพรุน (pore volume) และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน (pore diameter) พบว่าถ้ำแคลบที่แช่กรดไฮโดรคลอริกก่อนการเผาทำให้มีขนาดปริมาตรรูพรุนที่สูงกว่าถ้ำแคลบที่ไม่แช่กรด คือเท่ากับ 0.295 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม และ 87.31 อังสตรอม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) โดยเพิ่มจากถ้ำแคลบที่ไม่มีการแช่กรดร้อยละ 6.88 และ ร้อยละ 37 ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ภาคภูมิและคณะ (2011) พบว่าถ้ำแคลบที่ผ่านการล้างกรดก่อนเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีขนาดของรูพรุนที่ใหญ่กว่า และมีขนาดของรูพรุนในช่วงมาโครพอร์ (Macropore) จำนวนมากกว่าการแช่กรดหลังเผา อย่างไรก็ตาม Farook และ Ravendran (2000) พบว่าการแช่กรดไนตริก ทำให้ถ้ำแคลบมีปริมาตรรูพรุน (Specific pore volume) เพิ่มขึ้นร้อยละ 3 จากถ้ำแคลบที่ไม่ได้แช่กรด และมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนมีขนาดลดลง ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ ทั้งนี้จึงได้ทำถ้ำแคลบทั้งหมดไปใช้ศึกษาในการทดลองต่อไป

## 4.2 ผลการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันด้วยสารดูดซับเถ้าแกลบที่เตรียมด้วยการแช่ด้วยกรดไนตริก และ กรดไฮโดรคลอริก

น้ำมันทอดที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดไก่ทอดชุบแป้งจำหน่าย เป็นการทอดแบบน้ำมันท่วมและผ่านการทอดต่อเนื่องเป็นเวลา 7 วัน ในการทดลองครั้งนี้ การดูดซับใช้เถ้าแกลบ 20 กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม ดูดซับน้ำมันทอด ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้สารดูดซับสัมผัสกับน้ำมันโดยการกวนเป็นเวลา 30 นาที พบว่าร้อยละของปริมาณน้ำมันที่เหลือหลังดูดซับ (ร้อยละของน้ำมันที่ได้หลังผ่านกระบวนการดูดซับ) การใช้เถ้าแกลบที่แช่กรดหลังการเผา (AFHCl และ AFHNO<sub>3</sub>) มีปริมาณร้อยละของน้ำมันที่เหลือหลังการดูดซับอยู่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับดูดซับเถ้าแกลบอื่น ๆ คือ ร้อยละ 76.16 และ 78.12 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) และการแช่กรดไฮโดรคลอริกก่อนการเผา (BFHCl) พบว่ามีร้อยละของน้ำมันภายหลังการดูดซับเท่ากับ ร้อยละ 63.23 ซึ่งน้อยกว่าเถ้าแกลบที่ไม่ผ่านการแช่กรด (RHA) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ที่มีร้อยละของน้ำมันภายหลังการดูดซับร้อยละ 68.28 ทั้งนี้สอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของสารดูดซับ ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งพบว่า สารดูดซับเถ้าแกลบที่แช่กรดไฮโดรคลอริกก่อนการเผา (BFHCl) มีขนาดพื้นที่ผิวของเถ้าแกลบที่น้อยกว่าตัวดูดซับประเภทอื่นๆ แต่มีปริมาตรรูพรุน และ เส้นผ่าศูนย์กลางรูพรุนที่สูงกว่าสารดูดซับประเภทอื่นๆ ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นผลให้ตัวดูดซับเถ้าแกลบเหล่านี้ดูดซับน้ำมันไว้มากทำให้มีร้อยละของน้ำมันภายหลังการดูดซับที่น้อยกว่าตัวดูดซับเถ้าแกลบชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 4.2 ปริมาณของน้ำมันหลังจากผ่านกระบวนการดูดซับด้วยเถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรด

ประเภทตัวดูดซับ	ปริมาณน้ำมันภายหลังดูดซับ (ร้อยละ)
RHA	68.28±3.20 <sup>b</sup>
BFHCL	63.23±2.57 <sup>c</sup>
BFHNO <sub>3</sub>	67.16±2.17 <sup>b</sup>
AFHCL	76.16±3.03 <sup>a</sup>
AFHNO <sub>3</sub>	78.12±4.26 <sup>a</sup>

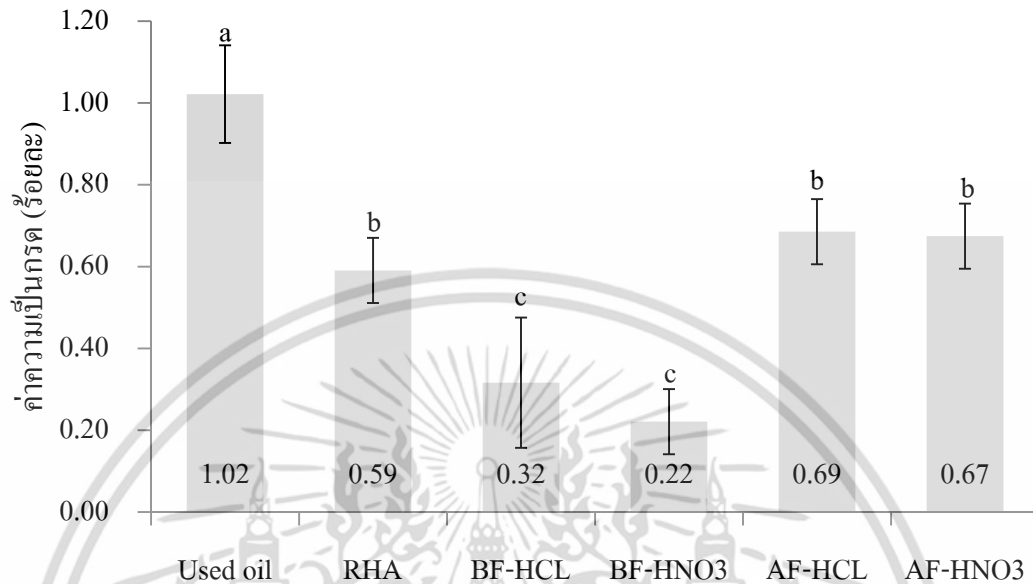
หมายเหตุ\* ตัวอักษร (a b c) ที่กำกับต่างกัน ในแนวตั้ง หมายถึงประเภทของตัวดูดซับเถ้าแกลบที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

4.2.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันทอดที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เตรียมด้วยการแช่ด้วยกรดไนตริก และ กรดไฮโดรคลอริก ก่อนและหลังเผา

#### 4.2.1.1 ค่ากรดไขมันอิสระและค่าความเป็นกรด

ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดไก่อ่อนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์พบว่ามีค่าประมาณร้อยละ 0.51 หรือสามารถคำนวณเป็นค่าความเป็นกรดได้เท่ากับร้อยละ 1.02 (ภาพที่ 4.1) O' Brien (2009) กล่าวว่าค่าความเป็นกรดของน้ำมันมีค่าเท่ากับ 1.99 เท่าของค่ากรดไขมันอิสระ) ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค (มอก. 288-2535) กำหนดให้มีค่าความเป็นกรดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วไม่ควรเกินร้อยละ 0.6 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันทอดนั้น ไตรกลีเซอไรด์ได้ถูกไฮโดรไลซิสโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เป็นกรดไขมันอิสระและสารประกอบอื่นๆ จึงทำให้มีร้อยละของกรดไขมันอิสระเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์พบว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ผ่านการแช่กรดทั้ง ไฮโดรคลอริก (BFHCl) และ กรดไนตริก (BFHNO<sub>3</sub>) ก่อนการเผา สามารถปรับปรุงค่าความเป็นกรด ให้ลดลงเป็นร้อยละ 0.32 และ 0.22 (ภาพที่ 4.1) ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค (มอก. 288-2535) โดยสามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดไก่อให้มีค่าความเป็นกรดให้ลดลงได้ร้อยละ 69.02 และ 78.36 (ภาคผนวก ตารางที่ ข1) ตามลำดับ ซึ่งลดลงได้มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับน้ำมันทอดไก่อโดยใช้ถ่านกัมมันต์แช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (AFHCl) และกรดไนตริก (AFHNO<sub>3</sub>) หลังการเผา และ ตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ที่ไม่แช่กรด พบว่าสามารถลดค่าความเป็นกรดได้ประมาณร้อยละ 32.90 , 33.98 และ 42.20 ตามลำดับ (ภาคผนวก ตารางที่ ข1) จากงานวิจัยของ ภาคภูมิ และคณะ (2554) พบว่าการแช่กรดไฮโดรคลอริกหลังเผาของถ่านกัมมันต์ 450 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ผิว 166.11 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุน 0.25 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน 6.10 นาโนเมตร ซึ่งส่งผลให้มีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระได้สูงที่สุดคือ 210 มิลลิกรัมของกรดไขมันอิสระต่อกรัม เมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์แช่กรดไฮโดรคลอริกก่อนเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ที่มีพื้นที่ผิว ที่สูง กว่าคือ 266.30 ตารางเมตรต่อกรัม แต่มีปริมาตรรูพรุนที่ต่ำกว่า และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนที่เล็กกว่า จึงมีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระน้อยกว่า คือ 85 มิลลิกรัมของกรดไขมันอิสระต่อกรัม ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ หากแต่ Farook และ Ravendran (2000) พบว่า การแช่กรดนั้นช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนของถ่านกัมมันต์ให้มากขึ้นกว่าถ่านกัมมันต์ที่ไม่ได้ผ่านการแช่กรด และยังเพิ่มความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ครั้งนี้ที่ การแช่กรดไฮโดรคลอริกก่อนการเผา (BFHCl) มีปริมาตรรูพรุน (Pore volume) และ ขนาดของรูพรุน (Pore diameter) ที่สูง อาจทำให้มีความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันใช้แล้วได้

ดีมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม การที่ค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดภายหลังการดูดซับเถ้าแกลบแช่กรดหลังเผามีค่าสูง

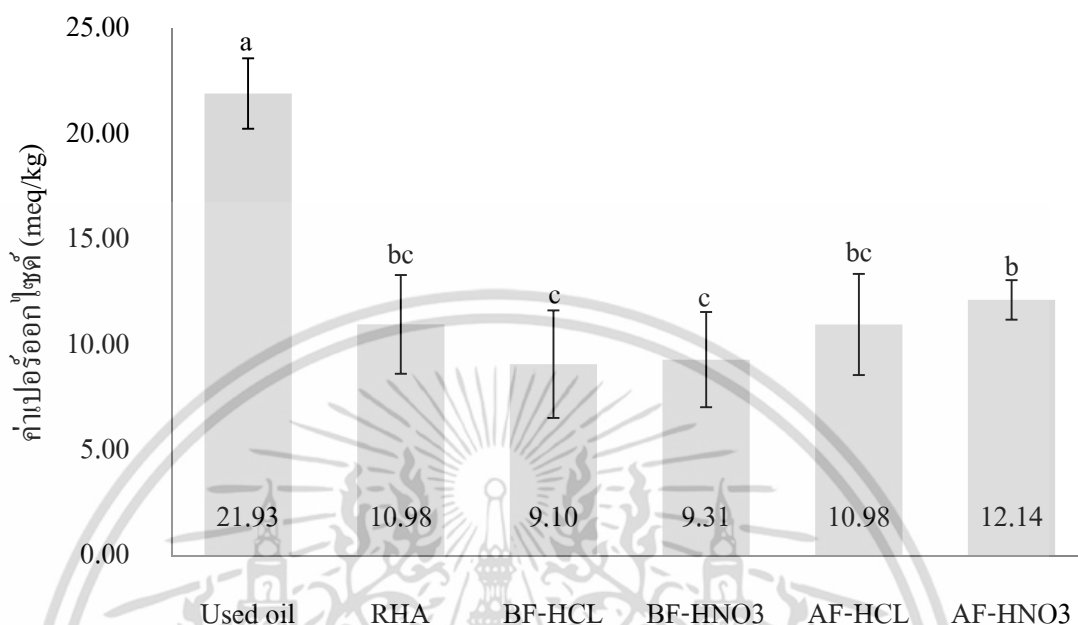


ภาพที่ 4.1 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยเถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด

#### 4.2.1.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

จากการศึกษาค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดไก่อ่อนการดูดซับ พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นดัชนีการวัดการเกิดออกซิเดชัน มีค่าเท่ากับ 21.93 meq/kg ซึ่งพบว่าเกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค 10 meq/kg (มอก. 288-2535) และเมื่อผ่านกระบวนการดูดซับพบว่าการใช้เถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดทั้งไฮโดรคลอริก (BFHCl) และกรดไนตริก (BFHNO<sub>3</sub>) ก่อนการเผา ทำให้ปรับปรุงค่าเปอร์ออกไซด์ ให้ลดลงเป็น 9.10 meq/kg และ 9.31 meq/kg ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2) สามารถปรับปรุงได้ถึงร้อยละ 58.53 และ ร้อยละ 57.55 ตามลำดับ (ภาคผนวก ตารางที่ ข1) ซึ่งมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับน้ำมันทอดไก่อ่อนโดยใช้เถ้าแกลบที่แช่ด้วยกรดทั้งสองชนิดหลังการเผา และการใช้เถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดสองชนิดนี้ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ต่อ ค่าปรับปรุงค่าเปอร์ออกไซด์ ซึ่งพบว่าเถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดมีประสิทธิภาพในการลดค่าเปอร์ออกไซด์ได้มากกว่างานของ Wannahari และ Nordin, (2012) ที่ศึกษาการใช้เถ้าจากขานอ้อยดูดซับน้ำมันที่ใช้ทอดมันสำปะหลัง ไก่อ่อนและปลาแห้ง โดยใช้ทอดซ้ำเป็นเวลา 3 ครั้ง มีค่าเปอร์ออกไซด์ 30 meq/kg โดยศึกษาเวลาและปริมาณของเถ้าจากขานอ้อยที่เหมาะสมต่อการดูดซับ พบว่าการใช้เถ้าจากขานอ้อยที่ปริมาณ 7.5 และ 10 กรัม ต่อน้ำมันใช้

แล้ว 150 มิลลิลิตร โดยดูดซับที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที สามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ได้ร้อยละ 26.67 หรือทำให้น้ำมันค่าเปอร์ออกไซด์เหลือเพียง 22 meq/kg

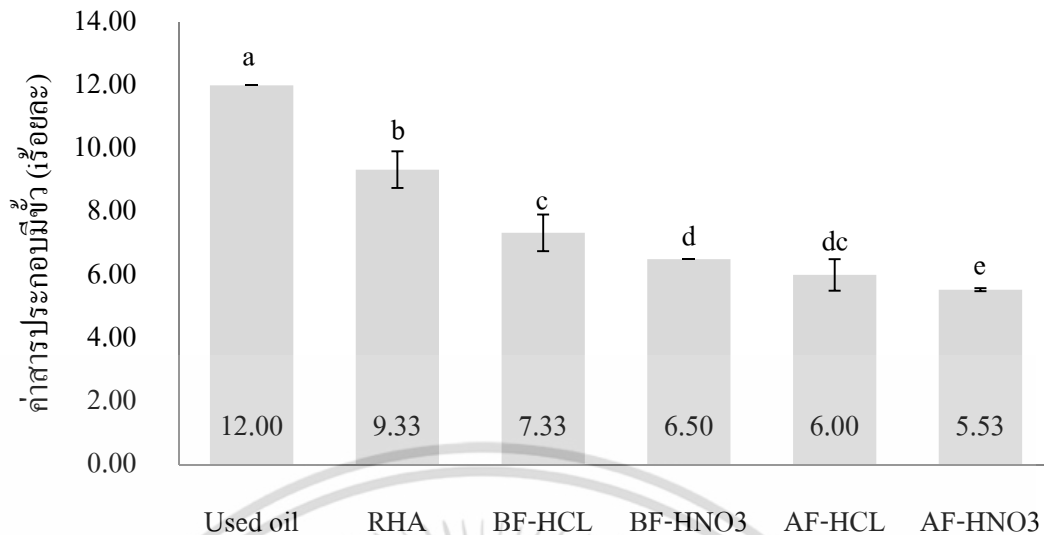


ภาพที่ 4.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยถั่วแกลบที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด

#### 4.2.1.3 ค่าสารประกอบมีขี้

ปริมาณสารประกอบมีขี้ของน้ำมันทอดไก่พบว่ามีความเท่ากับร้อยละ 12 (ภาพที่ 4.3) ซึ่งจากประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283/2547 เรื่อง กำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย กำหนดให้มีปริมาณสารประกอบมีขี้ไม่เกินร้อยละ 25 แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการทอดไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีขี้เมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และพอลิเมอร์ไรเซชัน ได้เป็นสารประกอบมีขี้ต่างๆ ดังนั้นการวัดปริมาณสารประกอบมีขี้เป็นวิธีการหนึ่งที่น่าเชื่อถือสำหรับการตรวจติดตามคุณภาพของน้ำมันระหว่างการทอด (Fritsch, 1981) โดยเมื่อผ่านการดูดซับด้วยถั่วแกลบพบว่าการใช้ถั่วแกลบที่ผ่านการแช่กรดในตริกหลังการเผา (AFHNO<sub>3</sub>) สามารถทำให้สารประกอบมีขี้ลดลงเป็นร้อยละ 5.53 โดยปรับปรุงให้ค่าสารประกอบมีขี้ลดลงได้ถึงร้อยละ 53.89 (ภาคผนวก ตารางที่ ข1) ซึ่งสามารถลดได้มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับน้ำมันทอดไก่โดยใช้ถั่วแกลบที่ไม่ผ่านการแช่กรด (RHA) พบว่ามีสารประกอบมีขี้เท่ากับร้อยละ 9.33 (ภาพที่ 4.3) โดยการใส่ถั่วแกลบที่ผ่านการแช่กรดสองชนิดนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ต่อค่าปรับปรุงสารประกอบมีขี้ (ภาคผนวก ตารางที่ ข1)

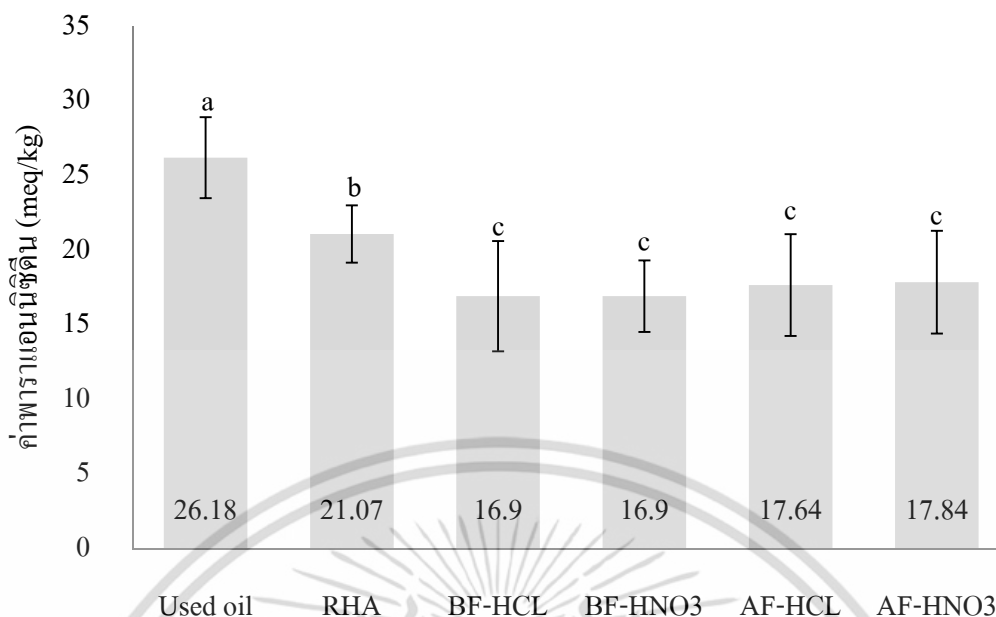
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ค่าสารประกอบมีขี้ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยเถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด

