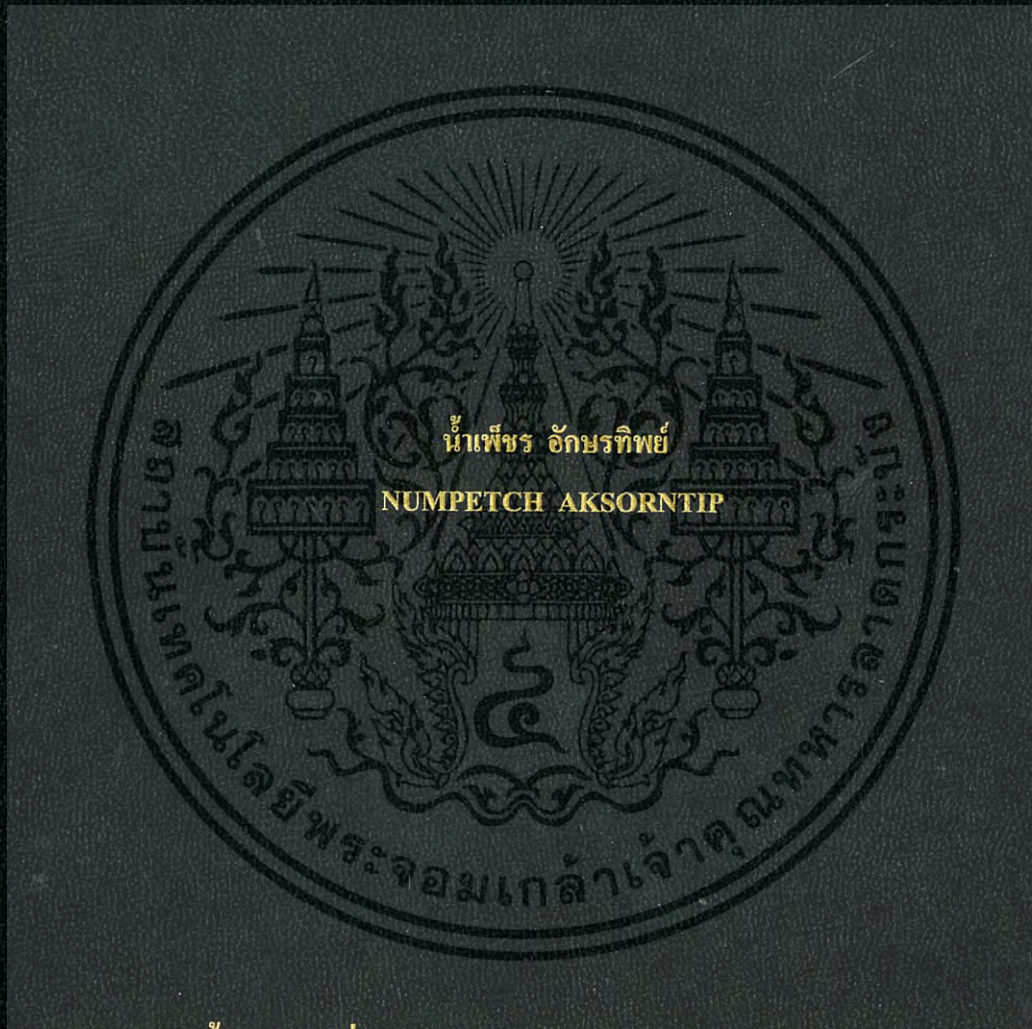


การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยใช้กระบวนการดีโอดไรซ์เซชัน

QUALITY IMPROVEMENT OF USED PALM OIL BY DEODORIZATION  
PROCESS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-AI-M-053-282

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยใช้กระบวนการดีโอดไรซ์เซชัน

QUALITY IMPROVEMENT OF USED PALM OIL BY DEODORIZAION  
PROCESS



T148019

น้ำเพ็ชร อักษรทิพย์

NUMPETCH AKSORNTIP

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 148019  
วัน.เดือน.ปี 9 ต.ค. 2560

b.00 266565  
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

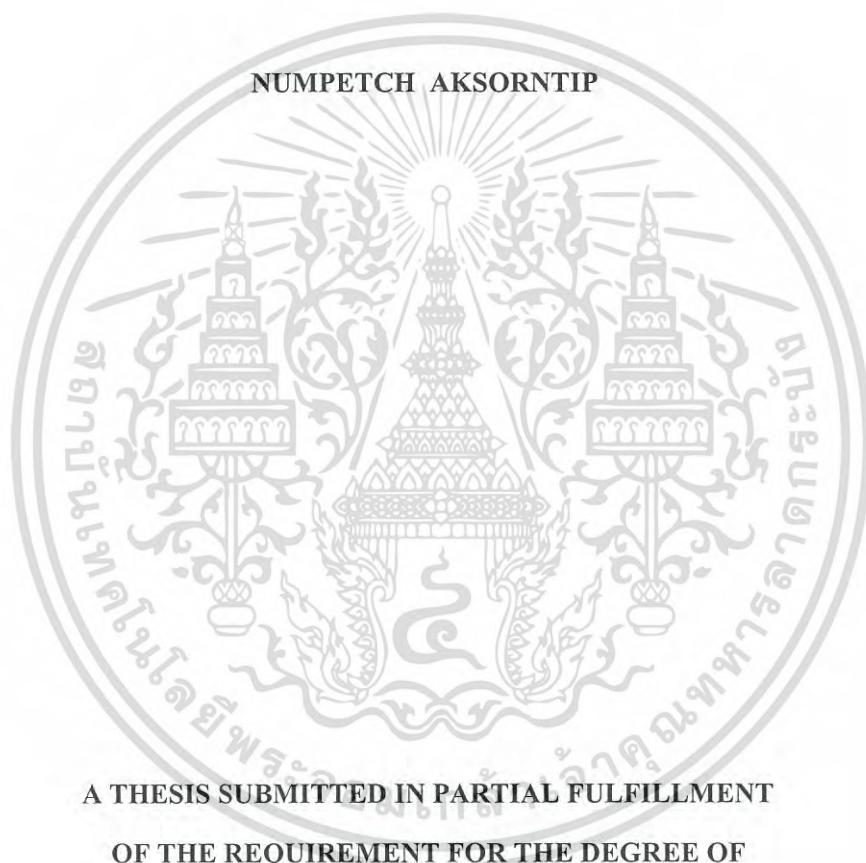
พ.ศ.2560

KMITL-2017-AI-M-053-282

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**QUALITY IMPROVEMENT OF USED PALM OIL BY DEODORIZATION  
PROCESS**

**NUMPETCH AKSORNTIP**



**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**

**2017**

**KMITL-2017-AI-M-053-282**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2017**

**FACULTY OF AGRO-INDUSTRY**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยใช้กระบวนการดีโอดไรซ์เซชัน  
QUALITY IMPROVEMENT OF USED PALM OIL BY DEODORIZATION  
PROCESS

ชื่อนักศึกษา

นางสาวน้ำเพชร อักษรทิพย์

รหัสประจำตัว

58608007

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

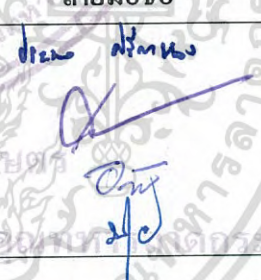
สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง	
รศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ	
ผศ.ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ	
รศ.สพญ.ดร.ประภาพร ขอไพบุลย์	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 19 กรกฎาคม 2560 เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ ๑๕ เดือน กค พ.ศ. ๒๕๖๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยใช้กระบวนการดีโอดไรซ์เซชัน
นักศึกษา	นางสาวน้ำเพชร อักษรทิพย์
รหัสประจำตัว	58608007
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง

### บทคัดย่อ

อาหารประเภททอดเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมในการบริโภคมาช้านาน ซึ่งหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของอาหารทอดคือคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ การใช้น้ำมันทอดซ้ำๆ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารทำให้อาหารมีสีที่คล้ำขึ้น และมีกลิ่นหืน รวมไปถึงหากบริโภคอาหารทอดที่มีการใช้น้ำมันทอดซ้ำบ่อยๆ จะส่งผลเสียต่อสุขภาพทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ และโรคมะเร็ง ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยใช้กระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งหรือที่เรียกว่ากระบวนการดีโอดไรซ์เซชัน โดยกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้ง เป็นหนึ่งในขั้นตอนการทำให้้ำมันบริโภคมีความบริสุทธิ์ในระดับอุตสาหกรรม จะอาศัยหลักการการใช้น้ำเป็นตัวพากรดไขมันอิสระรวมถึงสารประกอบที่มีขี้ผึ้งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทอดของน้ำมันใช้แล้วออกไป โดยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วก่อนและหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งที่ระดับอุณหภูมิ 180, 200 และ 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที ภายใต้สภาวะสูญญากาศ (0.7 บาร์) โดยทำการวิเคราะห์ค่ากรดไขมัน, ค่าเพอร์ออกไซด์, ค่าพาราอะนิลีน, ค่าความเป็นขี้ผึ้ง และสี พบว่าการให้น้ำกับกระบวนการที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถปรับปรุงคุณภาพสีให้น้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วมีค่าความสว่าง (L\*) มากที่สุดเท่ากับ  $91.95 \pm 0.01$  ลดค่าเปอร์ออกไซด์ได้เท่ากับ  $9.11 \pm 0.41$  มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อกิโลกรัม และลดค่าความเป็นขี้ผึ้งได้เท่ากับร้อยละ  $12.50 \pm 0.87$  และได้ทำการศึกษานำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งกลับไปใช้ใหม่โดยนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที กลับมาทอดแบบน้ำมันท่วมกับตัวอย่างมันฝรั่งแห้งที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส 10 นาที ทำการทอดซ้ำต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน ทำการวิเคราะห์ค่ากรดไขมัน, ค่าเพอร์ออกไซด์, ค่าพาราอะนิลีน, ค่าความเป็นขี้ผึ้ง, สีของน้ำมันทอด และวิเคราะห์ค่าการอมน้ำมันและสีของมันฝรั่งแห้ง พบว่าตลอดทั้ง 4 วัน น้ำมันทอดทั้ง 2 ชนิดคือ น้ำมันทอดที่ผ่านกระบวนการและน้ำมันทอดที่ยังไม่ผ่านกระบวนการกำจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้มีมีการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมัน, ค่าเพอร์ออกไซด์, ค่าพาราอะนิลิติน, ค่าความเป็นขี้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) โดยค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ผ่านกระบวนการมีค่าการเปลี่ยนแปลงช้ากว่าน้ำมันที่ยังไม่ผ่านกระบวนการ ส่วนสีของน้ำมันมีสีเข้มขึ้นตามระยะเวลาของการทอด ด้านค่าการอมน้ำมันและสีของมันฝรั่งแห้ง พบว่าค่าการอมน้ำมันและสีของมันฝรั่งแห้งที่ทอดด้วยน้ำมันทั้ง 2 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และจากการศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ พบว่าน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งด้านเคมีและกายภาพตามจำนวนวันของอายุการเก็บ 15 วัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis</b>	Quality improvement of used palm oil by deodorization process
<b>Student</b>	Ms.Numpetch Aksorntip
<b>Student ID.</b>	58608007
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Food Science
<b>Year</b>	2017
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr.Pramoun Srikalong