#### 4.2.1.4 ค่าพาราแอนนิซิติน

ค่าพาราแอนนิซิตินเป็นตัวบ่งชี้ในการเกิดผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันอันดับสองที่จากการสลายตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดไปพบว่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 26.18 ในน้ำมันทอด (ภาพที่ 4.4) แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการทอดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีปริมาณสารอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นจากการออกซิเดชันของน้ำมัน เป็นสารที่ทำให้เกิดให้กลิ่นหืน โดยเมื่อผ่านการดูดซับด้วยเถ้าแกลบพบว่าการใช้เถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดทุกชนิดทั้งก่อนและหลังเผาสามารถทำให้ค่าพาราแอนนิซิตินลดลง ร้อยละ 31-35 (ภาคผนวก ตารางที่ ข1) ซึ่งสามารถลดได้มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับ การดูดซับน้ำมันทอดไปโดยใช้เถ้าแกลบที่ไม่ผ่านการแช่กรด (RHA) ที่สามารถทำให้ค่าพาราแอนนิซิตินลดลงร้อยละ 19.52 (ภาคผนวก ตารางที่ ข1) โดยการใช้เถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดสองชนิดนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ต่อการปรับปรุงค่าพาราแอนนิซิติน

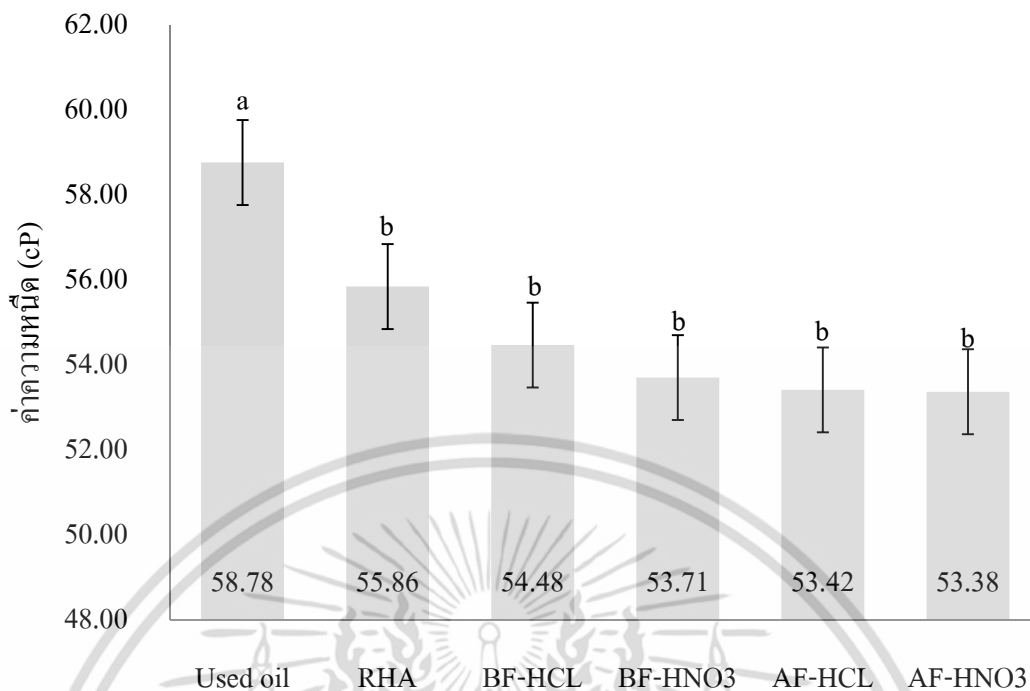


ภาพที่ 4.4 ค่าพาราแอนนิซิดินของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยถ่านเคลือบที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด

4.2.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันทอดที่ปรับปรุงด้วยสารดูดซับถ่านเคลือบที่เตรียมด้วยการแช่ด้วยกรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริก

#### 4.2.2.1 ค่าความหนืด

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์มทอดด้านความหนืดเมื่อผ่านการทอดเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน คือเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันเป็นเวลานานจะทำให้เกิดสารประกอบโมเลกุลสูงจำพวกโมโนเมอร์แบบวง ไดเมอร์ พอลิเมอร์ เป็นผลให้น้ำมันมีสีคล้ำและมีลักษณะข้นหนืดและเกิดฟอง ก่อนการดูดซับน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไ้มีความหนืดเท่ากับ 58.78 cP (ภาพที่ 4.5) โดยพบว่าการดูดซับด้วยถ่านเคลือบทุกประเภทสามารถลดความหนืดลงได้เพียงเล็กน้อย โดยถ่านเคลือบที่ไม่ผ่านการแช่กรดทำให้ความหนืดลดลง เป็น 55.86 cP (ภาพที่ 4.5) หรือมีความหนืดลดลงร้อยละ 4.97 ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับน้ำมันที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านเคลือบที่ผ่านการแช่กรด ซึ่งมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 53.38-55.86 cP หรือมีร้อยละการปรับปรุงค่าความหนืด ร้อยละ 7.32-9.19



ภาพที่ 4.5 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยเถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด

#### 4.2.2.2 ค่าสี L\* a\* b\*

เมื่อพิจารณาที่ค่าสี พบว่าสารดูดซับเถ้าแกลบทั้งแบบไม่แช่กรดและแช่กรดทั้งแบบก่อนและหลังการเผาสามารถทำให้ค่าความสว่าง L\* มีค่าเพิ่มขึ้น หรือมีความสว่างเพิ่มขึ้นจากน้ำมันก่อนการดูดซับไม่แตกต่างกัน โดยก่อนการดูดซับค่า L\* มีค่าเท่ากับ 68.78 (ภาพที่ 4.6) เมื่อน้ำมันผ่านการดูดซับด้วยเถ้าแกลบที่ผ่านแช่กรดและเถ้าแกลบที่ไม่ผ่านการแช่กรดมีการปรับปรุงค่า L\* และ b\* ให้เพิ่มมากขึ้นได้ประมาณร้อยละ 35.90-38.40 และ 48.16-53.95 ตามลำดับ (ภาคผนวกตารางที่ ข2) หรือมีค่า L\* และ b\* ประมาณ 93.47-95.19 และ 30.84-34.72 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.6 และ 4.8) ซึ่งการใช้สารดูดซับแบบแช่กรดและไม่แช่กรดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ส่วนค่า a\* การใช้เถ้าแกลบที่ผ่านแช่กรดสามารถปรับปรุงค่า a\* ได้ประมาณร้อยละ 65.88-67.23 ซึ่งมากกว่าเถ้าแกลบที่ไม่ผ่านการแช่กรด (ร้อยละ 48.3) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

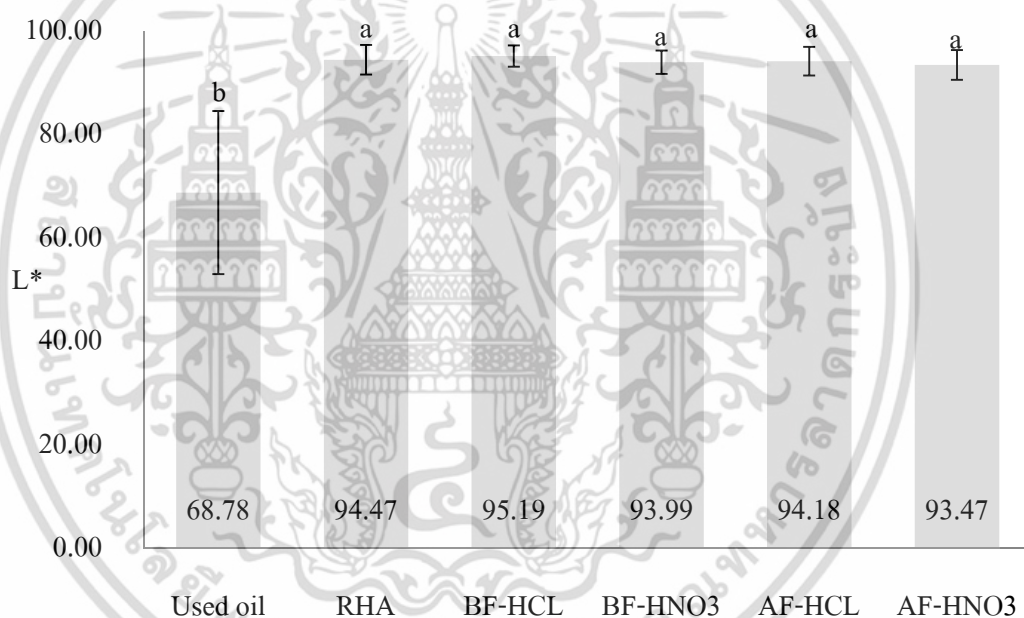
สมบัติของสารดูดซับเถ้าแกลบที่แช่กรดไฮโดรคลอริกหรือไนตริกก่อนการเผาทำให้พื้นที่ผิวของเถ้าแกลบน้อยกว่าเถ้าแกลบที่ไม่ได้ผ่านการแช่กรดและเถ้าแกลบที่แช่กรดหลังเผา และพบว่าการแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริกก่อนการเผา (BFHCl) นั้นสามารถทำให้มีปริมาตรรูพรุนและขนาดของรูพรุนที่สูงมากขึ้นทำให้อาจสามารถดูดซับหรือปรับปรุงน้ำมันใช้แล้วให้มีคุณภาพทางเคมีและกายภาพได้ดีมากที่สุด และหลังจากการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

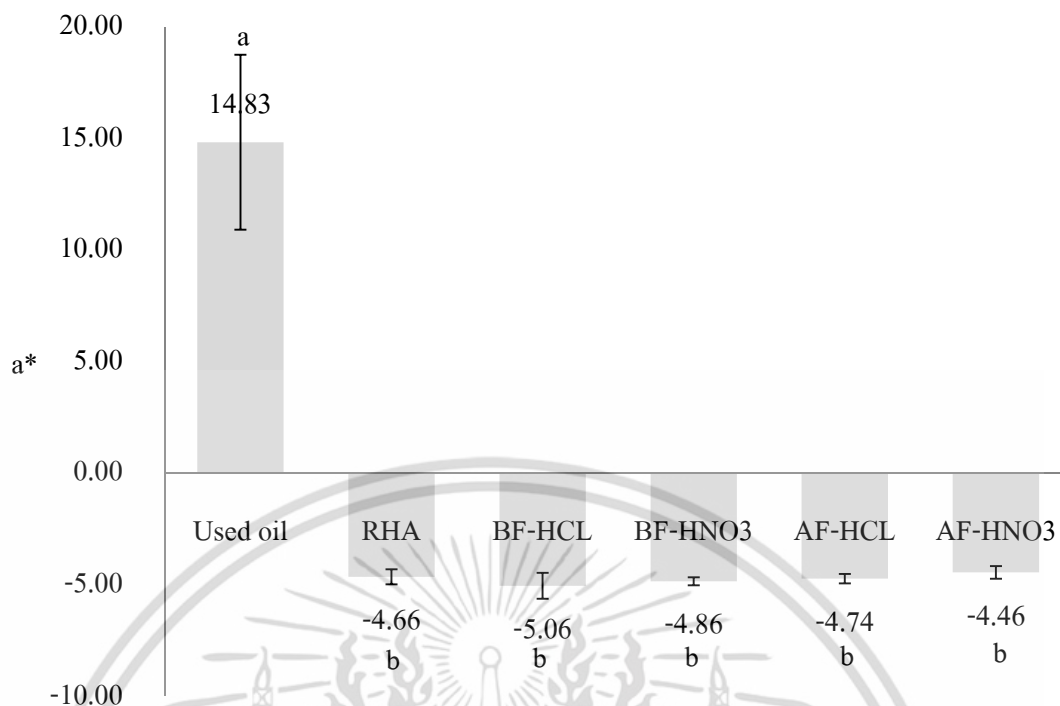
ทอด (ความหนืดและสี) พบว่าถั่วแกลบที่ไม่แช่กรดและถั่วแกลบแช่กรดทั้งก่อนและหลังเผาไม่มีความแตกต่างในประสิทธิภาพการปรับปรุงน้ำมันทอด

อย่างไรก็ตามพบว่ากรดของถั่วแกลบทั้งก่อนและหลังเผา ทำให้สารดูดซับถั่วแกลบมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงด้านคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันทอด ทั้งค่าเปอร์ออกไซด์ พาราแอนนิซิดิน สารประกอบมีขี้ว แต่สำหรับค่าความเป็นกรด การแช่กรดก่อนเผาขณะที่แช่กรดภายหลังเผามีแนวโน้มค่าความเป็นกรดของน้ำมันปรับปรุงสูง

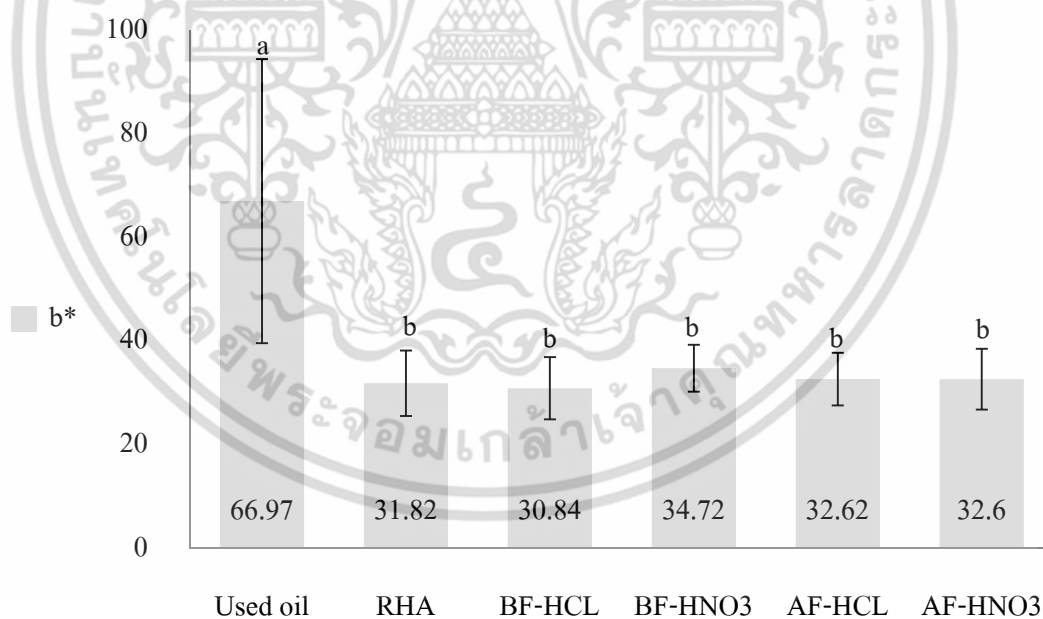
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรดไฮโดรคลอริก และ ไนตริก ไม่พบความแตกต่างอย่างชัดเจน เนื่องจากกรดทั้งสองชนิดสามารถปรับปรุงสมบัติความเป็นรุกรุนของถั่วแกลบได้ใกล้เคียงกัน และการใช้กรดไนตริก เป็นกรดแก่ที่รุนแรง มีกลิ่นฉุน จึงเลือก กรดไฮโดรคลอริกเป็นกรดที่ใช้แช่ถั่วแกลบ และเลือกการแช่กรดก่อนเผาเพื่อลดความเสี่ยงจากกรดที่หลงเหลือในสารดูดซับ



ภาพที่ 4.6 ค่าสี L\* ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการดูดซับโดยถั่วแกลบที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด

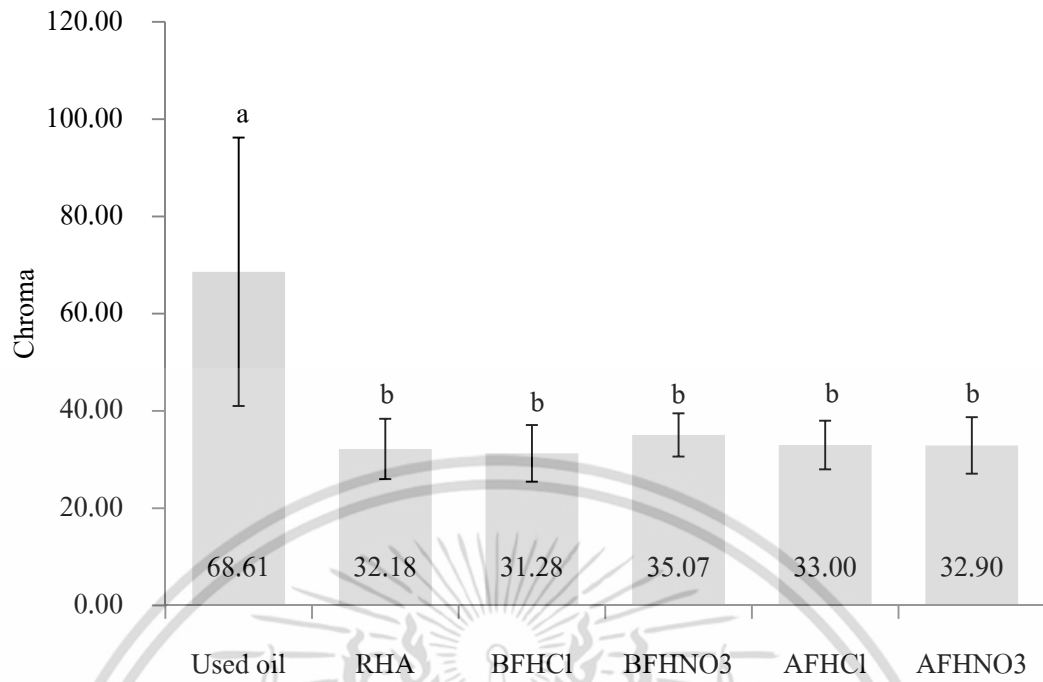


ภาพที่ 4.7 ค่าสี a\* ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และน้ำมันปาล์มทอดซ้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยเถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด

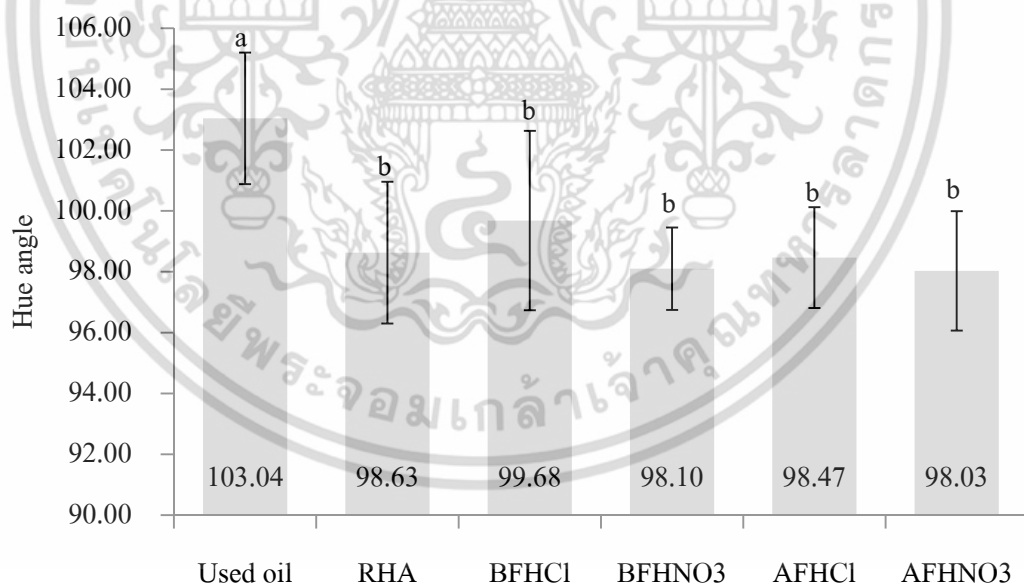


ภาพที่ 4.8 ค่าสี b\* ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการดูดซับโดยเถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 ค่าสี Chroma ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการดูดซับ โดย ถั่วแกลบที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด



ภาพที่ 4.10 ค่าสี Hue angle ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ และ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการดูดซับ โดยถั่วแกลบที่ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการศึกษาสัดส่วนของสารดูดซับถั่วแกลบและซิลิกาเจลในการดูดซับน้ำมันที่ผ่านการทอด