### ABSTRACT

Deep fried food is one of the most widely eaten. The quality of these was depended on the quality of frying oil. Due to during frying process, several physical and chemical change in food causing quality of used oil physical and chemical change, especially repeated frying oil increase. Deodorization process is one of refining stage with an important effect on the quality of oil that removes odor material, aldehydes, polar compounds and free fatty acids from the edible oil at high temperature and high vacuum conditions. The objective of this study was to determine the quality improvement of used palm oil by deodorization process. The used palm oil was deodorized at different temperatures (180, 200 and 240 °C) for 30, 60 and 90 mins respectively. The quality alterations of deodorized used palm oil were measured acid value (AV), peroxide value (PV), p-anisidine value (p-AV), total polar components (TPC), viscosity and color changes. Results showed that deodorization process all treatments could decreased peroxide value (PV) and total polar components (TPC). Considering deodorized used palm oil quality at 200°C for 60 min was recommended to improvement used palm oil with low PV ( $9.11 \pm 0.41$  meg/kg), TPC reduction level was  $12.50 \pm 0.87$  percent and the highest brightness (L\*) increase level was  $91.95 \pm 0.01$ . However, the highest temperature (240 °C) decreased brightness (L\*) of deodorized used palm oil. The alterations of deodorized used palm oil (200 °C for 60 min) was recycled: deodorized used palm oil was prepared from deep fry potato sticks at 160 °C for 10 min (four day duplicate). After performing the analysis of variance between deodorized used palm oil and non-deodorized used palm oil, significant differences ( $P < 0.05$ ) were found PV of deodorized used palm oil slower than non-deodorized used palm oil. The content oil and color change of potato sticks were measured after frying did not significant differences. The alterations of deodorized used palm oil on shelf life were found physical and chemical of deodorized used palm oil low quality after 15 day storage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความเมตตากรุณาของ ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและเสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา แนวคิด ความรู้ เกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงคอยดูแล ให้คำชี้แนะ คอยให้กำลังใจ และสร้างแรงผลักดันตลอดการเรียนระดับปริญญาโทและการทำงานวิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. สนธิสุข ชีระชัยชยติ และ ผศ.ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ ที่ได้ให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบ โครงร่างวิทยานิพนธ์และการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง รศ.สพญ.ดร.ประภาพร ขอไพบุลย์ ที่ได้ให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ พร้อมทั้งชี้แนะแนวคิด คำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้าและงานวิจัย อีกทั้งยังช่วยตรวจสอบแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่คอยประสิทธิ์ประสาทความรู้ แนะนำประสบการณ์ และคอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัยและทำเล่มวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสมอมา

ขอขอบพระคุณ นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ทุกท่านที่คอยให้ความรู้ ความช่วยเหลือตลอดของการทำงานวิจัยซึ่งทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณณรงค์ ดำเนินวิเศษกาญจน์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ตลอดการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ ในระดับปริญญาโทและรุ่นน้องในระดับปริญญาตรี-โท คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือ คอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายบุคคลที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และน้องของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ คอยให้คำปรึกษา และคอยสนับสนุนทุกอย่าง จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี

น้ำเพชร อักษรทิพย์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กระบวนการผลิตน้ำมันบริโกล.....	4
2.2 การพัฒนากระบวนการต่างๆที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำมันบริโกลบริสุทธิ์.....	10
2.3 การทอด.....	13
2.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมันในระหว่างการทอด.....	14
2.5 สารพิษที่เกิดจากการกระบวนการทอดด้วยน้ำมันร้อน.....	16
2.6 ดัชนีที่ใช้ควบคุมคุณภาพของน้ำมันบริโกล.....	17
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง.....	21
3.1 วัสดุอุปกรณ์.....	21
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	21
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ยึดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว.....	25
4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วก่อน ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้้ว.....	28
4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้น้ำกับน้ำมัน ทอดใช้แล้วเพื่อให้ได้น้ำมันที่บริสุทธิ์มากขึ้น.....	32
4.4 ผลการศึกษาการนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและ สารประกอบมีขี้้วกลับไปใช้ใหม่.....	38
4.5 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอด ใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้้ว.....	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	56
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	57
บรรณานุกรม.....	58
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางกายภาพ.....	65
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางเคมี.....	69
ภาคผนวก ค แบบฟอร์มทดสอบลักษณะประสาทสัมผัส.....	73
ประวัติผู้เขียน.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทั่วไปของน้ำมันปาล์มดิบ.....	5
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการ deodorization.....	9
2.3 จุดเด่นและจุดด้อยของกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมี.....	10
4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำมันทอดแล้วเป็นเวลา 4 วัน.....	29
4.2 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ.....	34
และสารประกอบมีขี้	
4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัด.....	35
กรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้	
4.4 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันฝรั่งแห้งทอดระหว่างที่ใช้น้ำมันก่อนและ.....	40
หลังผ่านกระบวนการโดยผ่านการทอดซ้ำเป็นเวลา 4 วัน	
4.5 ลักษณะความชอบโดยรวมทางประสาทสัมผัสของผู้ชิมทั้ง 30 คนต่อมันฝรั่งแห้งที่ทอด.....	41
ด้วยน้ำมันก่อนและหลังผ่านกระบวนการ เป็นเวลา 4 วัน	
4.6 ค่าสี ( $L^*$ , $b^*$ และ $a^*$ ) ของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการต่ออายุการเก็บรักษา.....	51
ไว้เป็นเวลา 5, 10 และ 15 วัน	

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ดินฟอกสี.....	7
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอของส่วนประกอบต่างๆในน้ำมันพืช.....	7
2.3 กระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ด้วยวิธีกายภาพอย่างง่าย.....	8
2.4 อุปกรณ์การกรองด้วยเมมเบรน.....	11
2.5 แผนภูมิปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในน้ำมันในระหว่างการทอดอาหาร.....	16
2.6 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.....	18
4.1 ส่วนตัวถังด้านข้างและด้านหน้าของอุปกรณ์ยืดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว.....	25
4.2 ส่วนควมแน่นของอุปกรณ์ยืดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว.....	26
4.3 อุปกรณ์ยืดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว.....	27
4.4 ค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้ว 4 วัน.....	28
4.5 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดใช้แล้ว 4 วัน.....	30
4.6 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดใช้แล้วเป็นเวลา 4 วัน.....	31
4.7 ค่าความเป็นขี้ของน้ำมันทอดใช้แล้วเป็นเวลา 4 วัน.....	32
4.8 ค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและ สารประกอบมีขี้.....	33
4.9 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ และสารประกอบมีขี้.....	36
4.10 ค่าแอนนิซิดินของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ และสารประกอบมีขี้.....	37
4.11 ค่าความเป็นขี้ของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ และสารประกอบมีขี้.....	38
4.12 ค่าความหนืดของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแท่ง ต่อเนื่อง 4 วัน.....	42
4.13 ค่าสี $L^*$ ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแท่งต่อเนื่อง 4 วัน.....	43
4.14 ค่าสี $a^*$ ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแท่งต่อเนื่อง 4 วัน.....	43
4.15 ค่าสี $b^*$ ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแท่งต่อเนื่อง 4 วัน.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.16 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ ต่อเนื่อง 4 วัน	45
4.17 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ ต่อเนื่อง 4 วัน	46
4.18 ค่าแอนิซิดินของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ ต่อเนื่อง 4 วัน	47
4.19 ค่าความเป็นขี้ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ ต่อเนื่อง 4 วัน	48
4.20 ค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการต่ออายุการเก็บรักษาไว้เป็น เวลา 5, 10 และ 15 วัน (a, b และ c)	50
4.21 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการต่ออายุการเก็บรักษาไว้ เป็นเวลา 5, 10 และ 15 วัน (a, b และ c)	53
4.22 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการต่ออายุการเก็บรักษาไว้ เป็นเวลา 5, 10 และ 15 วัน (a, b และ c)	54
4.23 ค่าแอนิซิดินของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการต่ออายุการเก็บรักษาไว้ เป็นเวลา 5, 10 และ 15 วัน (a, b และ c)	55

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ผู้บริโภคส่วนใหญ่เล็งเห็นถึงความสำคัญของการบริโภคเพื่อให้มีสุขภาพที่ดีมากขึ้น การที่จะมีสุขภาพที่ดีนั้นก็ต้องการบริโภคที่ถูกต้องตามหลักโภชนาการ รับประทานอาหารที่มีประโยชน์ เช่น ผัก ผลไม้ ธัญพืชต่างๆ และอื่นๆ รวมทั้งองค์ประกอบในการประกอบอาหารก็ต้องมีคุณประโยชน์ สด ใหม่ สะอาด หลีกเลียงองค์ประกอบที่อาจส่งผลถึงสุขภาพอนามัยโดยตรง เช่น การเติมกลิ่น สี หรือ สารเติมแต่ง ที่มากเกินไปจนเกินไป หรือ เป็นสารเคมีที่เกิดจากการสังเคราะห์ นอกจากนี้ควรหลีกเลี่ยงอาหารที่มีสารพิษ เจือปน ไม่ว่าจะเกิดจากการใส่เพิ่มเข้าไป หรือสารพิษที่มีโอกาสเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

ตัวอย่างสารพิษที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตอาหารพบว่า อาหารประเภททอดเป็นตัวอย่างที่ดี โดยสารพิษดังกล่าวเกิดจากการใช้น้ำมันทอดซ้ำและมีกระบวนการทอดที่ใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 158-185 องศาเซลเซียสในการทอด ในระหว่างกระบวนการทอดองค์ประกอบของอาหารที่ใช้ทอดเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนและอื่นๆอีกมากมายที่ส่งผลถึงคุณภาพการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านความหนืด สี และกลิ่นรสของน้ำมันทอด (Belitz et al. 2004) และเมื่อมีการนำน้ำมันทอดแล้วที่มีคุณภาพด้อยลงตามอายุการใช้งานมาใช้ซ้ำด้วยอัตราที่สูงขึ้น สารพิษที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของน้ำมันในระหว่างกระบวนการทอดจะถูกดูดซึม โดยอาหารใหม่ที่นำมาทอดโดยใช้น้ำมันเก่า จากงานวิจัยของ Eleni et al. (2009) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไขมันฝรั้งภายใต้สภาวะการทอดซ้ำต่อองค์ประกอบของน้ำมัน ปาล์มพบว่า ในระหว่างกระบวนการทอดเกิดผลิตสารประกอบเชิงซ้อนจำพวกสารประกอบมีขั้วและสารพอลิเมอร์ในน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ถูกทอดกับมันฝรั่ง และจากงานวิจัยของ Esterbauer (1993) ได้ศึกษาการเกิดสารพิษ cytotoxic และ genotoxic จากปฏิกิริยาออกซิเดชันพบว่า การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันและอาหารก่อให้เกิดการฟอร์มตัวของสารประกอบเชิง สารมากมายเช่น hydroperoxides, polymeric และเกิดการแตกของสายโซ่ของไขมันได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนตัวอื่นๆ ซึ่งถ้าหากได้รับสารประกอบเชิงซ้อนหรือสารพิษดังกล่าวเป็นจำนวนมากจะเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและภาวะเส้นเลือดอุดตัน ดังนั้นการลดการใช้ซ้ำของน้ำมันทอดจึงเป็นทางออกที่ดีที่สุดสำหรับผู้ผลิตอาหาร แต่เนื่องด้วยราคาน้ำมันทอดในปัจจุบันมีราคาสูงขึ้นมากจากอดีตจึงทำให้มีการใช้น้ำมันทอดแล้วซ้ำหลายครั้ง ในการหาทางออกสำหรับผู้ผลิตอาหารทอดเพื่อให้สามารถใช้น้ำมันทอดแล้วซ้ำได้มากกว่านี้ จึงเป็นโจทย์สำคัญที่จะตอบสนองความต้องการของผู้ผลิตที่ต้องการลดต้นทุน และสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการบริโภคอาหารที่สะอาดและปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มใช้แล้ว โดยใช้กระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วัว (deodorization process) เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ประกอบการที่ผลิตอาหารทอดและใช้น้ำมันทอดในปริมาณมากและผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันบริโภค ให้สามารถนำไปใช้เป็นแนวความคิดในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันใช้แล้วให้ดีขึ้นมีความเหมาะสมที่จะนำน้ำมันทอดใช้แล้วกลับมาใช้ทอดซ้ำใหม่ได้อย่างปลอดภัย โดยกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วัวหรือที่เรียกกันว่า deodorization process เป็นขั้นตอนหนึ่งในการทำให้ไขมันบริโภคมีความบริสุทธิ์ในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งอาศัยหลักการการนำไอน้ำมาใช้เป็นตัวพากรดไขมันอิสระรวมถึงสารประกอบที่มีขี้วัวที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทอดของน้ำมันใช้แล้วออกไป และข้อดีของกระบวนการนี้พบว่ามีเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการน้อย เนื่องจากไม่ได้ใช้สารดูดซับในกระบวนการ อีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงานเนื่องจากไอน้ำที่ผลิตขึ้นเป็นความร้อนที่เกิดจากการคายพลังงานของน้ำมัน ซึ่งต้องใช้เวลาให้ความร้อนอยู่แล้วในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมัน โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ผลิตไอน้ำเพิ่ม (Mendez and Mendez, 2011) โดยการเลือกใช้น้ำมันในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้น้ำมันปาล์มในการทอดมันฝรั่งแท่ง เพราะน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวสูง ไม่เหม็นหืนง่าย ราคาถูก อีกทั้งยังเป็นแหล่งของแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจ นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มยังสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 220 องศาเซลเซียส เหมาะกับการใช้ประกอบอาหารประเภททอด ซึ่งมีความปลอดภัยต่อสุขภาพมากกว่าน้ำมันที่มีจุดเกิดควันต่ำ (แพรวพรรณ, 2559) และเพื่อเป็นการควบคุมตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันทอดจึงเลือกใช้น้ำมันฝรั่งแท่งที่มีขนาดเท่ากันใช้เป็นตัวอย่งในการทอด