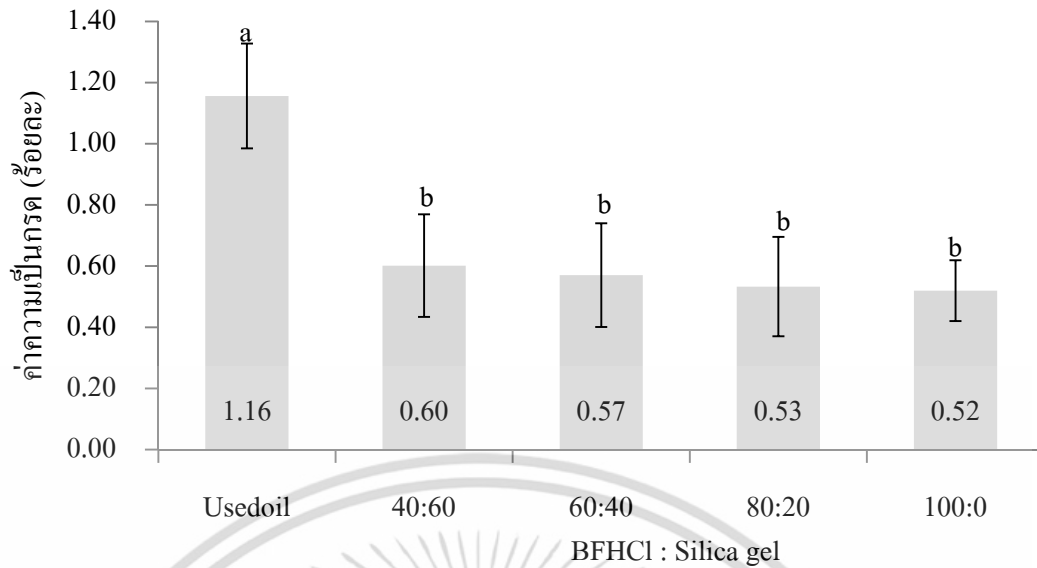
จากงานวิจัย วริศรา (2548) ศึกษาการดูดซับน้ำมันทอดอาหารด้วยสารดูดซับซิลิกาเจล สามารถทำให้มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน และค่าสารประกอบมีขี้ผึ้งสูงที่สุดคือร้อยละ 21.3, 36.65 และ 54.75 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้สารดูดซับซิลิกาเจลที่ขนาดอื่นๆ และจากรายงานการวิจัยการใช้สารดูดซับผสมกันหลายชนิด สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการปรับปรุงน้ำมันได้ (Lin *et al.*, 1999)

การทดลองในขั้นตอนนี้ทำการศึกษาผลการผสมสารดูดซับ 2 ชนิด ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทอดไก่โดยใช้ตัวดูดซับผสมถั่วแกลบที่เลือกมาจากข้อ 4.2 คือถั่วแกลบที่แช่กรดไฮโดรคลอริกก่อนการเผาที่ 550 องศาเซลเซียส (BFHCl) ผสมกับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค 0.063-0.2 มิลลิเมตร ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม ที่อัตราส่วนของถั่วแกลบ ต่อ ซิลิกาเจล ร้อยละ 40:60 60:40 80:20 และ 100:0 โดยดูดซับที่สัดส่วนของสารดูดซับ 20 กรัมต่อ น้ำมัน 100 กรัม โดยสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ตรวจสอบได้แก่ ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน ค่าสารประกอบมีขี้ผึ้ง ค่าสีและค่าความหนืด

#### 4.3.1 สมบัติทางเคมีของน้ำมันที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถั่วแกลบและซิลิกาเจล

##### 4.3.1.1 ค่ากรดไขมันอิสระ

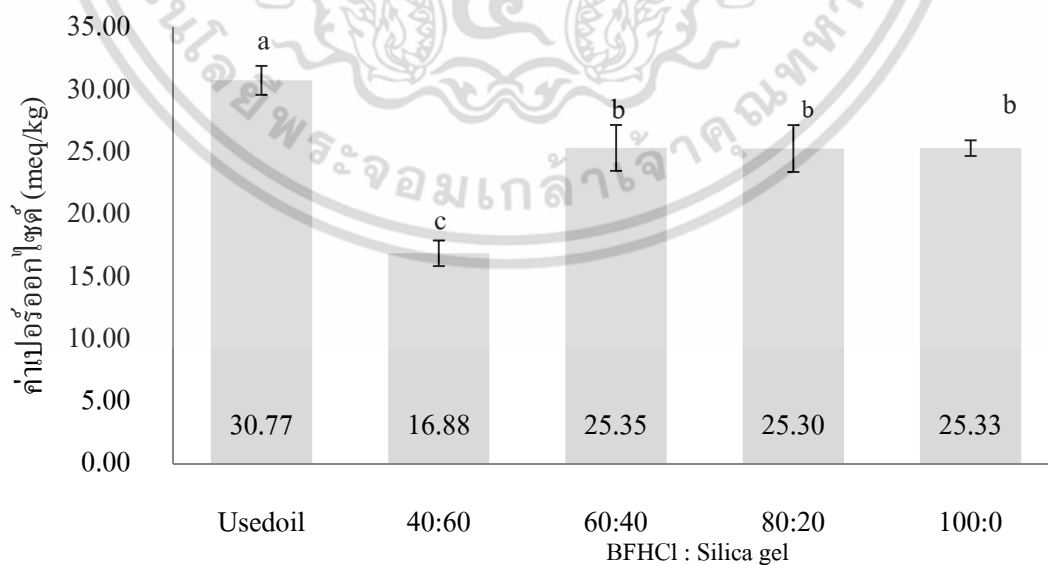
ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดไก่ก่อนการดูดซับด้วยถั่วแกลบพบว่ามีค่าร้อยละ 0.58 จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค (มอก. 288-2535) กำหนดให้มีค่าความเป็นกรดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วไม่ควรเกินร้อยละ 0.6 โดย O'Brien, (2009) กล่าวว่าค่าความเป็นกรดของน้ำมันมีค่าเท่ากับ 1.99 เท่าของค่ากรดไขมันอิสระ จึงสามารถคำนวณเป็นค่าความเป็นกรดของน้ำมันก่อนดูดซับได้เท่ากับร้อยละ 1.16 (ภาพที่ 4.11) ซึ่งพบว่าน้ำมันทอดที่นำมาวิเคราะห์มีค่าเกินมาตรฐาน เมื่อผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับถั่วแกลบผสมซิลิกาเจล ในทุกๆอัตราส่วนพบว่า สามารถลดค่ากรดไขมันอิสระหรือค่าความเป็นกรดได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ซึ่งสามารถลดได้ประมาณร้อยละ 49-55 โดยสามารถลดค่าความเป็นกรดของน้ำมันลงได้ต่ำกว่าหรือเท่ากับมาตรฐาน มอก. 288-2535 คือประมาณร้อยละ 0.52-0.60 (ภาคผนวก ตารางที่ ค1)



ภาพที่ 4.11 ค่าความเป็นกรด ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างเถ้าแกลบและซิลิกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ

#### 4.3.1.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

น้ำมันก่อนดูดซับมีค่าเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 30.77 meq/kg เมื่อดูดซับด้วยสารดูดซับผสมเถ้าแกลบ 40 ส่วนต่อซิลิกาเจล 60 ส่วน (RHA40:Silica60) สามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์เหลือ 16.88 meq/kg (ภาพที่ 4.12) หรือมีร้อยละการปรับปรุงเท่ากับร้อยละ 45.16 (ภาคผนวก ตารางที่ ค1) ซึ่งสามารถลดได้มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) พบว่าการเพิ่มสัดส่วนของซิลิกาเจลเป็นร้อยละ 60 ทำให้สารดูดซับมีความสามารถในการปรับปรุงค่าเปอร์ออกไซด์ได้มากขึ้นกว่าการใช้สารดูดซับในอัตราส่วนอื่นๆ

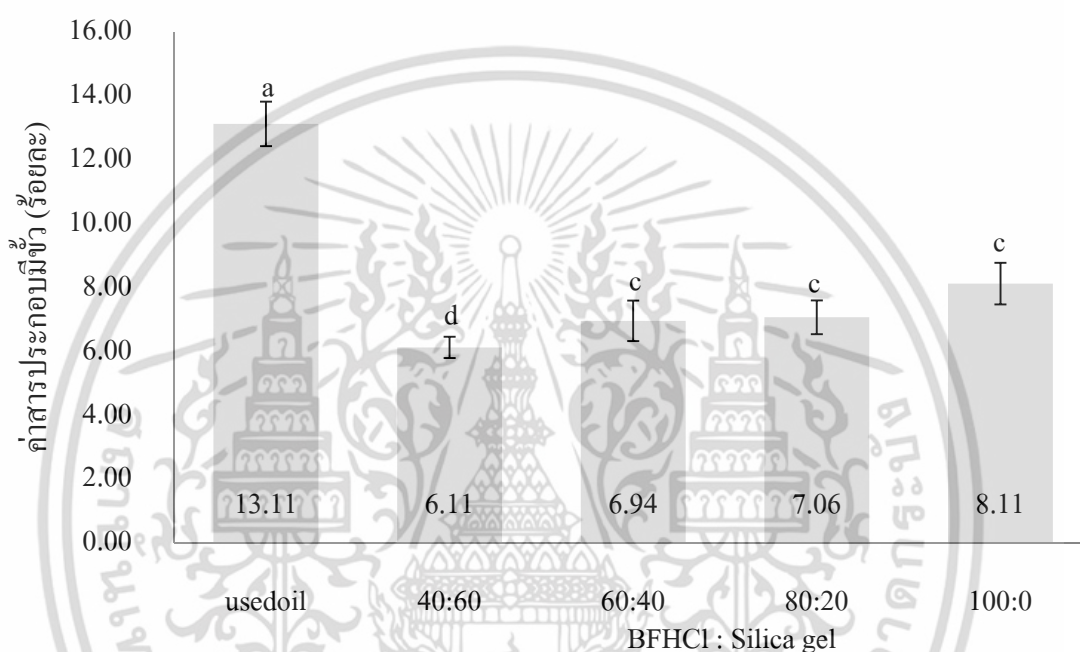


ภาพที่ 4.12 ค่าเปอร์ออกไซด์ ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างเถ้าแกลบและซิลิกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.1.3 ค่าสารประกอบมีขี้วัว

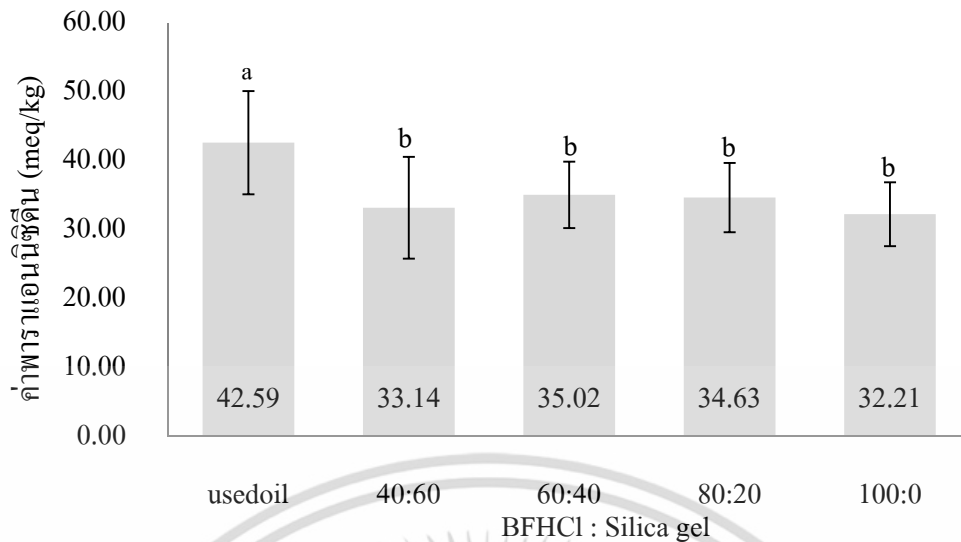
ค่าสารประกอบมีขี้วัว ของน้ำมันทอดไก่ก่อนการดูดซับด้วยเถ้าแกลบพบว่ามีค่าประมาณร้อยละ 13.11 (ภาพที่ 4.14) พบว่าการใช้สารดูดซับที่อัตราส่วน ตัวดูดซับเถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดไฮโดรคลอริกก่อนเผาร้อยละ 40 ต่อ ตัวดูดซับซิลิกาเจลร้อยละ 60 สามารถปรับปรุงให้ค่าสารประกอบมีขี้วัวในน้ำมันทอดไก่มีค่าร้อยละ 6.11 (ภาพที่ 4.14) หรือคิดเป็นร้อยละการปรับปรุงได้ถึงร้อยละ 53.26 (ภาคผนวก ตารางที่ ค1) ซึ่งพบว่าสามารถปรับปรุงได้มากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ



ภาพที่ 4.14 ค่าสารประกอบมีขี้วัว ของน้ำมันทอดไก่ที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างเถ้าแกลบและซิลิกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ

#### 4.3.1.4 ค่าพาราแอนนิซิดีน

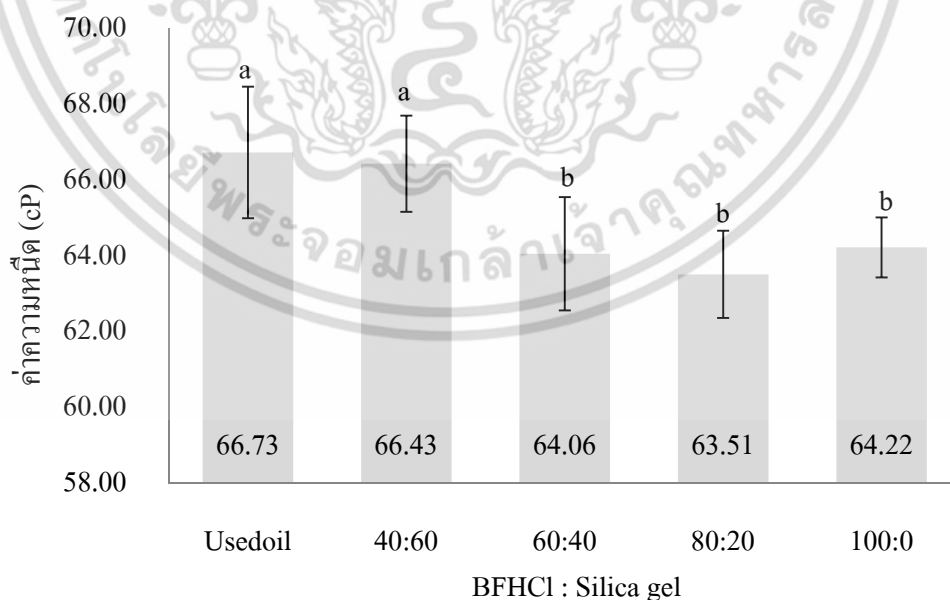
ค่าพาราแอนนิซิดีน พบว่าการใช้สารดูดซับผสมที่อัตราส่วนใดๆ สามารถปรับปรุงค่าพาราแอนนิซิดีนได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) คือ จากน้ำมันทอดไก่ที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงพบว่ามีค่า พาราแอนนิซิดีน 42.59 meq/kg (ภาพที่ 4.15) หลังการปรับปรุงด้วยสารดูดซับทุกอัตราส่วนพบว่าน้ำมันมีค่าพาราแอนนิซิดีน ประมาณ 32-35 meq/kg (ภาพที่ 4.15) หรือสามารถลดค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันทอดไก่ลงได้ร้อยละ 17-24 (ภาคผนวก ตารางที่ ค1)



ภาพที่ 4.15 ค่าพาราแอนนิซิดีน ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถ้ำแคลบและซิลิกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ

#### 4.3.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถ้ำแคลบและซิลิกาเจล

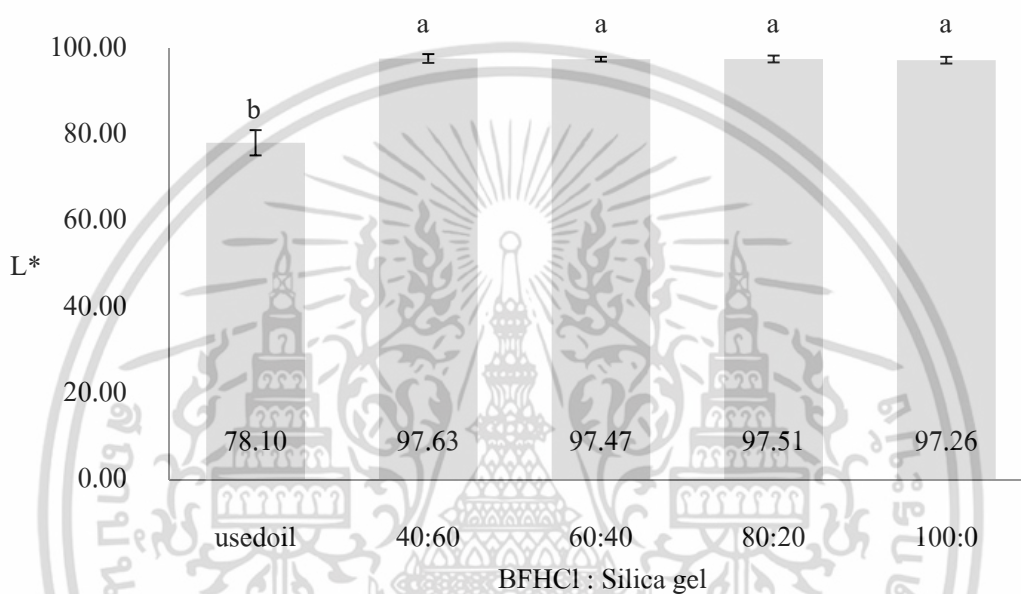
พบว่าการใช้สารดูดซับที่อัตราส่วนตัวดูดซับถ้ำแคลบร้อยละ 80 ต่อ สารดูดซับซิลิกาเจล 20 สามารถลดค่าความหนืดจากน้ำมันทอดไก่ที่มีค่าความหนืด 66.73 cP ให้ลดลงเหลือ 63.51 cP (ภาพที่ 4.16) ซึ่งพบว่าสามารถปรับปรุงได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้สารดูดซับที่อัตราส่วนอื่นๆคือปรับปรุงได้ร้อยละ 5.81 (ภาคผนวก ตารางที่ ค2)



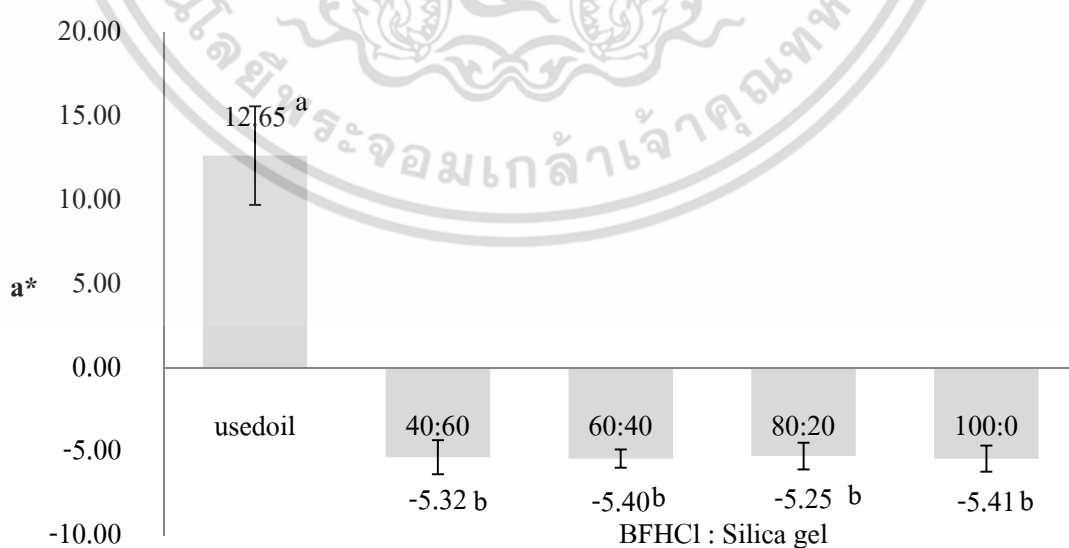
ภาพที่ 4.13 ค่าความหนืด ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถ้ำแคลบและซิลิกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในด้านสีของน้ำมันเริ่มต้นมีค่า  $L^* a^*$  และ  $b^*$  เท่ากับ 78.10 12.65 และ 85.81 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.17, 4.18 และ 4.19) โดยพบว่าการใช้สารดูดซับเข้าเคลือบที่อัตราส่วนต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) คือสามารถปรับปรุงให้น้ำมันมีสีที่คล้ำน้อยลงหรือมีค่า  $L^* a^*$  และ  $b^*$  ประมาณ 97.26 ถึง 97.63, -5.25 ถึง -5.40 และ 27.01 ถึง 28.62 ตามลำดับ