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วัว
- 1.2.2 ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม ในการให้ไอน้ำกับน้ำมันทอดใช้แล้วเพื่อให้ได้น้ำมันที่บริสุทธิ์มากขึ้น
- 1.2.3 ศึกษาการนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วัวกลับ ไปใช้ใหม่
- 1.2.4 ศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วัว

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วก่อนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วัวด้วยกระบวนการ deodorization โดยนำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์จำนวน 4 ลิตร ไปทอดกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying) ด้วยอัตราส่วนน้ำมันต่อมันฝรั่ง คือ 4:1 (w/w) ใช้อุณหภูมิทอด 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และทำการพักน้ำมันในภาชนะสเตนเลสเปิด 24 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำมันกลับมาทอดซ้ำอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน กับตัวอย่างมันฝรั่งชุดใหม่ โดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ลงไป นำตัวอย่างที่ได้นำไปวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด (acid value: AV), ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value: PV), ค่าแอนนิซิดีน (p-anisidine), ค่าความเป็นขี้ว (total polar compound: TPC), ค่าความหนืด (viscosity) และค่าสี (color) ต่อมาศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการให้อุณหภูมิกับน้ำมันทอดใช้แล้วให้ได้น้ำมันที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยนำตัวอย่างน้ำมันทอดใช้แล้วที่เตรียมได้ไปผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วโดยกำหนดสภาวะอุณหภูมิและเวลาการให้อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 180, 200 และ 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ ด้วยความดันคงที่ จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้นำไปวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด, ค่าเปอร์ออกไซด์, ค่าแอนนิซิดีน, ค่าความเป็นขี้ว, ค่าความหนืด และค่าสี โดยเปรียบเทียบคุณภาพน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ระยะเวลาการให้อุณหภูมิ 3 ระดับ และศึกษาการนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วกลับไปใช้ใหม่ด้วยการติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าสี, ความชอบโดยรวมทางลักษณะประสาทสัมผัส และการร่อนน้ำมันของตัวอย่างมันฝรั่ง โดยนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วแล้วจากขั้นที่ 2 ที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดซึ่งพิจารณาจากอุณหภูมิและเวลาที่สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทอดใช้แล้วได้เหมาะสมมากที่สุด นำมาใช้ทอดมันฝรั่งที่สภาวะการทอดเดียวกับขั้นแรก ทำการทอดซ้ำต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน โดยค่าที่วิเคราะห์ได้นำมาเปรียบเทียบกับมันฝรั่งที่ทอดด้วยน้ำมันก่อนและหลังการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ว และสุดท้ายศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ว โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ว ในขั้นที่ 2 ไว้ในขวดโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Poly Ethylene Terephthalate: PET) ขนาด 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 15 วัน และตลอดอายุการเก็บจะนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด, ค่าเปอร์ออกไซด์, ค่าแอนนิซิดีน, ค่าความหนืด และค่าสี ทุกๆ 5 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กระบวนการผลิตน้ำมันบริโกล

น้ำมันจัดเป็นกลุ่มของไขมันที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อร่างกายของมนุษย์โดยถูกจัดให้เป็นสารอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกายมากกว่าสารอาหารประเภทอื่น อีกทั้งยังเป็นตัวช่วยในการดูดซึมวิตามินที่สามารถละลายได้ในน้ำมัน ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค (วิภาวรรณ. 2545) น้ำมันบางชนิดยังเป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็น เช่น ในน้ำมันดอกคำฝอยจะประกอบด้วยกรดไขมันไลโนเลอิกมากถึง 74.1 กรัม/100 กรัมของน้ำมันทั้งหมด และในน้ำมันถั่วเหลืองประกอบด้วยกรดไขมันไลโนเลนิกประมาณ 6.8 กรัม/100กรัมของน้ำมันทั้งหมด (Helen. 1982) ซึ่งกรดไขมันทั้งสองชนิดนี้เป็นกรดไขมันที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย ร่างกายไม่สามารถผลิตขึ้นมาเองได้จึงจำเป็นต้องได้รับจากอาหาร