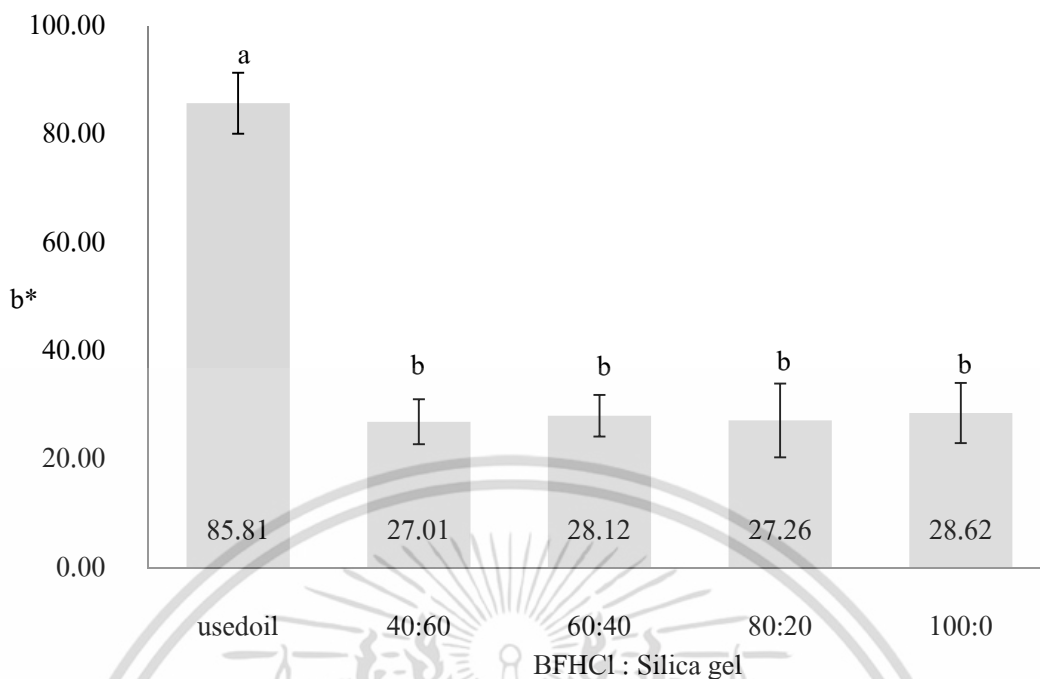


ภาพที่ 4.17 ค่าสี  $L^*$  ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างเถ้าเคลือบและซิลิกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ

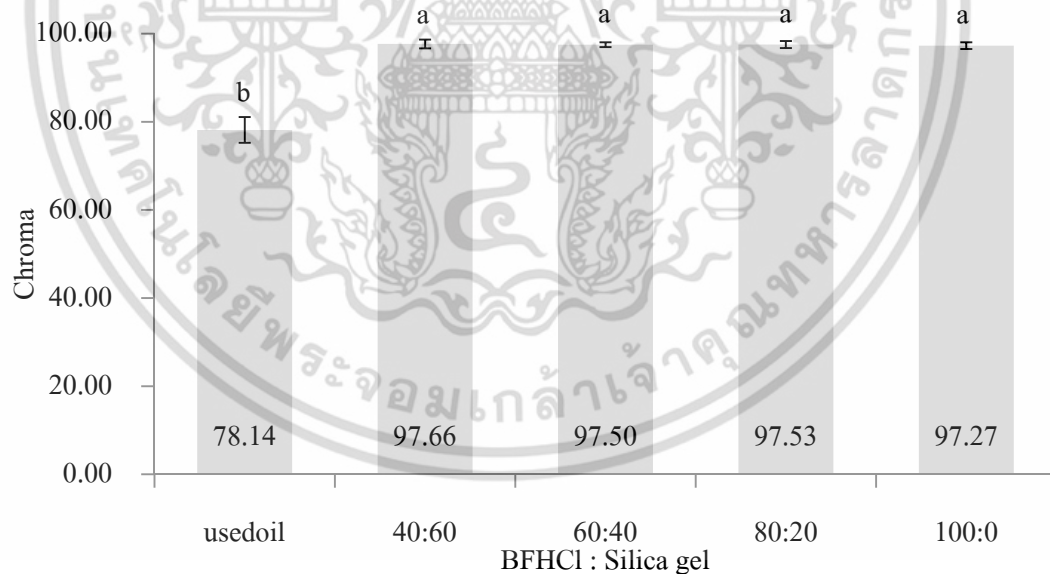


ภาพที่ 4.18 ค่าสี  $a^*$  ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างเถ้าเคลือบและซิลิกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

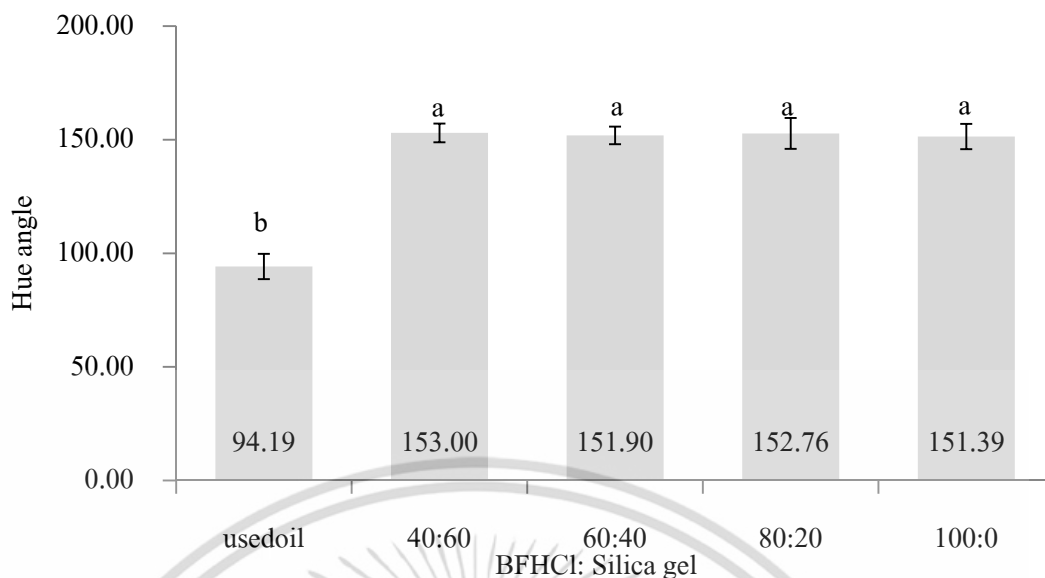


ภาพที่ 4.19 ค่าสี b\* ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถ้ำกลบและ ซิลิกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ



ภาพที่ 4.20 ค่าสี Chroma ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถ้ำกลบ และ ซิลิกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.21 ค่าสี Hue angle ของน้ำมันทอดซ้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับผสมระหว่างถ้ำแกลบ และ ซิลิกาเจลในอัตราส่วนต่างๆ

#### 4.4 ผลการศึกษาการนำไปใช้ใหม่ของน้ำมันที่ผ่านการดูดซับ

เลือกน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพดีที่สุดคือน้ำมันที่ผ่านการดูดซับโดยมีสารดูดซับผสมระหว่างถ้ำแกลบที่ผ่านการแช่กรดไฮโดรคลอริกก่อนเผากับซิลิกาเจล ในสัดส่วน 40 ต่อ 60 น้ำมันปรับปรุงที่ได้มาผสมกับน้ำมันปาล์มใหม่ ในสัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่ต่อน้ำมันปรับปรุง 75:25 นำไปทอดแผ่นแป้งกล้วย แบบน้ำมันท่วม โดยใช้น้ำมันทั้งหมด 1 ลิตรต่อ ปริมาณแป้งกล้วย 100 แผ่น ต่อวัน ทอดที่ อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และเวลา  $20 \pm 1$  วินาทีในการทอดต่อ 1 แผ่น หลังจากทอดเสร็จปล่อยให้ให้น้ำมันร้อนต่อเนื่องไปอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จึงปิดสวิทช์หม้อทอด ทำการกรองน้ำมัน น้ำมันที่ผ่านการทอดจะนำไปใช้ทอดกล้วยในวันรุ่งขึ้นทำซ้ำต่อเนื่องจนครบสามวันพบว่าน้ำมันมีแป้งจากกล้วยตกตะกอนอยู่เป็นปริมาณมาก จึงไม่สามารถทอดกล้วยได้อีก พบว่า น้ำมันผสม (Blended oil) และน้ำมันใหม่ (New oil) มีคุณภาพทางเคมีและกายภาพลดลงตามจำนวนวันที่ทอด

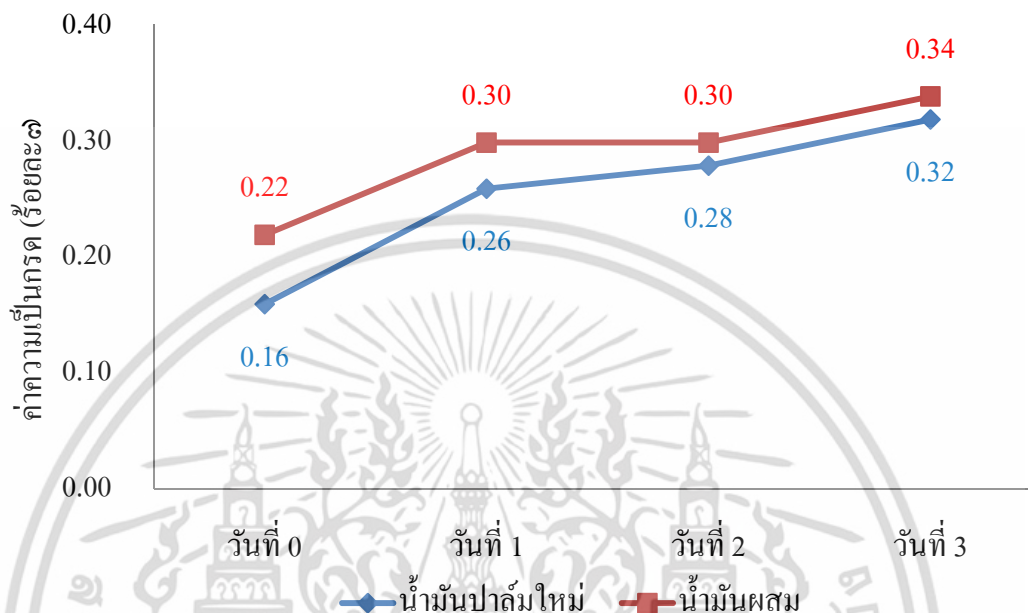
##### 4.4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันผสม

###### 4.4.1.1 ค่าความเป็นกรด

จากการวิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันผสมมีค่ากรดไขมันอิสระร้อยละ 0.08 และ 0.11 หรือคิดเป็นค่าความเป็นกรดได้เท่ากับร้อยละ 0.16 และ 0.22 ตามลำดับ หากพิจารณาจากความชันของกราฟ จากภาพที่ 4.22 พบว่าการใช้น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันผสมที่ใช้ทอดแผ่นแป้งกล้วยเป็นเวลา 3 วันมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ มีค่าความเป็นกรดเพิ่มสูงขึ้นในการทอดวันแรกคือเท่ากับร้อยละ 0.26 และ 0.30 ตามลำดับ มีแนวโน้มสูงขึ้นในวันที่ 2

และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในการทอดวันที่ 3 (ร้อยละ 0.32 และ 0.34 ตามลำดับ) ซึ่ง Chung และ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะ (2004) ทำการทอด flour dough แบบต่อเนื่องในน้ำมันถั่วเหลืองผสมกับน้ำมันงาที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดมีค่าสูงขึ้นตามจำนวนครั้งที่ทอด และเมื่อทอดซ้ำเป็นเวลา 3 วันพบว่าน้ำมันทั้งสองชนิดมีค่าความเป็นกรดไม่เกิน ร้อยละ 0.6 จากมาตรฐานของน้ำมันปาล์มบริโภคนอก.288-2535 จึงอาจสามารถใช้ทอดซ้ำต่อไปอีกได้



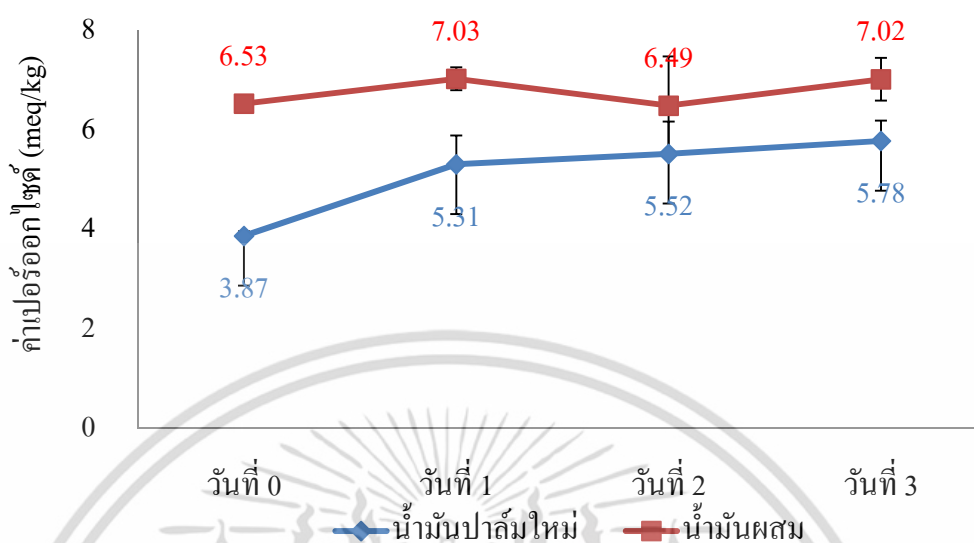
ภาพที่ 4.22 ค่าความเป็นกรด (ร้อยละ) ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดเกี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน

#### 4.4.1.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ผสมน้ำมันปรับปรุงก่อนนำไปทอดเริ่มต้นมีค่าเปอร์ออกไซด์ 6.53 meq/kg ซึ่งมากกว่าน้ำมันปาล์มใหม่ที่มีค่าเท่ากับ 3.87 meq/kg (ภาพที่ 4.23) แสดงให้เห็นได้ชัดว่าการใช้น้ำมันปรับปรุงนั้นน้ำมันมีการเสื่อมเสียระดับหนึ่งแล้วทำให้มีค่าเปอร์ออกไซด์ที่สูงกว่าการใช้น้ำมันปาล์มใหม่ แต่ไม่เกิน 10 meq/kg ตามมาตรฐาน นอก.288-2535 โดยการใช้น้ำมันทั้งสองชนิดในการทอดเกี่ยวมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ เมื่อทอดแผ่นเกี่ยววันละ 100 แผ่นเป็นเวลา 3 วัน น้ำมันที่ใช้ทอดมีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นภายในการทอดวันแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยลดลงเล็กน้อยในการทอดซ้ำวันที่ 2 และกลับมาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 3 อาจเพราะสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในขั้นตอนปฏิกิริยาแบบทวีคูณ (propagation) ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดอนุมูลอิสระ โดย peroxy radical ทำปฏิกิริยาต่อกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวใหม่ ได้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) โดยสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์นี้เป็นสารที่ไม่คงตัวสามารถแตกตัวกลับไปเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาลูกโซ่ได้อีกครั้ง จึงสันนิษฐานว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์อาจมีการเพิ่มขึ้นและลดลงได้เล็กน้อย จากมาตรฐานของน้ำมันปาล์มบริโภคนอก.288-2535 กำหนดให้มีค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน 10 (meq/kg) พบว่าการทอดเกี่ยวเป็นเวลา 3 วัน ค่าเปอร์ออกไซด์ของการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

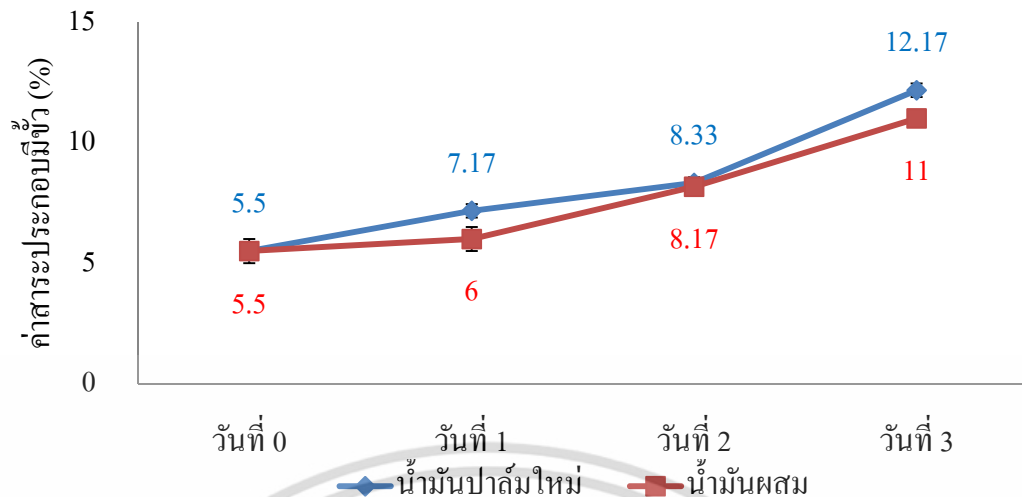
น้ำมันปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 7.02 meq/kg และการใช้น้ำมันปาล์มใหม่ มีค่า 5.78 meq/kg ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายังสามารถใช้น้ำมันนี้ในการทอดต่อได้



ภาพที่ 4.23 ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg) ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน

#### 4.4.1.3 ค่าสารประกอบมีขี้

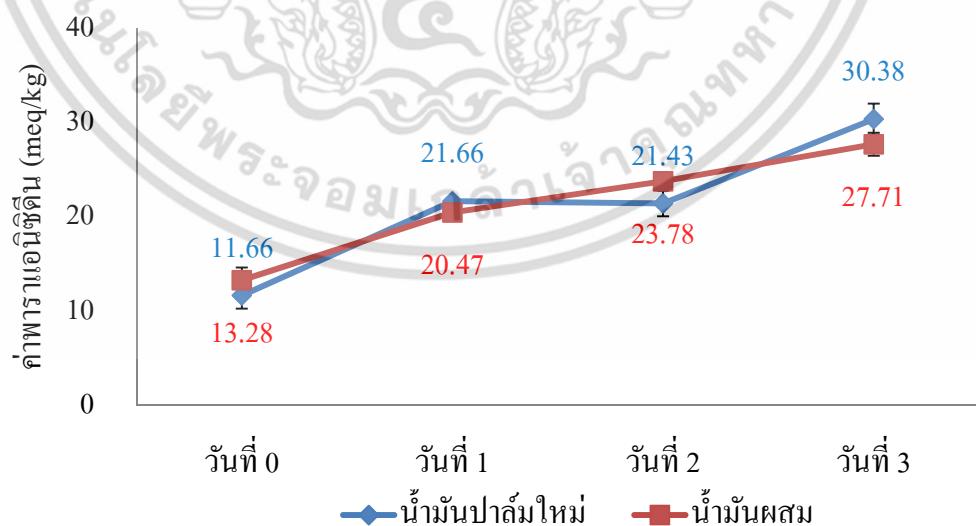
น้ำมันผสมที่มีน้ำมันปรับปรุงร้อยละ 25 เริ่มต้นนั้นมีค่าสารประกอบมีขี้ใกล้เคียงกับ น้ำมันปาล์มใหม่ ซึ่งเท่ากับร้อยละ 5.50 เมื่อนำไปทอดแผ่นกล้วยพบว่ามีค่าสารประกอบมีขี้เพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งและวันที่ทอด เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่สูงทำให้เกิดการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์ในระหว่างการทอด ยิ่งทอดนานและใช้อุณหภูมิสูงเป็นการเร่งให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพ โดยเมื่อผ่านการทอดเกี่ยวเป็นเวลา 3 วันพบว่าน้ำมันผสมที่ผ่านการปรับปรุง มีค่าสารประกอบมีขี้เท่ากับร้อยละ 11 (ภาพที่ 4.24) และน้ำมันปาล์มใหม่ที่ผ่านการทอดเกี่ยวเป็นเวลา 3 วันมีค่าสารประกอบมีขี้เท่ากับร้อยละ 12.17 (ภาพที่ 4.24) ซึ่งไม่เกินมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283 ที่กำหนดให้น้ำมันที่จะนำมาใช้ทอดอาหารหรือประกอบอาหารมีค่าสารประกอบมีขี้ไม่เกินร้อยละ 25



ภาพที่ 4.24 ค่าสารประกอบมีขี้ว (ร้อยละ) ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดเกี่ยวข้องต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน

#### 4.4.1.4 ค่าพาราแอนนิซิดิน

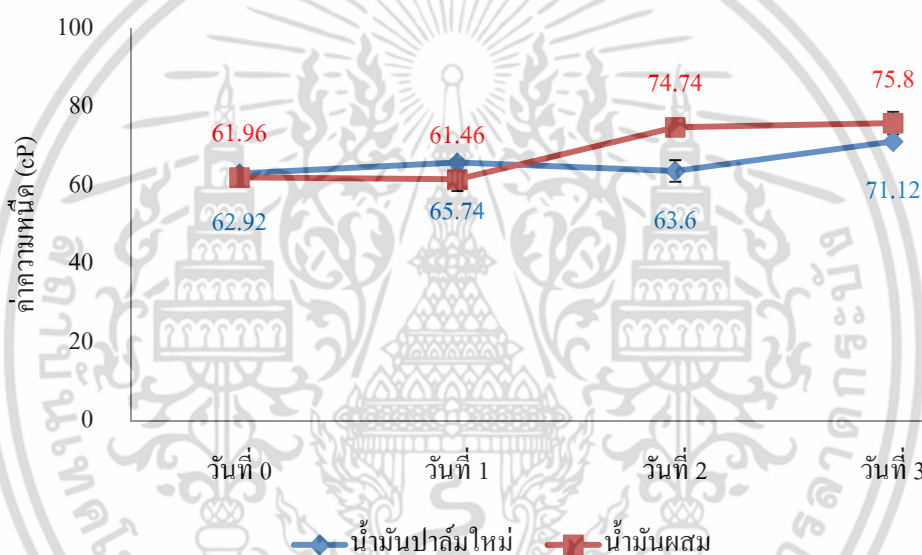
ค่าพาราแอนนิซิดินเป็นตัวบ่งชี้การเกิดผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันอันดับสองที่ได้จากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ทำให้เกิด สารประกอบอัลดีไฮด์ ที่ทำให้น้ำมันทอดมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ในการทอดเกี่ยวข้องเป็นเวลา 3 วันพบว่าค่าพาราแอนนิซิดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งและวันที่ทอด (ภาพที่ 4.25) โดยเริ่มต้นนั้นน้ำมันผสมมีค่าพาราแอนนิซิดินเท่ากับ 13.28 meq/kg (ภาพที่ 4.25) ซึ่งมากกว่า น้ำมันปาล์มใหม่ ที่มีค่าพาราแอนนิซิดินเท่ากับ 11.66 meq/kg (ภาพที่ 4.25) จากนั้นเมื่อผ่านการทอดเกี่ยวข้องเป็นเวลา 3 วันพบว่าการใช้น้ำมันทั้งสองชนิดมีแนวโน้มของค่าพาราแอนนิซิดินที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน และมีค่าพาราแอนนิซิดินที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก ค1)



ภาพที่ 4.25 ค่าพาราแอนนิซิดิน (meq/kg) ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดเกี่ยวข้องต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน

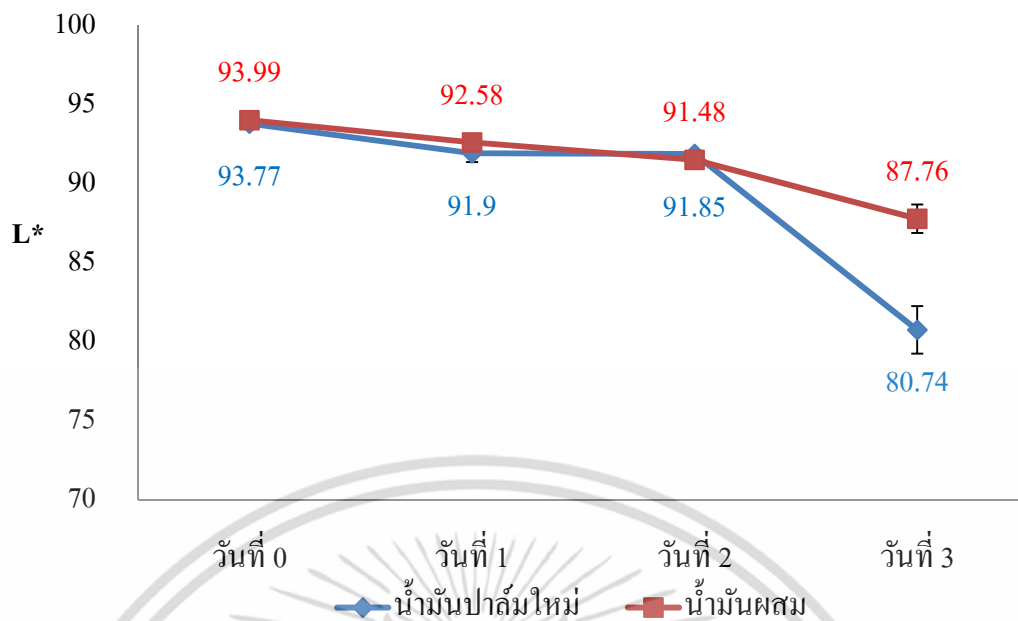
#### 4.4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันผสม

จากการศึกษาการทอดเกี่ยวจำนวน 100 แผ่น ใช้น้ำมัน 3 วัน โดยเปรียบเทียบระหว่างการทอดด้วยน้ำมันปาล์มใหม่ และการทอดด้วยน้ำมันผสมน้ำมันใช้แล้วร้อยละ 25 พบว่าค่าความหนืดมีค่าสูงขึ้นตามจำนวนวันที่ทอด ซึ่ง ความหนืดของน้ำมันเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน และอาจเกิดได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือ ไฮโดรไลซิส น้ำมันที่มีความหนืดจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงจึงเป็นผลให้ต้องใช้เวลาทอดที่นานขึ้นและยังทำให้อาหารที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันดังกล่าวอมน้ำมัน (McGrill, 1980) โดยจาก ภาพที่ 4.26 จะเห็นได้ว่าการใช้น้ำมันปาล์มใหม่ทอดเกี่ยวเป็นเวลา 3 วัน ค่าความหนืดค่อนข้างคงที่และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 3 แต่การใช้น้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงนั้นจะเห็น ได้ว่ามีค่าความหนืดมีมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ที่การทอดเกี่ยวในวันที่สอง

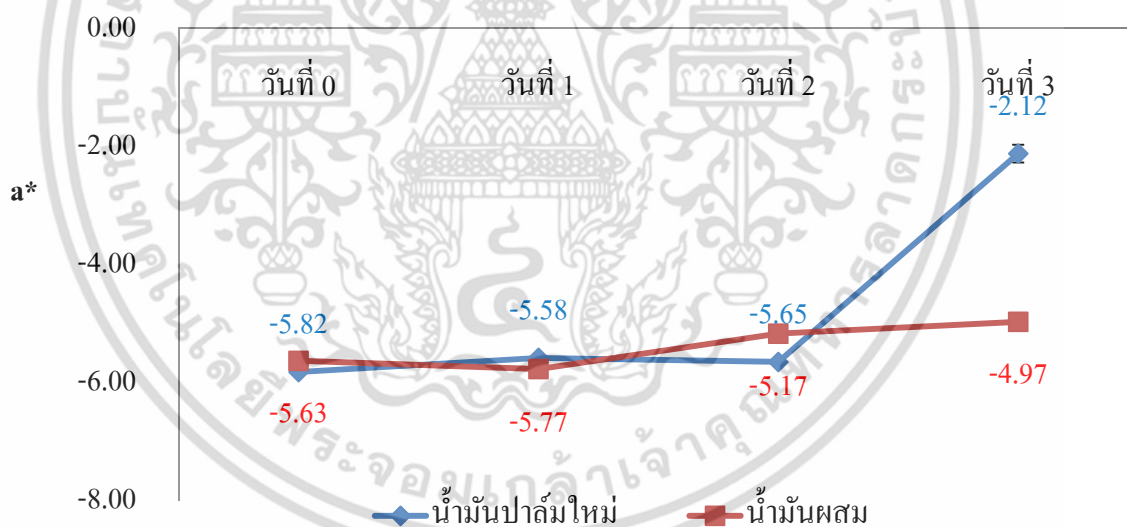


ภาพที่ 4.26 ค่าความหนืด (cP) ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดเกี่ยวต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน

สีของน้ำมันที่คล้ำขึ้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสีในอาหารที่ผ่านการทอดสามารถละลายในน้ำมันและทำให้น้ำมันมีสีคล้ำขึ้น (Melton et al., 1994) แต่เนื่องจากเกี่ยวมีส่วนผสมหลักคือแป้งและไข่ทำให้สีของน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยเริ่มต้นน้ำมันปาล์มใหม่มีค่า สี  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  เท่ากับ 93.77, -5.82 และ 44.78 ส่วนน้ำมันใหม่ผสมน้ำมันปรับปรุงร้อยละ 25 มีค่า สี  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  เท่ากับ 93.99, -5.63 และ 41.43 (ภาพที่ 4.27, 4.28 และ 4.29) ซึ่งไม่แตกต่างกันมากนักแต่ในวันที่ทอดเกี่ยววันที่ 3 พบว่าการใช้น้ำมันปาล์มใหม่ 100% มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสี โดยเฉพาะค่า  $L^*$  มีค่าลดลงหรือมีสีที่คล้ำมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ที่วันที่ 3 และลดลงมากกว่าการใช้น้ำมันปรับปรุง ผสมน้ำมันปาล์มใหม่ และมีการเปลี่ยนแปลงค่า  $a^*$  และ  $b^*$  สูงกว่าเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 4.28 และ 4.29)

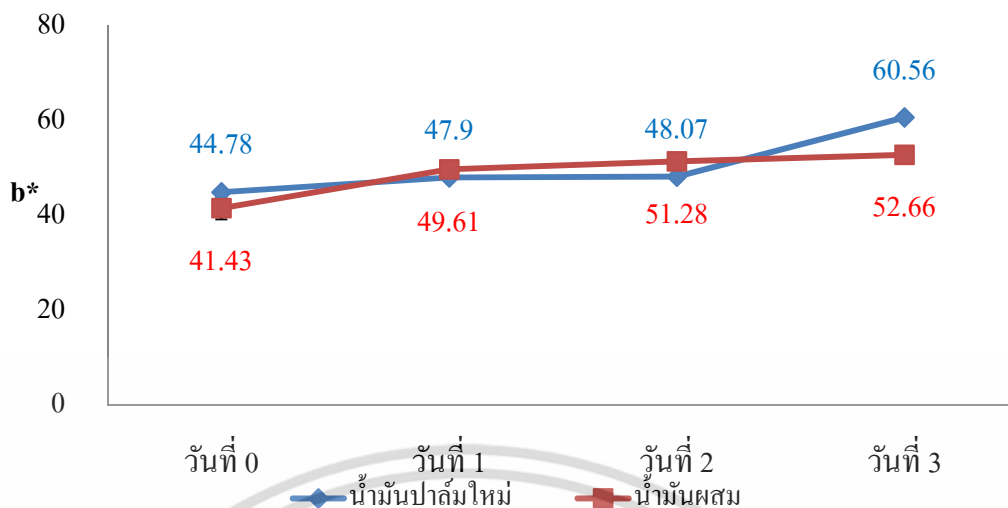


ภาพที่ 4.27 ค่าสี L\* ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดกล้วยต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน

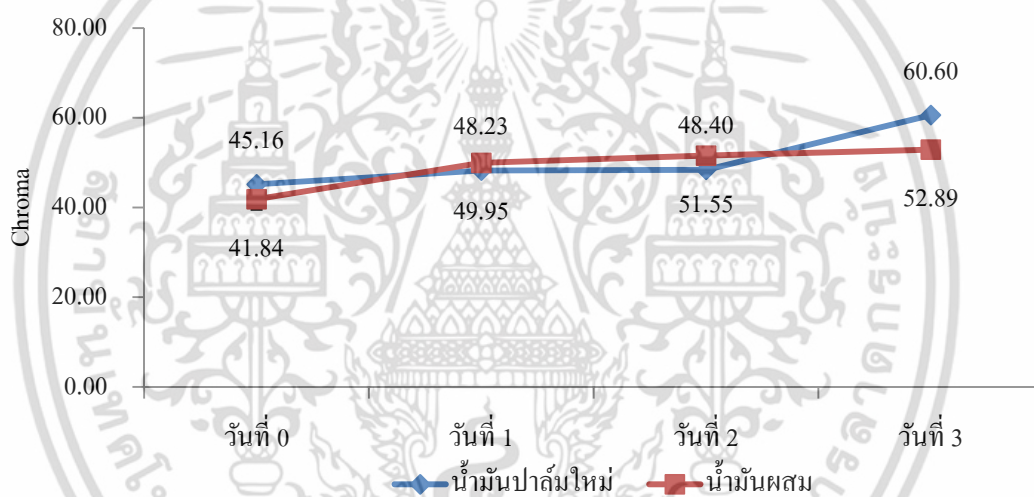


ภาพที่ 4.28 ค่าสี a\* ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดกล้วยต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน

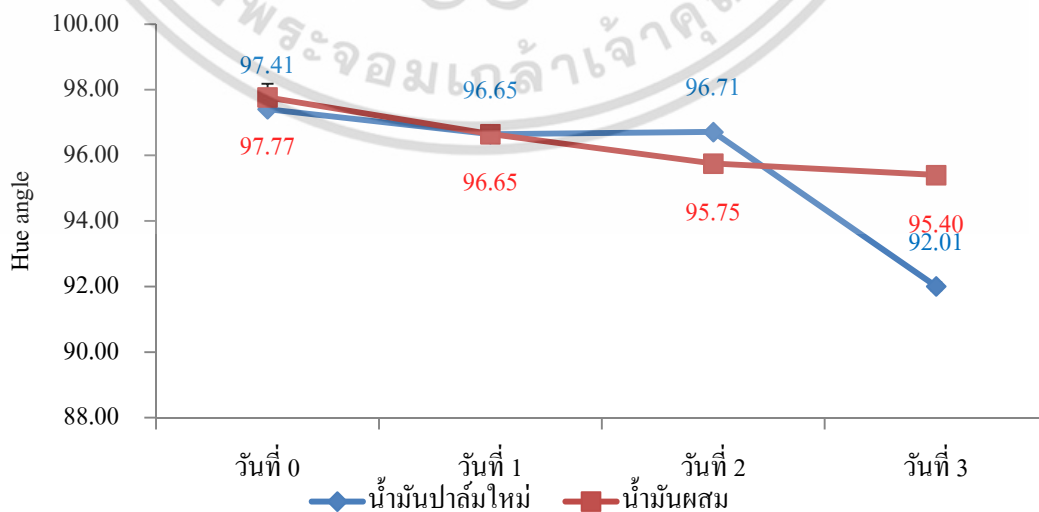
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.29 ค่าสี b\* ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดกล้วยต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน



ภาพที่ 4.30 ค่าสี Chroma ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดกล้วยต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน



ภาพที่ 4.31 ค่าสี Chroma ของน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดกล้วยต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.3 ผลการศึกษาลักษณะของก๊วยภายหลังการทอดและเมื่อเก็บรักษา

##### 4.4.3.1 ความอมน้ำมันของผลิตภัณฑ์ก๊วยทอดกรอบ

เมื่อนำก๊วยทอดกรอบมาวิเคราะห์ความอมน้ำมันพบว่าปริมาณน้ำมันที่อยู่ในแผ่นก๊วยที่ผ่านการทอดเป็นเวลา 3 วัน พบว่าการใช้น้ำมันผสมทอดก๊วยซ้ำเป็นเวลา 3 วันนั้นทำให้ก๊วยมีความอมน้ำมันเพิ่มขึ้นจากวันแรกมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 29.07 และเพิ่มขึ้นในวันที่ 2 และ 3 เป็นร้อยละ 33.79 และ 35.85 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) ซึ่งพบว่าทำให้ก๊วยมีความอมน้ำมันมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ต่างกับการใช้น้ำมันใหม่ทอดแผ่นก๊วยพบว่าในการใช้น้ำมันใหม่ทอดแผ่นก๊วยซ้ำเป็นเวลา 3 วัน แผ่นก๊วยมีปริมาณน้ำมันหรือมีความอมน้ำมันที่ใกล้เคียงกันคือมีค่าประมาณร้อยละ 30-33 จึงสอดคล้องกับ งานวิจัยของ Moreira และคณะ (1998) พบว่า การทอดอาหารด้วยน้ำมันใช้แล้ว ทำให้อาหารมีความอมน้ำมันมากกว่าการใช้น้ำมันใหม่ เนื่องจาก ระหว่างการทอดน้ำที่อยู่ในอาหารจะเกิดการระเหย ทำให้รูพรุนในอาหารมีขนาดที่กว้างขึ้นทำให้น้ำมันถูกดูดซับเข้าไปแทนที่ในรูพรุนของอาหารนั้นๆ และเมื่อนำอาหารออกจากภาชนะที่ใช้ทอด ขณะที่อาหารเย็นตัวลง น้ำมันที่อยู่บนผิวของอาหารจะถูกดูดซับเข้าไปในอาหาร ดังนั้นการใช้น้ำมันใช้แล้ว น้ำมันจะมีความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันใหม่ ทำให้อาหารที่ทอดด้วยน้ำมันใช้แล้วจะมีความอมน้ำมันที่สูงกว่า

ตารางที่ 4.3 ร้อยละของปริมาณน้ำมันที่อยู่ในแผ่นก๊วยที่ใช้ น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันผสมทอดซ้ำเป็นเวลา 3 วัน

จำนวนวันในการทอด	ปริมาณน้ำมันในแผ่นก๊วย (ร้อยละ)	
	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันผสม
1	33.03±0.37 <sup>Aa</sup>	29.07±0.11 <sup>Cb</sup>
2	30.12±0.75 <sup>Bb</sup>	33.79±0.60 <sup>Ba</sup>
3	31.26±0.49 <sup>Cb</sup>	35.85±1.69 <sup>Aa</sup>

หมายเหตุ \* 1. ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้ง (A B C) หมายถึงจำนวนวันในการทอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

2. ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอน (a b) หมายถึงการใช้น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันผสมในการทอดก๊วยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.4.3.2 ค่าสีของผลิตภัณฑ์เกี่ยวทอดกรอบ

เมื่อวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นเกี่ยวพบว่า การทอดเกี่ยวโดยใช้น้ำมันผสมและน้ำมันใหม่ไม่มีผลต่อค่าสีในวันแรกของการทอด และการใช้ซ้ำเป็นเวลา 3 วัน ไม่ส่งผลต่อสีของเกี่ยว โดยแผ่นเกี่ยวที่ทอดในวันที่ 2 มีสีคล้ำลง หรือ มีค่า  $L^*$  ลดลงเล็กน้อย จากในวันที่ 1 น้ำมันใหม่และน้ำมันผสมมีค่า  $L^*$  57.50 และ 57.38 ตามลำดับ จนในวันที่ 2 น้ำมันใหม่และน้ำมันผสมมีค่า  $L^*$  ลดลงเท่ากับ 54.24 และ 53.40 (ตารางที่ 4.5) ซึ่ง Choe และ Min (2007) พบว่า การเกิดสีคล้ำของอาหารนั้นขึ้นกับเวลาในการทอด และ สีของน้ำมัน จาก ภาพที่ 4.22 , 4.23 และ 4.24 พบว่า สีของน้ำมันทั้งสองชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากเมื่อทอดซ้ำเป็นเวลา 3 วัน จึงทำให้สีของเกี่ยวทอดไม่มีความแตกต่างเมื่อใช้น้ำมันใหม่และน้ำมันผสมทอดซ้ำเป็นเวลา 3 วัน

ตารางที่ 4.4 ค่าสี  $L^*a^*b^*$  , Chroma และ Hue ของแผ่นเกี่ยวที่ใช้ น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันผสมทอดซ้ำเป็นเวลา 3 วัน