กระบวนการผลิตน้ำมันบริโกลในปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปน้ำมันบริโกลจะมีกระบวนการเริ่มต้นตั้งแต่การสกัดน้ำมันออกจากวัตถุดิบสิ่งที่ได้ออกมาเราจะเรียกว่า น้ำมันดิบ ซึ่งน้ำมันส่วนนี้เรายังไม่สามารถบริโกลได้เนื่องจากในน้ำมันดิบยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ นอกเหนือจากไตรกลีเซอไรด์ยกตัวอย่างเช่น ในน้ำมันปาล์มดิบจะประกอบไปด้วย กลีเซอไรด์ประมาณร้อยละ 95, กรดไขมันอิสระประมาณร้อยละ 3-5 และส่วนอื่นๆอีกประมาณร้อยละ 1 ซึ่งประกอบด้วย carotenoid, tocopherols, tocotrienols, sterols, triterpene alcohols, phospholipids, glycolipids, terpenic hydrocarbons, waxes และ impurities ซึ่งจำเป็นต้องผ่านกรรมวิธีที่ทำให้ให้น้ำมันมีความบริสุทธิ์ก่อน (ศิริกานต์. 2558) ซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบายของ Higuchi (1983) ได้อธิบายไว้ว่าน้ำมันพืชดิบ (crude vegetables oil) โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย ไตรกลีเซอไรด์ และสารที่เป็นสิ่งสกปรกในน้ำมัน สารเหล่านี้ล้วนมีผลต่อคุณภาพที่ไม่พึงประสงค์ของน้ำมัน เช่น สี กลิ่น และการเกิดฟอง เราจึงควรกำจัดสารเหล่านี้ด้วยกรรมวิธีการทำให้ให้น้ำมันมีความบริสุทธิ์ และ Abdul (2000) ได้สรุปสารประกอบหลักที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบซึ่งแสดงในตารางที่ 2.1

กระบวนการที่ทำให้ให้น้ำมันบริโกลมีความบริสุทธิ์จะประกอบด้วยขั้นตอน degumming, neutralization, bleaching, free fatty acids (FFA), เม็ดสี, hydroperoxides และ wax วิธีการหลักๆที่นิยมใช้มี 2 วิธี ได้แก่ วิธีทางเคมี (chemical หรือ alkali refining) ซึ่งวิธีนี้จะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระเปลี่ยนรูปไปเป็นสบู่ เมื่อได้สบู่แล้วจะทำการแยกสบู่จากน้ำมันที่เป็นกลางด้วยเครื่องเหวี่ยงแยก และทำการล้างด้วยน้ำในขั้นตอนต่อไป ขณะที่อีกวิธีหนึ่งเป็น วิธีทางกายภาพ (physical refining) โดยวิธีนี้น้ำมันจะถูกทำให้บริสุทธิ์ด้วยไอน้ำทำให้กรดไขมันอิสระระเหยออกจากน้ำมันไปพร้อมกับไอน้ำ (Cert et al. 1994; Schulte. 1995) ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทั่วไปของน้ำมันปาล์มดิบ

Group	Components in the group
Oil	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Triglyceride, Diglyceride , Monoglyceride</li> <li>- Phospholipids, Glycolipid and Lipoprotein</li> <li>- Free fatty acids</li> </ul>
Oxidized Products	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peroxides, Aldehydes, Ketones, Furfurals (from sugars)</li> </ul>
Non-oil (but oil solubles)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carotene</li> <li>- Tocopherols</li> <li>- Squalene</li> <li>- Sterols</li> </ul>
Impurities	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metal particles</li> <li>- Metal ions</li> <li>- Metal complexes</li> </ul>
Water Solubles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Water (moisture)</li> <li>- Glycerol</li> <li>- Chlorophyll pigments</li> <li>- Phenols</li> <li>- Sugars (soluble carbohydrates)</li> </ul>

ที่มา: Abdul, 2000

Mendez and Mendez (2011) ได้อธิบายว่า กระบวนการทำน้ำมันดิบให้บริสุทธิ์จำเป็นต้องกำจัดส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการออกจากน้ำมัน เช่น ฟอสโฟลิปิด กรดไขมันอิสระ เม็ดสี สบู่ โลหะหนัก แวกซ์ และสารระเหยต่างๆ

### 2.1.1 กระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical Refining)

เริ่มใช้ในประเทศมาเลเซียตั้งแต่ พ.ศ. 2513 และใช้อย่างแพร่หลายที่สุดในปัจจุบัน (ประเทศไทยก็ใช้วิธีนี้) วิธีนี้ใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิสูง ภายใต้สภาวะสุญญากาศเพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ และ ประกอบด้วย 3 กระบวนการ ได้แก่

เอ็กสทรินเป็นเอ็กสทรินที่สวมนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.1 กระบวนการกำจัดยาง (Degumming) เป็นการกำจัดยางเหนียวหรือฟอสโฟลิพิด (Phospholipids) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ของฟอสฟอรัสในน้ำมัน กระบวนการกำจัดยางมี 6 วิธีดังนี้

- แบบแห้ง (dry degumming)
- แบบเปียก (water degumming)
- แบบกรด (acid degumming)
- แบบใช้เอนไซม์ (enzymatic degumming)
- แบบ EDTA (EDTA-degumming)
- แบบเมมเบรน (membrane degumming)

โดยแต่ละวิธีจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณของฟอสโฟลิพิดที่มีอยู่ในน้ำมันพืชนั้นๆ น้ำมันปาล์มมีฟอสโฟลิพิดน้อย จึงใช้วิธีแบบแห้ง ซึ่งใช้กรดฟอสฟอริก หรือซिटริกเข้มข้นร้อยละ 80-85 ใส่ใน น้ำมันปาล์มดิบและให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส นาน 15-30 นาทีเพื่อทำให้ยางเหนียวเกิดการตกตะกอนแล้ว กรองออก โดยไม่จำเป็นต้องใช้การแยกแบบหมุนเหวี่ยง (centrifugal separation) ก่อนเข้าสู่กระบวนการฟอกสี ต่อไป

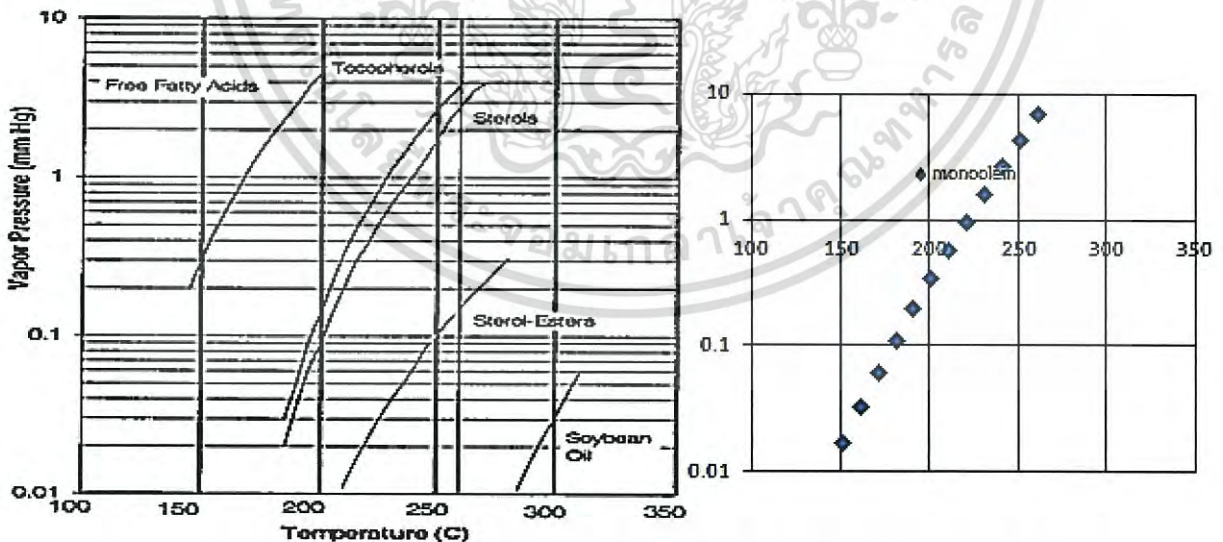
2.1.1.2 กระบวนการฟอกสี (Bleaching) เป็นการฟอกสีน้ำมันปาล์มโดยใช้สารดูดซับ ได้แก่ ดินฟอกสี (acid activated bleaching earth หรือ bleaching clay) ดินฟอกสีธรรมชาติ (natural bleaching earth) ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซิลิเกตสังเคราะห์ (synthetic silicates) และเรซิน สังเคราะห์ (synthetic resins) ดูดซับสารที่ทำให้เกิดสี ในน้ำมัน การฟอกสีของน้ำมันปาล์มมักใช้ดินฟอกสี (ภาพที่ 2.1) สารนี้มีองค์ประกอบเป็นไฮดรตอะลูมิเนียมซิลิเกต (hydrated aluminum-silicates) มีสมบัติในการดูดซับ ที่ดีสามารถดูดซับสารคลอโรฟิลล์และสารมีสีอื่นๆ รวมถึงฟอสโฟลิพิดและกรดไขมันอิสระที่อาจเกิดระหว่างกระบวนการฟอกสีออกได้วิธีการคือ เติมดินฟอกสีลงไป ในน้ำมันปาล์มดิบประมาณร้อยละ 0.8-2.0 ของปริมาณน้ำมัน ปาล์มดิบ และกวนให้ผสมกันเป็นเวลา 30-45 นาทีจากนั้น จึงนำน้ำมันที่ได้ผ่านเข้าสู่เครื่องกรองก่อนเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 2.1 ดินฟอกสี

ที่มา: สิริกานต์ (2558)

2.1.1.3 กระบวนการกำจัดกลิ่น (Deodorization) เป็นกระบวนการสำคัญในการกำจัดกรดไขมันอิสระ สารระเหยอื่นๆ ที่เป็นสิ่งเจือปนที่มีจุดเดือดต่ำกว่าไตรกลีเซอไรด์ที่ทำให้เกิดกลิ่นรวมถึงสีของน้ำมัน บางส่วนที่กำจัดไม่ได้ในกระบวนการก่อนหน้านี้ วิธีการคือ กลั่นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิสูงภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยมีอุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญในการกลั่น ผลของอุณหภูมิ กับความดันไอขององค์ประกอบบางชนิดในน้ำมัน แสดงได้ดังภาพที่ 2.2

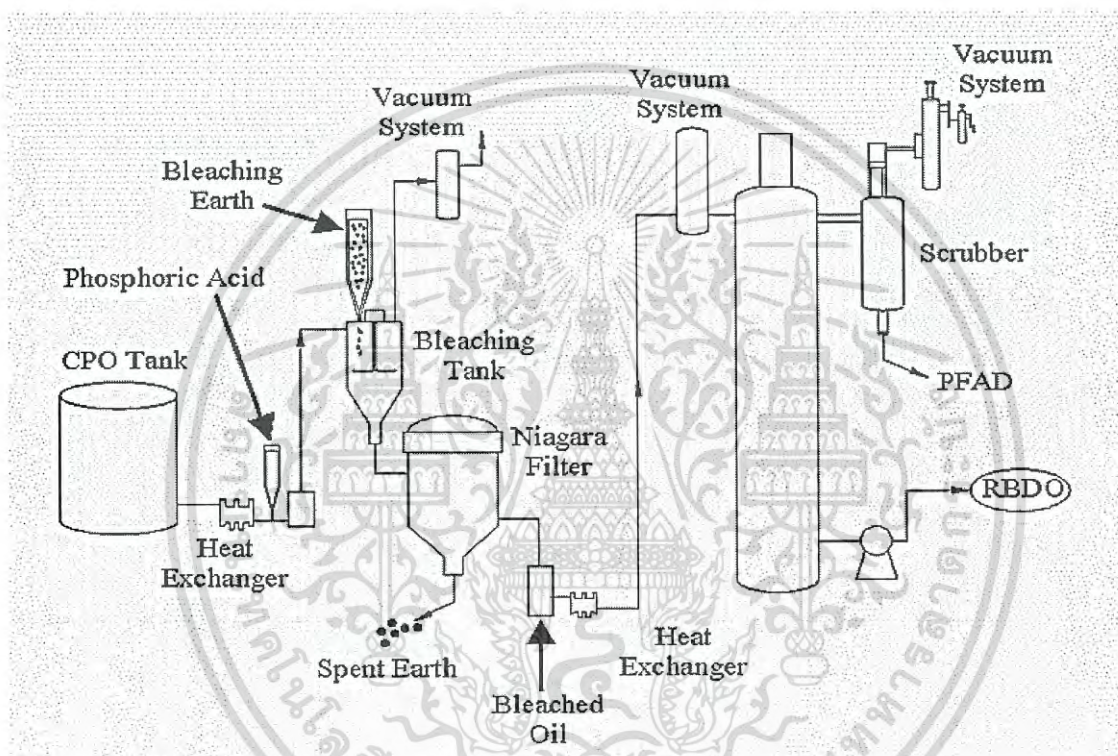


ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอของส่วนประกอบต่างๆในน้ำมันพืช