ค่าสีของ แผ่น เกี่ยว	น้ำมันปาล์มใหม่			น้ำมันผสม		
	ทอดวันที่ 1	ทอดวันที่ 2	ทอดวันที่ 3	ทอดวันที่ 1	ทอดวันที่ 2	ทอดวันที่ 3
$L^*$	57.40±0.62 <sup>Aa</sup>	54.24±1.18 <sup>Ba</sup>	57.07±1.47 <sup>Aa</sup>	57.38±1.06 <sup>Aa</sup>	53.40±0.91 <sup>Ba</sup>	55.43±1.05 <sup>Aa</sup>
$a^*$	4.01±1.40 <sup>Aa</sup>	5.15±1.85 <sup>Aa</sup>	1.34±2.19 <sup>Aa</sup>	6.51±1.04 <sup>Aa</sup>	4.85±1.14 <sup>Aa</sup>	4.89±2.09 <sup>Aa</sup>
$b^*$	30.35±2.19 <sup>Aa</sup>	28.44±0.94 <sup>ABa</sup>	25.75±0.53 <sup>Ba</sup>	34.45±4.08 <sup>Aa</sup>	28.11±0.50 <sup>Ba</sup>	29.61±2.45 <sup>ABa</sup>
Chroma	30.63±2.22 <sup>Aa</sup>	28.93±1.21 <sup>Aa</sup>	25.87±0.40 <sup>Bb</sup>	35.07±4.16 <sup>Aa</sup>	28.57±0.55 <sup>Ba</sup>	30.03±2.73 <sup>ABa</sup>
Hue	97.50±2.56 <sup>Aa</sup>	100.17±3.23 <sup>Aa</sup>	93.03±4.99 <sup>Aa</sup>	100.67±0.72 <sup>Aa</sup>	99.77±2.22 <sup>Aa</sup>	99.17±3.35 <sup>Aa</sup>

หมายเหตุ : 1. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน (A B C) ของแต่ละชนิดของน้ำมัน หมายถึงจำนวนวันในการทอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

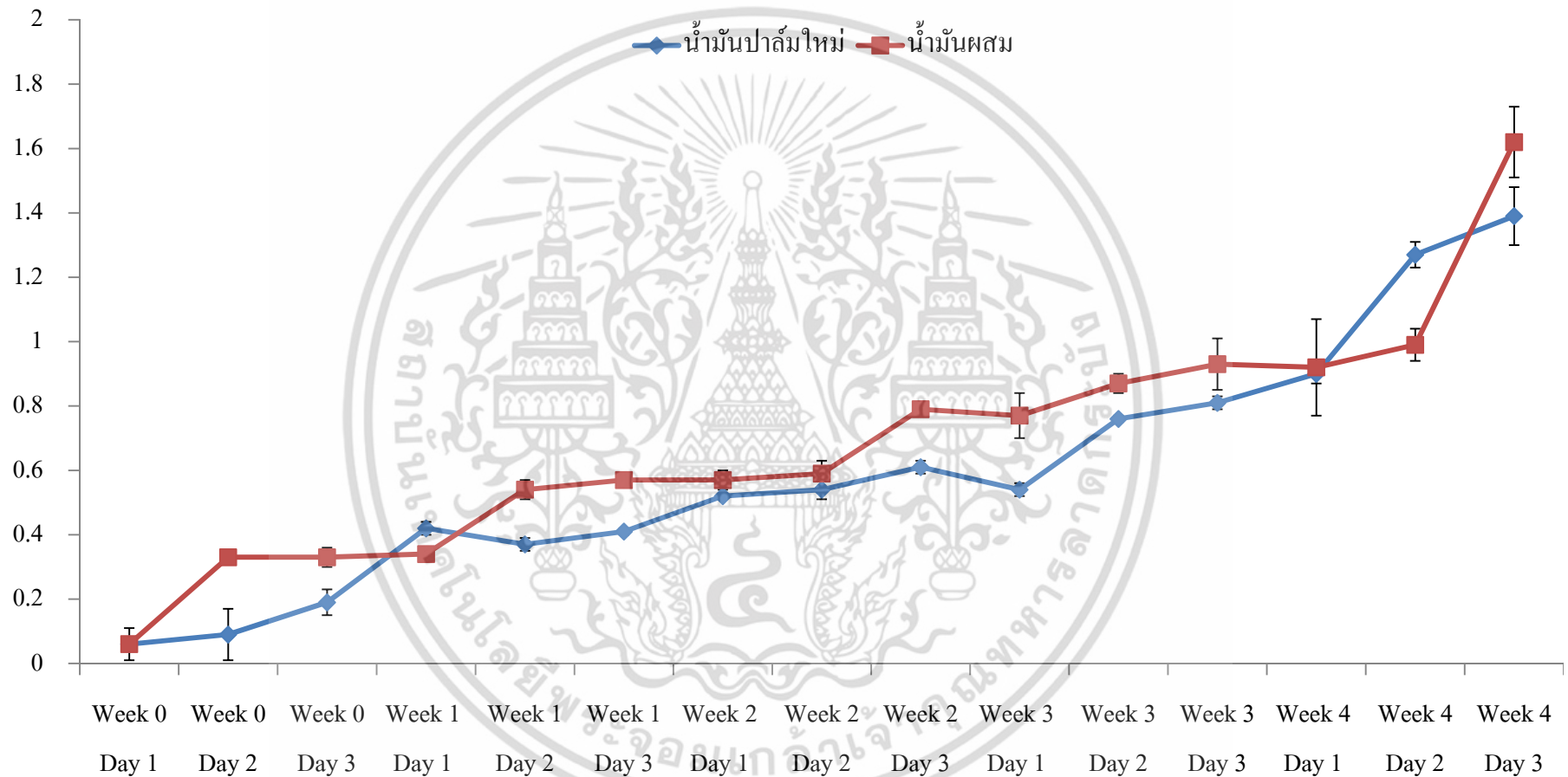
2. ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน (a b) ของแต่ละวันที่ทอด หมายถึงการใช้ น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันผสมในการทอดเกี่ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.4.2.4 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์เกี่ยวทอดกรอบเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์

การศึกษาระดับของ TBA เป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงการเกิด lipid oxidation ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาการหืนในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งจะก่อให้เกิดคุณลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ต่อผู้บริโภค TBA เป็นการวัดปริมาณ malonaldehyde (MDA) ซึ่งเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชันที่เกิดขึ้นจากกระบวนการออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชันกลุ่มนี้สามารถระเหยได้ (volatile decomposition product) สารกลุ่มนี้ทำให้เกิดกลิ่นรสในอาหารทอด ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยกลิ่นหืนเกิดจากออกซิเจนในอากาศเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมัน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบแอลดีไฮด์และกรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลเล็กๆที่มีกลิ่นหืน

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เกี่ยวที่ทอดในน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผสมระหว่างน้ำมันใหม่และน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่สัดส่วน 75:25 เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าผลิตภัณฑ์เกี่ยวที่ใช้ น้ำมันผสมทอดมี ค่า TBA (mg malonaldehyde/kg sample) ตามภาพที่ 4.25 ที่สูงกว่าที่ทอดด้วยน้ำมันใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในทุกสัปดาห์ที่เก็บรักษา โดยการเก็บผลิตภัณฑ์เกี่ยวไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์นั้นทำให้เกี่ยวมีค่า TBA ที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และการใช้น้ำมันทอดซ้ำเป็นเวลา 3 วันนั้นส่งผลให้ค่าเกี่ยวมีแนวโน้มของค่า TBA เพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่ทอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เช่นกัน

จากการทดลองครั้งนี้พบว่าการปรับปรุงน้ำมันใช้แล้ว โดยสารดูดซับที่ผ่านการแช่กรดไฮโดรคลอริก 3 โมลาร์ก่อนการผสมกับสารดูดซับซิลิกาเจลที่อัตราส่วน 40 ต่อ 60 สามารถนำน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงแล้วนั้นมาใช้ใหม่ได้โดยใช้ในอัตราส่วน น้ำมันใหม่ ต่อ น้ำมันปรับปรุง 75:25 พบว่าคุณภาพของน้ำมันนั้นไม่ต่างกับการใช้น้ำมันใหม่ไม่ว่าจะเป็นด้านคุณภาพทางเคมีหรือกายภาพของน้ำมันนั้นพบที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และเมื่อนำไปทอดผลิตภัณฑ์เกี่ยวก็ไม่ส่งผลต่อสี ความอมน้ำมัน ของแผ่นเกี่ยวและค่า TBA ของผลิตภัณฑ์เกี่ยวทอดในการทอดวันแรก แต่การใช้น้ำมันผสมส่งผลต่อค่า TBA ให้มีค่าสูงกว่าการใช้ น้ำมันใหม่ เมื่อทอดซ้ำวันที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งหมายความว่า การใช้ น้ำมันผสมนั้นจะไม่สามารถใช้ซ้ำได้และจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่นำมาทอดนั้นมีกลิ่นหืนที่มากกว่าการใช้ น้ำมันใหม่นั้นเอง



ภาพที่ 4.25 ค่าTBA ของผลิตภัณฑ์เกี่ยวที่นำมาทอดซ้ำเป็นเวลา 3วัน โดยใช้น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผสมในการทอดและเก็บไว้เป็นเวลา 4 สัปดาห์

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การปรับปรุงลักษณะสมบัติของสารดูดซับถ้ำแคลบที่เตรียมด้วยการแช่กรดไฮโดรคลอริก และไนตริก โดยศึกษา พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และ ขนาดของรูพรุน ด้วยวิธี ของ Brunauer-Emmett-Teller (BET) พบว่า พื้นที่ผิวของถ้ำแคลบที่ผ่านการแช่กรดทั้งสองชนิดหลังการเผา (AFHCl และ AFHNO<sub>3</sub>) และ ถ้ำแคลบที่ไม่ได้ผ่านการแช่กรด (RHA) สูงกว่า ถ้ำแคลบที่ผ่านการแช่กรดทั้งสองชนิดก่อนการเผา (BF HCl และ BF HNO<sub>3</sub>) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และพบว่าถ้ำแคลบที่ผ่านการแช่กรดไฮโดรคลอริกก่อนการเผา (BF HCl) มีปริมาตรรูพรุน และ เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนที่สูงที่สุด

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของน้ำมันที่ปรับปรุงด้วยสารดูดซับถ้ำแคลบที่แช่ด้วย กรดไนตริกและกรดไฮโดรคลอริก พบว่าไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนในการปรับปรุงแต่พบว่า ลำดับการแช่กรดมีผล กล่าวคือสารดูดซับที่ปรับปรุงโดยการแช่กรดก่อนการเผาสามารถปรับปรุง สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันได้แก่ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนิซิดีน ค่าสารประกอบมี ซ้ำ ค่าความหนืด และค่าสี ได้ดีกว่าการแช่กรดหลังการเผา ยกเว้นค่าความเป็นกรดอาจเนื่องจาก ขั้นตอนการล้างไม่สมบูรณ์ และการแช่กรดไนตริกนั้นจะต้องแช่กรดที่ความเข้มข้นที่สูง 10 M ก่อนข้างไม่ปลอดภัยในการเตรียมสารดูดซับเพื่อนำไปใช้จริง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สารดูดซับที่ ปรับปรุงด้วยการแช่กรดไฮโดรคลอริกก่อนการเผา (BFHCl) มีความเหมาะสมที่สุดในการทดลองนี้

การศึกษาสัดส่วนของถ้ำแคลบและซิลิกาเจลในการดูดซับน้ำมันที่ผ่านการทอดพบว่าการ ใช้สารดูดซับถ้ำแคลบ (BFHCl) และ ซิลิกาเจลขนาด 0.063-0.2 มิลลิเมตร ในสัดส่วน 40:60 สามารถลด ค่าเปอร์ออกไซด์ และ ค่าสารประกอบมีซ้ำ ให้ลดลงร้อยละ 45.16 และ 53.26 ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มสัดส่วนของซิลิกาเจล สามารถปรับปรุงค่า ค่าเปอร์ออกไซด์ และ ค่า สารประกอบมีซ้ำ ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ การใช้สารดูดซับผสมในทุกๆ อัตราส่วนสามารถปรับปรุงค่าสี L\*a\*b\* ค่ากรดไขมันอิสระ และ ค่าพาราแอนิซิดีนได้ไม่แตกต่าง กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

การนำไปใช้ใหม่ของน้ำมันที่ผ่านการดูดซับ ด้วยสารดูดซับถ้ำแคลบ (BFHCl) ผสมซิลิ กาเจลที่สัดส่วน 40:60 โดยใช้ น้ำมันปรับปรุงร้อยละ 25 ต่อ น้ำมันปาล์มใหม่ร้อยละ 75 เปรียบเทียบ กับการใช้น้ำมันปาล์มใหม่ในการทอดแผ่นก๊วย พบว่าการทอดก๊วยโดยใช้น้ำมันซ้ำเป็นเวลา 3 วัน ทำให้น้ำมันมีการเสื่อมเสียที่มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยการเสื่อมเสียของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้น้ำมันผสมและน้ำมันปาล์มใหม่ทอดแผ่นกึ่งเยว่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาค่า TBA พบว่าการเก็บรักษาแผ่นกึ่งเยว่เป็นเวลา 4 สัปดาห์ทำให้มีค่า TBA สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการใช้น้ำมันผสมทำให้แผ่นกึ่งเยว่จากการทอดด้วยน้ำมันทอดซ้ำวันที่ 2 และ 3 มีค่า TBA สูงกว่าการใช้น้ำมันปาล์มใหม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การใช้น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าแกลบที่ผ่านการแช่กรดนั้น พบว่าคุณภาพของน้ำมันนั้นไม่ต่างกับการใช้น้ำมันใหม่ไม่ว่าจะเป็นด้านคุณภาพทางเคมีหรือกายภาพของน้ำมันนั้นพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน แต่ไม่แนะนำให้ใช้น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงใช้ทอดซ้ำมากกว่า 1 ครั้ง เนื่องจากจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่นำมาทอดนั้นมีกลิ่นหืนหรือมีค่า TBA ที่มากกว่าการใช้น้ำมันใหม่



## บรรณานุกรม

กลุ่มงานคุ้มครองผู้บริโภค กระทรวงสาธารณสุข. 2547. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283/2547 เรื่อง กำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย ประกาศ กระทรวงสาธารณสุข. แหล่งที่มา:

<http://203.157.2.10.2/consumer/pakard 283.pdf>, 23 กุมภาพันธ์ 2548.

นิธิยา รัตนานพนธ์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ

นิธิยา รัตนานพนธ์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียน- สโตร์, กรุงเทพฯ.

ภาคภูมิ จตุรพรสวัสดิ์, วีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร์, ชูวงศ์ ชัยสุข, และ พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์. 2554. การเตรียมตัวดูดซับจากแกลบเพื่อดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ. การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 21. 10 -11 พฤศจิกายน 2554.

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2535. “คุณภาพน้ำมันทอด”. วารสารอาหาร สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. 22(2) : 8-12.

วาริทธิพงษ์ พึ่งพันธ์ . 2554. การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มทอดซ้ำโดยการดูดซับด้วยเถ้าแกลบ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

วริศรา จิระชาติ. 2548. การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไปหุบแป้งโดยใช้สารดูดซับซิลิกาเจล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2535. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค. มอก. 288-2535.

สาวิตรี จันทรานุรักษ์ และ ศดานันท์ เจียมคุณภู. 2548. การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่เลิกใช้แล้วด้วยตัวดูดซับเพื่อการผลิตสบู่ใส. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 283 (พ.ศ. 2547) ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอนพิเศษ 124ง (วันที่ 5 พฤศจิกายน 2547).

A.O.C.S. 1998. Official Methods and Recommended Practices of American Oil Chemists’ Society. 5<sup>th</sup> ed. AOCS Press. Champaign, IL, USA.

Brunauer, S. Emmett, P. H. and Teller, E. 1938. Adsorption of Gases in Multi- molecular Layers. Journal of the American Chemical Society. 60(2): 309–319.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Chakraverty, A., Mishra, P. and Banerjee, H.D. 1988. Investigation of combustion of raw and acid-leached rice husk for production of pure amorphous white silica. *Journal of Materials Science* 23: 21-24.
- Chandrasekhar S., Pramada N.P., Praveen L. 2005. Effect of organic acid treatment on the properties of rice husk silica. *Journal of Materials Science* 40: 6535-6544.
- Chang, Y.Y., Lin, C.I., and Chen, H.K. 2001. Rice hull ash structure and bleaching performance produced by ashing at various time and temperatures. *Journal of the American Oil Chemists' Society*.78(6) : 657-660.
- Che Man, Y.B. and Tan, C.P. 1999. Effects of natural and synthetic antioxidants on changes in refined, bleached, and deodorized palm olein during deep-fat frying of potato chips. 1999. *Journal of the American Oil Chemists' Society*.77(4):331-339.
- Choe, E. and Min, D.B. 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of Food Science* 0(0): 1-10.
- Chung, J., Lee, J. and Choe, E. 2004. Oxidative stability of soybean and sesame oil mixture during frying of flour dough. *Journal of Food Science*.69(7): 574-578.
- Della, V. P., Kühn, I. and Hotza, D. 2002. Rice husk ash as an alternative source for active silica production. *Material Letters*.57: 818-821.
- Farag, S. R., Basuny, M. M. A., Arafat, M. S. and Arafa A. S. 2009. Use of some agricultural waste hull ashes for the regeneration of fried sunflower oil. *International Journal of food Science and Technology*. 44:1850-1856.
- Farook, A. and Ravendran, S. 2000. Saturated fatty acid adsorption by acidified rice hull ash. *Journal of the American Oil Chemists' Society*.77(4): 437-440.
- Fritsch, C. W. 1981. Measurements of frying fat deterioration: A brief Review. *JAOCS*. 58: 272-274.
- Gholizadeh, V. A., Khaloo, A.R. and Rajabipour, F. 2013. The effect of a hydrochloric acid pre-treatment on the physicochemical properties and pozzolanic performance of rice husk ash. *Cement and Concrete Composites* 39: 131-140.
- Kim, M., Yoon, H. S., Choi, E. and Gil B. 2008. Comparison of the adsorbent performance between rice hull silica gel according to their structural differences. *LWT*. 41: 701-706.
- Lin, S., Akoh, C.C. and Reynold, A. 1999. Determination of optimal condition for selected adsorbent combinations to recover used frying oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 76(6): 739-744.
- Lin, S., Akoh, C.C. and Reynolds, E.A. 1998. The recovery of used oil with various adsorbents. *Journal of Food Lipid* 5: 1-16.

- Marisa R., Jimena. S. and Alberto B. 2012. Lipid Peroxidation: Chemical mechanism, Biological implications and Analytical Determination. Intech.
- Mcgrill, E.A. 1980. The chemistry of frying. Baker Digest. 54:38-42.
- Melton, S.L., Jafar, S., Skykes, D. and Trigiano, M.K. 1994. Review of stability measurements for frying oils and fried food flavor. Journal of the American Oil Chemists' Society. 71(12): 1301-1308.
- Mishra, P., Chakraverty, A. and Banerjee, H.D. 1985. Production and purification of silicon by calcium reduction of rice-husk white ash. Journal of Materials Science 20: 4387-4391.
- Moreira, R. G., Sun, X. and Barrufet, A.M. 1998. A new approach to describe oil absorption in fried foods: a Simulation Study. Journal of food Engineering 35: 1-22.
- O'Brien, R. D. 2009. Fat and oil: formulating and processing for applications. Third edition. Taylor & Francis, New York .p 220-221.
- Patel, M., Karera, A. and Prasanna, P. 1987. Effect of thermal and chemical treatments on carbon and silica contents in rice husk. Journal of Materials Science 22: 2457-2464.
- Paul, S. and Mittal, G. S. 1997. Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 37(7): 635-662.
- Perkins, E. G. and Michael, D. E. 1996. Deep Frying: Chemistry, Nutrition and Practical Applications. AOCS Press, Illinois 357p.
- Rossell, J. B. 2001. Frying Improving Quality. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England. 369.
- Shahidi, F., Wanasundara, P.K.J.P.D. 1992. Phenolic antioxidants. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 32:67-103.
- Srinivasan, D., Krik, L. P. and Owen R. F. 2008. Fennema's Food Chemistry. Fourth edition. Taylor & Francis, New York .p 195-197.
- Supatra Porasuphatana, Wongwiwat Tassaneeyakul, Yupaporn Preechagoon, Maitree Suttajit. Changes in Quality of Repeatedly Used Cooking Oils: Toxicological Concerns. [www.webdb.dmsc.moph.go.th/ifc\\_toxic/a\\_tx\\_2\\_001c.asp?info\\_id=301](http://www.webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_2_001c.asp?info_id=301). January 25, 2006.
- Taspinar, O. O. and Ozgul-Yucel, S. 2008. Lipid adsorption capacities of magnesium silicate and activated carbon prepared from the same rice hull. Lipid Sciences Technology. 110: 742-746.
- Velasco, J., Marmesat, S. and Dobarganes, M. 2009. Advances in Deep-Fat Frying of Foods. Taylor & Francis, New York .p54.
- Wai, T.N.K. 2007. Local repeatedly-used deep frying oils are generally safe. International E-Journal of Science, Medicine and Education 1(2): 55-60.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Wannahari, R. and Nordin, M.F.N. 2012. Reduction of peroxide value in used palm oil using bagasse adsorbent. American International Journal of Contemporary Research 2(1): 185-191.
- Weinheim. 1999. Industrial Inorganic Chemicals and products. Ullmann's Encyclopedia : 4092-4012.
- White, P. 1991. Methods for measuring changed in deep-fat frying oils. Food Technology 45(2): 75-80.
- Wonglamom, J. and Rakariyatham, N. 2014. Recovery of used vegetable frying oil by two-step adsorbents. The 26<sup>th</sup> Annual Meeting of the The Society for Biotechnology and International Conference. 26: 330-337.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## ก1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty Value) (AOAC, 1997)

## 1.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1.1.1 เครื่องแก้ว

1.1.2 สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 95%

1.1.3 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1% ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95%

1.1.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

## 1.2 วิธีวิเคราะห์

1.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมันโดยใช้ปริมาณตามตารางที่ ก1 ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250

มิลลิลิตร

ตารางที่ ก1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ, ปริมาณแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของด่าง

Acid Value range%	Sample (g)	Alcohol (mL)	Strength of alkali
0.0-0.2	56.4	50	N
0.2-1.0	28.2	50	0.1 N
1.0-30.0	7.05	75	0.25 N
30.0-50.0	7.05	100	0.25 or 1.0 N
50.0-100.0	3.525	100	1.0 N

1.2.2 เติมสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ตามปริมาณที่เหมาะสมดังพิจารณาจากตารางที่ ก1 โดยสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ต้องผ่านการทำเป็นกลางแล้ว (Neutralized) โดยการเติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 2 มิลลิลิตร และไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนได้สารละลายสีชมพูอ่อน และนำไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

1.2.3 เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 2 มิลลิลิตร

1.2.4 ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนได้สารละลายสีชมพูคงตัว 30 วินาที (ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้พิจารณาตาราง ก1)

1.2.5 บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

1.2.6 คำนวณค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ

$$\text{Free fatty acid as palmitic, \%} = \frac{\text{mL of alkali} \times N \times 25.6}{\text{mass of sample, g}}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก2. วิธีวิเคราะห์หาค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value ; PV) (AOCS Cd 8-53, 1997)

### 2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

- 2.1.1 เครื่องแก้ว
- 2.1.2 สารละลายผสมอะซิติค : คลอโรฟอร์ม (3 : 2)
- 2.1.3 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดค์อิ่มตัว
- 2.1.4 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
- 2.1.5 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล
- 2.1.6 สารละลายน้ำเป็งความเข้มข้น 1%

### 2.2 วิธีวิเคราะห์

- 2.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน  $5 \pm 0.05$  กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.2.2 เติมสารละลายผสมอะซิติค : คลอโรฟอร์ม (3 : 2) 30 มิลลิลิตร
- 2.2.3 เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดค์อิ่มตัว 0.5 มิลลิลิตร
- 2.2.4 เขย่าสารละลายเป็นเวลา 1 นาที ในที่มืด และเติมน้ำกลั่นทันที 30 มิลลิลิตร
- 2.2.5 ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อนและเติมสารละลายน้ำเป็งความเข้มข้น 1% 2 มิลลิลิตร และไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหาย
- 2.2.6 บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต
- 2.2.7 ทำ blank ตามวิธีเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น แต่ไม่ใส่ตัวอย่างน้ำมัน
- 2.2.8 คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์

$$\text{Peroxide Value (milliequivalents peroxide/1000 g sample)} = \frac{(S-B) \times N \times 1000}{\text{Mass of sample, g}}$$

เมื่อ S = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มอล)

### ก3. วิธีวิเคราะห์ค่าพาราแอนนิซิดีน (*p*-Anisidine Value ; *p*-AV) (AOCS Cd 18-90, 1997)

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องแก้ว

3.1.2 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

3.1.3 สารละลายไอโซออกเทน

3.1.4 สารละลายกรดอะซิติก

3.1.5 สารละลายพาราแอนนิซิดีน

#### 3.2 วิธีวิเคราะห์

3.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน  $0.5 \pm 4.0$  กรัม ใส่ในขวดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร

3.2.2 เติมสารละลายไอโซออกเทน เขย่าให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร

3.2.3 ทำ blank โดยใช้สารละลายไอโซออกเทน

3.2.4 นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร

3.2.5 ปิเปิดสารละลายตัวอย่างจากขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ออกมาจำนวน 5 มิลลิลิตร

ใส่ในหลอดทดลอง

3.2.6 ปิเปิดสารละลาย blank จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองอีกหลอดหนึ่ง

3.2.7 เติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

3.2.8 นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร

3.2.9 คำนวณพาราแอนนิซิดีน

$$p\text{-Anisidine Value} = \frac{25 \times (1.2A_s - A_b)}{\text{mass of sample, g}}$$

เมื่อ  $A_s$  = ค่าการดูดกลืนแสงหลังเติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน

$A_b$  = ค่าการดูดกลืนแสงก่อนเติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน

#### ก4. วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบมีขี้ด้วยเครื่อง Ebro TM electronic (FOM 310)

##### 4.1 อุปกรณ์และสารเคมี

###### 4.1.1 เครื่องแก้ว

###### 4.1.2 เครื่องวัดสารประกอบมีขี้ (Ebro TM electronic, FOM 310)

##### 4.2 วิธีวิเคราะห์

###### 4.2.1 กดปุ่ม On/Hold เพื่อเปิดเครื่อง

###### 4.2.2 จุ่มหัวเซ็นเซอร์ในน้ำมันที่ร้อน 150 องศาเซลเซียส ให้อยู่ในระดับ Min/Max

###### 4.2.3 กดหัวเซ็นเซอร์ในน้ำมันอย่างน้อย 5 วินาที จุ่มหัวเซ็นเซอร์จนมีลูกศรขึ้น

###### 4.2.4 กดปุ่ม On/Hold เพื่ออ่านค่า



## ก5. วิธีวิเคราะห์ความหนืด Brookfield Viscometer (Brookfield DV-III)

### 5.1 อุปกรณ์

- 5.1.1 Brookfield viscometer รุ่น DV-III
- 5.1.2 ชุด small sample adapter
- 5.1.3 หัววัดเบอร์ 18

### 5.2 วิธีวิเคราะห์

- 5.2.1 ปรับระดับลูกน้ำให้อยู่กึ่งกลางของกรอบ และเปิดเครื่อง (power switch) ที่ด้านหลังของฐานเครื่อง
- 5.2.2 กดปุ่ม motor on/off เครื่องจะทำการปรับศูนย์อัตโนมัติ เมื่อน้ำจ่อขึ้น auto zero is complete กด next
- 5.2.3 นำน้ำมันใส่ใน chamber ซึ่งติดตั้งเข้ากับชุด small sample adapter และควบคุมในการวัดที่อุณหภูมิ  $25 \pm 1$  องศาเซลเซียส
- 5.2.4 ใส่หัววัดเบอร์ 18 และจุ่มในตัวอย่าง
- 5.2.5 กด select spindle เพื่อเลือกขนาดของหัววัด และ กด select spindle อีกครั้งเพื่อตอบตกลง
- 5.2.6 เลือกความเร็วรอบ โดยพิจารณาความเร็วรอบจากค่าทอร์ก (torque) ที่เข้าใกล้ 100 หลังจากนั้นอ่านค่าความหนืดของตัวอย่างเป็นเซนติพอยส์ (cP)

## ก6. วิธีการวัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab (Color Quest XE)

เครื่องวัดสีทำงานโดยใช้หลักการของ spectrophotometry ดังนี้ ให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงภายในตัวเครื่อง ตกกระทบบนผิวของวัตถุ อนุภาคของสีบนผิวของวัตถุจะดูดกลืนแสงบางช่วงคลื่นไว้ และสะท้อนแสงบางช่วงคลื่นออกมา และถูกบันทึกโดยชุดรับสัญญาณ (Spectrometer) และนำข้อมูลมาประมวลผลตามการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดงและสีน้ำเงิน คำนวณค่าสีออกมาเป็นตัวเลขระบบ CIE (Commission International de l'Eclairage)

### 6.1 วิธีวิเคราะห์

6.1.1 เปิดเครื่องทดสอบและโปรแกรมการทดสอบในคอมพิวเตอร์ ในการตรวจสอบสีของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ใช้ค่าสีระบบ CIE  $L^*$   $a^*$   $b^*$  โดยการปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) ด้วยการตั้งค่าต่างๆ ดังนี้ Mode เลือก TTRAN (Total transmission) ใช้วัดสีวัตถุโปร่งใส โดยจะรวมแสงที่ทะลุผ่านทั้งหมดและแสงที่กระเจิง และเลือก Illuminant/Observer เลือก D65/10°

6.1.2 ทำการ Calibration เครื่องก่อนการวัดครั้งแรกด้วยชุด Calibration โดยทำตามขั้นตอนที่โปรแกรมกำหนด ดังนี้

6.1.2.1 นำ black card วางที่ transmission port กด OK เมื่อทำการ standardize สมบูรณ์แล้ว นำ blank card ออก

6.1.2.2 นำ cell blank วางแทนที่ black card

6.1.2.3 นำ white calibrated tile วางที่ reflectance port (วางไว้ตลอดการวัดโดยไม่เอาออก)

6.1.2.4 ทำการกดอ่านค่า cell blank โดยค่า  $L^*$  ที่วัดได้จะเท่ากับ 100 หรือใกล้เคียง 100 ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  จะเท่ากับ 0 หรือใกล้เคียง 0

6.1.2.5 จากนั้นเปลี่ยนจาก cell blank เป็นตัวอย่างน้ำมัน วัดค่าสีของน้ำมันในระบบ CIE  $L^*$   $a^*$   $b^*$  โดยทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

$L^*$  หมายถึง ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว)

$a^*$  หมายถึง ค่าสีแดง ถ้าเป็นบวก (+) ค่าสีเขียว ถ้าเป็นลบ (-)

$b^*$  หมายถึง ค่าสีเหลือง ถ้าเป็นบวก (+) ค่าสีน้ำเงิน ถ้าเป็นลบ (-)

$C^*$  หมายถึง ค่าความเข้มของสี (Chroma) คำนวณจาก  $C^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$

$H^*$  หมายถึง มุมของสี (Hue angle) คำนวณจาก  $H^* = \arctan(b^*/a^*)$

## ก7. วิธีการวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) (ดัดแปลงจาก Jayssingh and Cornforth 2003)

ค่า TBA เป็นการวัดผลิตภัณฑ์อันดับสองที่เกิดขึ้น จากการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่บ่งชี้ถึงผลิตภัณฑ์กลุ่มที่สามารถระเหยได้ (volatile decomposition product) สารกลุ่มนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีกลิ่นหืน การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ ทำได้โดยใช้หลักการของวิธีการวัดความเข้มของสารสีชมพูแดงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไทโอบาร์บิทูริก (thiobabutaric) กับ oxidized lipids ได้สารประกอบที่มีสีชมพูแดง ซึ่งสารประกอบดังกล่าวเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างมาลลอนอัลดีไฮด์ (malonaldehyde, MDA) จำนวน 1 โมล กับ 2-Thiobabutaric acid (TBA) จำนวน 2 โมล การรายงานผลวิเคราะห์จะรายงานผลเป็น มิลลิกรัมของมาลลอนอัลดีไฮด์ต่อ กิโลกรัมตัวอย่าง (Milligrams of malonaldehyde equivalents/kg of sample)

### 7.1 อุปกรณ์และสารเคมี

- 7.11 หลอดทดลอง
- 7.12 เครื่องหมุนเหวี่ยง
- 7.13 อ่างควบคุมอุณหภูมิ
- 7.14 กรดไตรคลอโรอะซีติก
- 7.15 กรดไทโอบาร์บิทูริก
- 7.16 กรดไฮโดรคลอริก

### 7.2 วิธีการวิเคราะห์

7.2.1 ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดอย่างสม่ำเสมอ จำนวน 1 กรัม ใส่หลอดทดลองแล้วเติมสารละลายผสมระหว่างกรดไตรคลอโรอะซีติก (Trichloroacetic หรือ TCA) เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และกรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobabutaric acid หรือ TBA) เข้มข้นร้อยละ 0.375 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.2 N

7.2.2 จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที แล้วทำให้เย็นทันที ก่อนที่จะนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

7.2.3 ปิเปตสารละลายส่วนใสใส่หลอดทดลองอีกหลอด นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

7.2.4 จากนั้นนำส่วนสมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

7.2.5 จดบันทึกค่าการดูดกลืนแสงและคำนวณค่า TBA

$$\text{TBA number (mg MDA/kg sample)} = \text{sample } A_{532} \times 2.77$$

### ก8. วิธีการคำนวณร้อยละการปรับปรุง (%Recovery) ของน้ำมันที่ผ่านการดูดซับแล้ว

$$\text{ร้อยละการปรับปรุง (\%Recovery)} = \left[ \frac{QVB-QVA}{QVB} \right] \times 100 \text{ หรือ } \left[ \frac{QVA-QVB}{QVB} \right] \times 100$$

Quality value before absorbent process (QVB) = คุณภาพของน้ำมันในก่อนการดูดซับ

Quality value after absorbent process (QVA) = คุณภาพของน้ำมันในหลังการดูดซับ

#### ตัวอย่างที่ 1

น้ำมันก่อนดูดซับมีค่าเปอร์ออกไซด์ 10 meq/kg หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ 4.5 meq/kg

$$\begin{aligned} \text{แสดงว่าสามารถปรับปรุงน้ำมันให้มีคุณภาพดีขึ้นได้} &= \left[ \frac{10-4.5}{10} \right] \times 100 \\ &= \text{ร้อยละ 55} \end{aligned}$$

#### ตัวอย่างที่ 2

น้ำมันก่อนดูดซับมีค่าสี L\* เท่ากับ 68 หลังจากดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มีค่าสี L\* เท่ากับ 94

$$\begin{aligned} \text{แสดงว่าสามารถปรับปรุงน้ำมันให้มีคุณภาพหรือค่าสี L* ที่สว่างขึ้นได้} &= \left[ \frac{94-68}{68} \right] \times 100 \\ &= \text{ร้อยละ 38} \end{aligned}$$

## ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข1 สมบัติทางเคมีและร้อยละการปรับปรุงของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 160°C และหลังการดูดซับด้วยเส้นใยผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด

สมบัติทางเคมี	ค่าความเป็นกรด		ค่าเปอร์ออกไซด์		ค่าสารประกอบมีขี้		ค่าพาราแอนนิซิน	
	Acid value (AV)	%Recovery	Peroxide value (PV) (med/kg)	%Recovery	Total polar compound (TPC)	%Recovery	P-av (med/kg)	%Recovery
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอด 160°C	1.02±0.12 <sup>a</sup>	-	21.93±1.67 <sup>a</sup>	-	12.00±0.00 <sup>a</sup>	-	26.18±2.71 <sup>a</sup>	-
RHA	0.59±0.08 <sup>b</sup>	42.20±4.10 <sup>c</sup>	10.98±2.34 <sup>bc</sup>	49.93±10.38 <sup>ab</sup>	9.33±0.58 <sup>b</sup>	22.22±6.70 <sup>c</sup>	21.07±1.92 <sup>b</sup>	19.52±3.59 <sup>b</sup>
BFHCL	0.32±0.16 <sup>c</sup>	69.04±14.33 <sup>b</sup>	9.10±2.55 <sup>c</sup>	58.53±10.45 <sup>a</sup>	7.33±0.58 <sup>c</sup>	38.89±16.09 <sup>ab</sup>	16.90±3.69 <sup>c</sup>	35.45±8.79 <sup>a</sup>
BFHNO <sub>3</sub>	0.22±0.08 <sup>c</sup>	78.36±6.64 <sup>a</sup>	9.31±2.26 <sup>c</sup>	57.55±9.76 <sup>a</sup>	6.50±0.00 <sup>d</sup>	45.83±8.11 <sup>b</sup>	16.90±2.40 <sup>c</sup>	35.45±3.97 <sup>a</sup>
AFHCL	0.69±0.08 <sup>b</sup>	32.90±3.23 <sup>d</sup>	10.98±2.40 <sup>bc</sup>	49.95±0.95 <sup>ab</sup>	6.00±0.50 <sup>d</sup>	50.00±17.33 <sup>ab</sup>	17.64±3.41 <sup>c</sup>	32.62±7.76 <sup>a</sup>
AFHNO <sub>3</sub>	0.67±0.08 <sup>b</sup>	33.98±5.43 <sup>d</sup>	12.14±0.94 <sup>b</sup>	44.63±3.54 <sup>b</sup>	5.53±0.05 <sup>c</sup>	53.89±9.36 <sup>a</sup>	17.84±3.44 <sup>c</sup>	31.86±6.42 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้ง (a b c) หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

2) Untreated หมายถึง น้ำมันที่ใช้ดูดซับเป็นเส้นใยที่ไม่ผ่านการแช่กรด, BFHCl หมายถึง น้ำมันที่ใช้ดูดซับเป็นเส้นใยที่แช่กรดไฮโดรคลอริกก่อนเผา, BFHNO<sub>3</sub> หมายถึง น้ำมันที่ใช้ดูดซับเป็นเส้นใยที่แช่กรดไนตริกก่อนเผา, AFHCl หมายถึง น้ำมันที่ใช้ดูดซับเป็นเส้นใยที่แช่กรดไฮโดรคลอริกหลังเผา และ AFHNO<sub>3</sub> หมายถึง น้ำมันที่ใช้ดูดซับเป็นเส้นใยที่แช่กรดไนตริก 10 M หลังเผา

3) %Recovery หมายถึง ร้อยละของการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอด 160°C กับเส้นใยด้วยเส้นใย

ตารางที่ ๒2 สมบัติทางกายภาพและร้อยละการปรับปรุงของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุมชนก่อนและหลังการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ผ่านการแช่กรดและไม่แช่กรด

สมบัติทางกายภาพ	ค่าความหนืด (Viscosity)		ค่าความสว่าง (L*)		ค่าความเป็นสีแดง (a*)		ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)	
	Viscosity (cP)	%Recovery	L*	%Recovery	a*	%Recovery	b*	%Recovery
น้ำมันปาล์มก่อนดูดซับ	58.78±2.07 <sup>a</sup>	-	68.78±15.76 <sup>b</sup>	-	14.82±3.92 <sup>a</sup>	-	66.98±27.41 <sup>a</sup>	-
RHA	55.86±2.15 <sup>b</sup>	4.97±1.07 <sup>b</sup>	94.47±2.84 <sup>a</sup>	37.35±34.28 <sup>b</sup>	-4.66±0.34 <sup>b</sup>	68.58±34.28 <sup>a</sup>	31.82±6.32 <sup>b</sup>	52.49±24.91 <sup>a</sup>
BFHCl	54.48±3.12 <sup>b</sup>	7.32±3.06 <sup>a</sup>	95.19±2.07 <sup>a</sup>	38.40±36.24 <sup>a</sup>	-5.06±0.58 <sup>b</sup>	65.88±6.21 <sup>a</sup>	30.84±6.01 <sup>b</sup>	53.95±30.74 <sup>a</sup>
BFHNO <sub>3</sub>	53.71±3.39 <sup>b</sup>	8.62±2.19 <sup>a</sup>	93.99±2.26 <sup>a</sup>	36.65±35.02 <sup>a</sup>	-4.86±0.18 <sup>b</sup>	67.23±9.61 <sup>a</sup>	34.72±4.53 <sup>b</sup>	48.16±21.29 <sup>a</sup>
AFHCl	53.42±2.36 <sup>b</sup>	9.11±2.19 <sup>a</sup>	94.18±2.77 <sup>a</sup>	36.93±34.39 <sup>a</sup>	-4.74±0.21 <sup>b</sup>	68.04±9.29 <sup>a</sup>	32.61±5.08 <sup>b</sup>	51.29±24.19 <sup>a</sup>
AFHNO <sub>3</sub>	53.38±2.83 <sup>b</sup>	9.19±3.06 <sup>a</sup>	93.47±2.87 <sup>a</sup>	35.90±34.19 <sup>b</sup>	-4.46±0.28 <sup>b</sup>	69.93±8.85 <sup>a</sup>	32.60±5.87 <sup>b</sup>	51.32±23.24 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้ง (a b c) หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

- 2) Untreated หมายถึง น้ำมันที่ใช้ตัวดูดซับเป็นถ่านกัมมันต์ที่แช่กรด, BFHCl หมายถึง น้ำมันที่ใช้ตัวดูดซับเป็นถ่านกัมมันต์ที่แช่กรดไฮโดรคลอริกก่อนเผา, BFHNO<sub>3</sub> หมายถึง น้ำมันที่ใช้ตัวดูดซับเป็นถ่านกัมมันต์ที่แช่กรดในตริกก่อนเผา, AF-HCl หมายถึง น้ำมันที่ใช้ตัวดูดซับเป็นถ่านกัมมันต์ที่แช่กรด ไฮโดรคลอริกหลังเผา และ AFHNO<sub>3</sub> หมายถึง น้ำมันที่ใช้ตัวดูดซับเป็นถ่านกัมมันต์ที่แช่กรดในตริก 10 M หลังเผา
- 3) %Recovery หมายถึง ร้อยละของการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุมชนด้วยถ่านกัมมันต์

## ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก1 สมบัติทางเคมีและร้อยละการปรับปรุงของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดได้สูงมแป็งก่อนและหลังการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการแช่กรดและ  
 ซิติกาเจดที่อัตราส่วนต่างๆ

สมบัติทางเคมี	ค่าความเป็นกรด		ค่าเปอร์ออกไซด์		ค่าสารประกอบมีขี้		ค่าพาราแอนนิซิน	
	Acid value (AV)	%Recovery	Peroxide value(PV)	%Recovery	Total polar compound (TPC)	%Recovery	P-anisidine(P-av)	%Recovery
น้ำมันปาล์มก่อน	1.16±0.17 <sup>a</sup>		30.77±1.15 <sup>a</sup>		13.11±0.69 <sup>a</sup>		42.59±6.91 <sup>a</sup>	
ดูดซับ								
BFHCl40:Silica60	0.60±0.17 <sup>b</sup>	49.03±7.09 <sup>a</sup>	16.88±1.02 <sup>c</sup>	45.16±2.02 <sup>a</sup>	6.11±0.33 <sup>b</sup>	53.26±3.93 <sup>a</sup>	33.14±7.38 <sup>b</sup>	22.93±8.59 <sup>ab</sup>
BFHCl60:Silica40	0.57±0.17 <sup>b</sup>	51.09±9.77 <sup>a</sup>	25.35±1.84 <sup>b</sup>	23.23±3.67 <sup>b</sup>	6.94±0.63 <sup>c</sup>	46.77±7.02 <sup>ab</sup>	35.02±4.82 <sup>b</sup>	17.89±2.52 <sup>b</sup>
BFHCl:Silica20	0.53±0.16 <sup>b</sup>	54.66±7.56 <sup>a</sup>	25.30±1.88 <sup>b</sup>	17.87±3.63 <sup>c</sup>	7.06±0.52 <sup>c</sup>	42.59±8.17 <sup>ab</sup>	34.63±5.02 <sup>b</sup>	18.74±6.34 <sup>ab</sup>
BFHCl 100	0.52±0.10 <sup>b</sup>	55.07±5.12 <sup>a</sup>	25.33±0.63 <sup>b</sup>	17.64±1.66 <sup>c</sup>	8.11±0.65 <sup>b</sup>	28.11±15.61 <sup>c</sup>	32.21±4.62 <sup>b</sup>	24.41±5.66 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้ง (a b c) หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

2) %Recovery หมายถึง ร้อยละของการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดได้สูงมแป็งด้วยถ่านกัมมันต์

ตารางที่ ก2 สมบัติทางกายภาพและร้อยละการปรับปรุงของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอด ใ้กลุ่มแป้งก่อนและหลังการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ผ่านการแช่การแช่กรดและชนิดที่อัตราส่วนต่างๆ

สมบัติทางกายภาพ	ค่าความหนืด (Viscosity)		ค่าความสว่าง (L*)		ค่าความเป็นสีแดง (a*)		ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)	
	Viscosity (cP)	%Recovery	L*	%Recovery	a*	%Recovery	b*	%Recovery
น้ำมันปาล์มที่ผ่าน	66.73±1.26 <sup>a</sup>	-	78.10±2.93 <sup>b</sup>	-	12.65±3.13 <sup>a</sup>	-	85.81±5.62 <sup>a</sup>	-
การทอด ใ้กลุ่มแป้ง								
BFHC140:Silica60	66.43±1.73 <sup>a</sup>	1.03±0.39 <sup>c</sup>	97.63±1.02 <sup>a</sup>	20.93±0.73 <sup>a</sup>	-5.32±0.40 <sup>b</sup>	56.08±8.72 <sup>a</sup>	27.01±4.14 <sup>b</sup>	68.68±3.03 <sup>a</sup>
BFHC160:Silica40	64.06±1.49 <sup>b</sup>	5.01±0.91 <sup>b</sup>	97.47±0.54 <sup>a</sup>	19.91±1.10 <sup>a</sup>	-5.40±0.48 <sup>b</sup>	56.32±8.40 <sup>a</sup>	28.12±3.83 <sup>b</sup>	67.91±3.68 <sup>a</sup>
BFHC180:Silica20	63.51±1.15 <sup>b</sup>	5.81±1.06 <sup>b</sup>	97.51±0.79 <sup>a</sup>	19.91±0.91 <sup>a</sup>	-5.25±0.85 <sup>b</sup>	57.44±5.83 <sup>a</sup>	27.26±6.80 <sup>b</sup>	68.51±6.55 <sup>a</sup>
BFHC1100	64.22±0.79 <sup>b</sup>	4.75±0.82 <sup>b</sup>	97.26±0.78 <sup>a</sup>	19.88±1.00 <sup>b</sup>	-5.41±0.61 <sup>b</sup>	55.70±7.74 <sup>a</sup>	28.62±5.56 <sup>b</sup>	66.85±4.97 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้ง (a b c) หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

2) %Recovery หมายถึง ร้อยละของการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอด ใ้กลุ่มแป้งด้วยถ่านกัมมันต์

### ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง1 สมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผสมที่ผ่านการทอดแฉ่นเกี่ยวข้องกับเวลา 3 วัน

จำนวน วันที่ทอด	ค่าความเป็นกรด		ค่าเปอร์ออกไซด์		ค่าสารประกอบมีขี้ขี้		ค่าพาราแอนนิซีติน	
	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันผสม	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันผสม	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันผสม	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันผสม
	Acid value (AV)	Peroxide value(PV)	Total polar compound (TPC)	P-anisidine(P-av)				
0	0.16±0.02 <sup>Cb</sup>	0.22±0.02 <sup>Ca</sup>	3.87±0.09 <sup>Bb</sup>	6.53±0.08 <sup>Aa</sup>	5.50±0.50 <sup>Da</sup>	5.50±0.00 <sup>Ca</sup>	11.66±1.4 <sup>Ca</sup>	13.28±1.35 <sup>Da</sup>
1	0.26±0.00 <sup>Bb</sup>	0.30±0.00 <sup>Ba</sup>	5.31±0.58 <sup>Ab</sup>	7.03±0.23 <sup>Aa</sup>	7.17±0.28 <sup>Ca</sup>	6.00±0.50 <sup>Cb</sup>	21.66±0.05 <sup>Ba</sup>	20.47±0.63 <sup>Ca</sup>
2	0.28±0.01 <sup>Ba</sup>	0.30±0.02 <sup>Ba</sup>	5.52±0.65 <sup>Aa</sup>	6.49±0.99 <sup>Aa</sup>	8.33±0.23 <sup>Ba</sup>	8.17±0.28 <sup>Ba</sup>	21.43±1.36 <sup>Ba</sup>	23.78±0.75 <sup>Ba</sup>
3	0.32±0.02 <sup>Aa</sup>	0.34±0.02 <sup>Aa</sup>	5.78±0.41 <sup>Ab</sup>	7.02±0.43 <sup>Aa</sup>	12.17±0.28 <sup>Aa</sup>	11.00±0.00 <sup>Ab</sup>	30.83±1.65 <sup>Aa</sup>	27.71±1.23 <sup>Aa</sup>

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรที่ต่างกัน (A B C) ในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันของจำนวนวันที่ใช้ทอดเกี่ยวกับน้ำมันที่ใช้ทอดเกี่ยวกับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p \leq 0.05$ )

2) ตัวอักษรที่ต่างกัน (a b) ในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันของปริมาณอัตราส่วนของสารดูดซับเถ้าแกลบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p \leq 0.05$ )

3). น้ำมันผสม หมายถึง น้ำมันที่ผสมผสมน้ำมันปาล์มใหม่ร้อยละ 75 และน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ร้อยละ 25

ตารางที่ ๖2 สมบัติทางกายภาพสมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผสมที่ผ่านการทอดแผ่นเคียวซ้ำเป็นเวลา 3 วัน

จำนวนวันที่ทอด	ค่าความหนืด (Viscosity)		ค่าความสว่าง (L*)		ค่าความเป็นสีแดง (a*)		ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)	
	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันผสม	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันผสม	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันผสม	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันผสม
0	62.92±0.82 <sup>Ca</sup>	61.96±0.25 <sup>Ba</sup>	93.77±0.01 <sup>Aa</sup>	93.99±0.52 <sup>Aa</sup>	-5.82±0.01 <sup>Db</sup>	-5.63±0.02 <sup>Da</sup>	44.78±0.01 <sup>Ca</sup>	41.43±2.38 <sup>Db</sup>
1	65.74±0.67 <sup>Ba</sup>	61.46±2.99 <sup>Bb</sup>	91.90±0.56 <sup>Bb</sup>	92.58±0.09 <sup>Ba</sup>	-5.58±0.02 <sup>Ba</sup>	-5.77±0.05 <sup>Cb</sup>	47.90±0.26 <sup>Bb</sup>	49.61±0.09 <sup>Ca</sup>
2	63.60±2.75 <sup>Ca</sup>	74.74±1.20 <sup>Ab</sup>	91.85±0.08 <sup>Ba</sup>	91.48±0.23 <sup>Ab</sup>	-5.65±0.03 <sup>Cb</sup>	-5.17±0.03 <sup>Ba</sup>	48.07±0.05 <sup>Bb</sup>	51.28±0.20 <sup>Ba</sup>
3	71.12±0.66 <sup>Aa</sup>	75.80±2.89 <sup>Ab</sup>	80.74±1.50 <sup>Cb</sup>	87.76±0.90 <sup>Da</sup>	-2.12±0.15 <sup>Aa</sup>	-4.97±0.07 <sup>Ab</sup>	60.56±0.75 <sup>Aa</sup>	52.66±0.45 <sup>Ab</sup>

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรที่ต่างกัน (A B C) ในแนวตั้ง หมายถึงมีความแตกต่างกันของจำนวนวันที่ใช้ทอดเคียวซ้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

2) ตัวอักษรที่ต่างกัน (a b c) ในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันของปริมาณธาตุซัลเฟอร์ในตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

3) น้ำมันผสม หมายถึง น้ำมันที่ผสมผสมน้ำมันปาล์มใหม่ร้อยละ 75 และน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ร้อยละ 25

## ภาคผนวก จ

ตารางที่ จ1 ค่าTBA ของผลิตภัณฑ์เกี่ยวที่นำมาทอดซ้ำเป็นเวลา 3วัน โดยใช้น้ำมันปาล์มใหม่ และน้ำมันผสมน้ำมันปรับปรุง หลังการทอดทันที

จำนวนวันในการทอด	สัปดาห์ที่ 0	
	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันผสม
1	0.07±0.02 <sup>Ca</sup>	0.09±0.05 <sup>Aa</sup>
2	0.09±0.08 <sup>Bb</sup>	0.33±0.02 <sup>Aa</sup>
3	0.19±0.04 <sup>Ab</sup>	0.33±0.03 <sup>Aa</sup>

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้ง (A B C) หมายถึงจำนวนวันในการทอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

2) ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอน (a b) หมายถึงการใช้น้ำมันใหม่และน้ำมันผสมในการทอดเกี่ยวข้องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ จ2 ค่าTBA ของผลิตภัณฑ์เกี่ยวที่นำมาทอดซ้ำเป็นเวลา 3วัน โดยใช้น้ำมันปาล์มใหม่ และน้ำมันผสมน้ำมันปรับปรุง หลังจากการเก็บไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์

จำนวนวันในการทอด	สัปดาห์ที่ 1	
	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันผสม
1	0.42±0.03 <sup>Aa</sup>	0.34±0.01 <sup>Bb</sup>
2	0.37±0.03 <sup>Bb</sup>	0.54±0.03 <sup>Aa</sup>
3	0.41±0.01 <sup>ABb</sup>	0.57±0.01 <sup>Aa</sup>

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้ง (A B C) หมายถึงจำนวนวันในการทอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

2) ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอน (a b c) หมายถึงการใช้น้ำมันใหม่และน้ำมันผสมในการทอดเกี่ยวข้องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ จ3 ค่าTBA ของผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับน้ำมันทอดซ้ำเป็นเวลา 3วัน โดยใช้น้ำมันปาล์มใหม่ และ น้ำมันผสมน้ำมันปรับปรุง หลังจากการเก็บ เป็นเวลา 2 สัปดาห์

จำนวนวันในการทอด	สัปดาห์ที่ 2	
	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันผสม
1	0.52±0.01 <sup>bA</sup>	0.57±0.03 <sup>bA</sup>
2	0.54±0.03 <sup>bB</sup>	0.59±0.04 <sup>bA</sup>
3	0.61±0.02 <sup>aB</sup>	0.79±0.00 <sup>aA</sup>

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้ง (A B C) หมายถึงจำนวนวันในการทอดมีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

2) ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้ง (a b c) หมายถึงการใช้น้ำมันใหม่และน้ำมันผสมในการทอด เกี่ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ จ4 ค่าTBA ของผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับน้ำมันทอดซ้ำเป็นเวลา 3วัน โดยใช้น้ำมันปาล์มใหม่ และ น้ำมันผสมน้ำมันปรับปรุง หลังจากการเก็บเป็นเวลา 3 สัปดาห์

จำนวนวันในการทอด	สัปดาห์ที่ 3	
	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันผสม
1	0.54±0.02 <sup>Cb</sup>	0.77±0.07 <sup>Ba</sup>
2	0.77±0.01 <sup>Bb</sup>	0.87±0.03 <sup>aBa</sup>
3	0.81±0.02 <sup>Aa</sup>	0.93±0.08 <sup>Aa</sup>

หมายเหตุ: 1) ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้ง (A B C) หมายถึงจำนวนวันในการทอดมีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

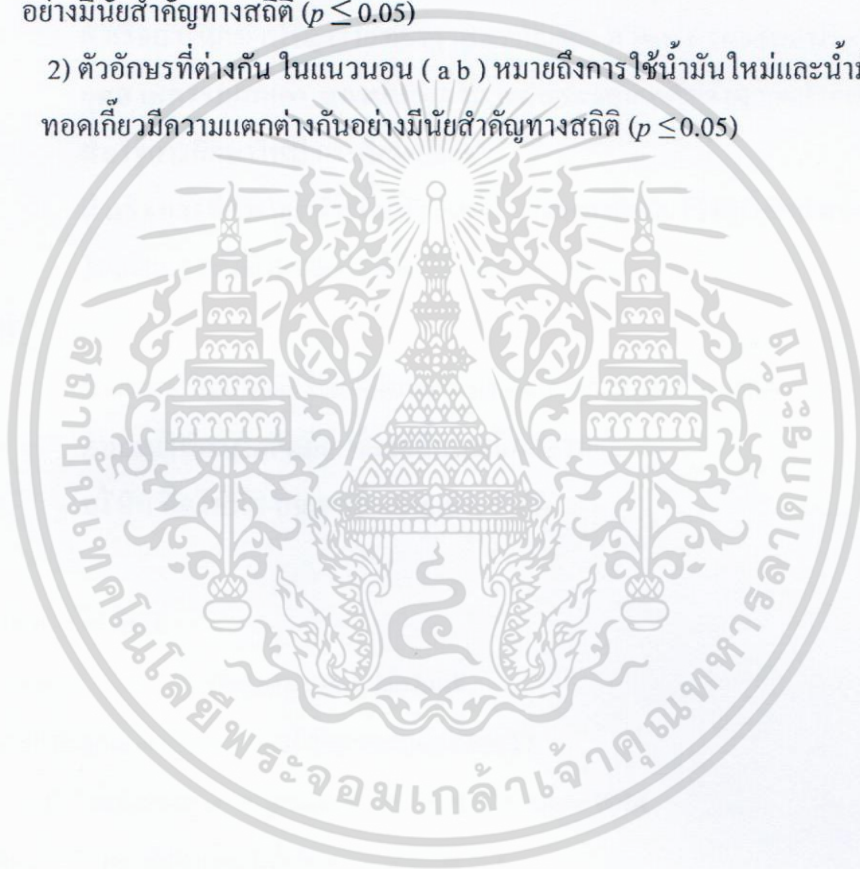
2) ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้ง (a b c) หมายถึงการใช้น้ำมันใหม่และน้ำมันผสมในการทอด เกี่ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 5 ค่าTBA ของผลิตภัณฑ์เกี่ยวที่นำมาทอดซ้ำเป็นเวลา 3 วัน โดยใช้ น้ำมันปาล์มใหม่ และ น้ำมันผสมน้ำมันปรับปรุง หลังจากการเก็บเป็นเวลา 4 สัปดาห์

จำนวนวันในการทอด	สัปดาห์ที่ 4	
	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันผสม
1	0.90±0.03 <sup>Ba</sup>	0.94±0.16 <sup>Ba</sup>
2	1.27±0.04 <sup>Aa</sup>	0.99±0.05 <sup>Bb</sup>
3	1.34±0.09 <sup>Ab</sup>	1.62±0.11 <sup>Aa</sup>

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวตั้ง (A B C) หมายถึงจำนวนวันในการทอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

2) ตัวอักษรที่ต่างกัน ในแนวนอน (a b) หมายถึงการใช้ น้ำมันใหม่และน้ำมันผสมในการทอดเกี่ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



# ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ-นามสกุล** นางสาวณัฐพร สกุลไทยใจดี
- วัน เดือน ปีเกิด** 27 มีนาคม 2532 ที่จังหวัดสมุทรปราการ
- ที่อยู่** 50/93 หมู่ 14 ตำบลบางแก้ว อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
- ประวัติการศึกษา**
- พ.ศ. 2555 ศึกษาต่อปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและสำเร็จการศึกษาในปี การศึกษา 2557
- พ.ศ. 2553 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและสำเร็จการศึกษาในปี การศึกษา 2553
- พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์) โรงเรียนราชวินิตบางแก้ว จังหวัดสมุทรปราการ
- ประวัติการทำงาน**
- พ.ศ. 2554 ตำแหน่งพัฒนาและวิจัยผลิตภัณฑ์ บริษัท สุวรรณภูมิ ฟู้ด จำกัด
- พ.ศ. 2556 ตำแหน่งพัฒนาผลิตภัณฑ์และขึ้นทะเบียนอาหาร บริษัท ฟีดโฟกัส อินเตอร์เนชันแนล จำกัด
- การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ**
- Recovery of used fried oil by acidified ash from rice husk  
ตีพิมพ์ใน Journal of Food and Agricultural Technology (JFAT)  
The 2nd International Conference on Agriculture and Agro-Industry 2014  
20-21 พฤศจิกายน 2557 มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, ประเทศไทย