ที่มา: <http://lipidlibrary.aocs.org/OilsFats/content.cfm?ItemNumber=40318>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 270 องศาเซลเซียสน้ำมันจะระเหยออกไป ดังนั้นช่วงอุณหภูมิของการกลั่นที่เหมาะสมคือ 240-270 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 1-2 ชั่วโมง และความดันไม่เกิน 10 มิลลิเมตรปรอท ก็จะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Bleached and Deodorized Palm Oil, RBDPO) เป็นผลิตภัณฑ์หลักและกรดไขมันอิสระที่ได้ออกมาในรูปของกรดไขมันปาล์ม (Palm Fatty Acid Distillate, PFAD) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by-product) ที่สามารถสร้างมูลค่าได้อีกด้วยแผนภาพอย่างง่ายของกระบวนการแสดงได้ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพอย่างง่าย

ที่มา: Noor and Mustafa (2006)

Dijkstra (2007) and De et al. (2005) ได้อธิบายไว้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ deodorization ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ความดัน และปริมาณการพ่นไอน้ำ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ ซึ่งตารางที่ 2.2 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการ deodorization

### 2.1.2 กระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Refining)

กระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ด้วยวิธีนี้จะกำจัดกรดไขมันอิสระโดยใช้สารเคมี ซึ่งวิธีทางเคมีนี้มีมาก่อนวิธีทางกายภาพ ประกอบด้วย 3 กระบวนการหลัก ได้แก่

2.1.2.1 กระบวนการกำจัดยางเหนียวและการทำน้ำมันให้เป็นกลาง (Degumming and Neutralisation) เริ่มต้นด้วยกระบวนการกำจัดยางเหนียวโดยการเติมกรดฟอสฟอริกหรือซिटริกเช่นเดียวกับคาร์บอเนตไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทางกายภาพแต่หลังจากนั้นมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ลงไปทำปฏิกิริยา สaponification กับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นสบู่ แล้วจึงแยกสบู่ออกจากเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifugal separator) ก่อนเข้าสู่กระบวนการต่อไป

2.1.2.1 กระบวนการกำจัดยางเหนียวและการทำน้ำมันให้เป็นกลาง (Degumming and Neutralisation) เริ่มต้นด้วยกระบวนการกำจัดยางเหนียวโดยการเติมกรดฟอสฟอริกหรือซิงค์เช่นเดียวกับวิธีทางกายภาพแต่หลังจากนั้นมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ลงไปทำปฏิกิริยา สaponification กับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นสบู่ แล้วจึงแยกสบู่ออกจากเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifugal separator) ก่อนเข้าสู่กระบวนการต่อไป

2.1.2.2 กระบวนการฟอกสี (Bleaching) น้ำมันปาล์มที่ผ่านการแยกเอาสบู่ออกแล้วจะ ทำการฟอกสีโดยเติมดินฟอกสีลงในน้ำมันที่มีอุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับวิธีทางกายภาพ

2.1.2.3 กระบวนการกำจัดกลิ่น (Deodorization) น้ำมันที่ผ่านกระบวนการฟอกสีแล้วจะเข้าสู่เครื่องกำจัดกลิ่น (deodorizer) เพื่อกำจัดกลิ่นและสารเจือปนอื่นๆ โดยการกลั่นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิสูงประมาณ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะสุญญากาศแล้วจึงผ่านเข้าสู่เครื่องกรองจะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Neutralized Bleached and Deodorized Palm oil, NBDPO)

ตารางที่ 2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการ deodorization

Quality parameter	Temperature	Time	Pressure	Steam
Taste	+	++	+	++
Color (heat bleach)	++	+	-	-
FFA stripping	++	-	++	+
<i>trans</i> Fatty acid formation	++	++	-	-
Tocopherol/sterol stripping	++	-	++	+
Contaminant removal <sup>1</sup>	+	-	++	+
Glycidyl ester formation	++	++	-	-

<sup>1</sup> Pesticides, PAH, dioxins; - : little or no effect, + : significant effect, ++ : large effect

ที่มา: ดัดแปลงจาก Dijkstra (2007) and De et al. (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 จุดเด่นและจุดด้อยของกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมี

กระบวนการ	จุดเด่น	จุดด้อย
การทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ผลผลิตสูง</li> <li>2. ผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้นสามารถสร้างมูลค่าได้เช่น กรดปาล์ม (PFAD) ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ ไบโอดีเซล และจารบี</li> <li>3. น้ำมันปาล์มที่ได้มีความคงตัวเมื่อนำมาใช้ในอุณหภูมิสูงและมีความต้านทานการเกิดออกซิเดชันกับความชื้นในอากาศทำให้เหม็นหืนช้า</li> <li>4. ขั้นตอนในกระบวนการน้อยกว่าวิธีทางเคมี</li> <li>5. ค่าใช้จ่ายในระหว่างการค้าเนื้องานน้อยกว่าวิธีทางเคมี</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. มีน้ำเสียในกระบวนการแต่สามารถกำจัด ได้โดยใช้ระบบบำบัดแบบระบบสครับบิง (Chemical Scrubbing Process) หรือกระบวนการเผาไหม้โดยตรง</li> <li>2. ต้นทุนเครื่องจักรสูงกว่าวิธีทางเคมี เช่น ระบบกำจัดกลิ่นที่ต้องใช้วัสดุที่ทนต่ออุณหภูมิสูงกว่าทำให้มีราคาแพงกว่า</li> </ol>
การทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ด้วยวิธีทางเคมี	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. อุณหภูมิที่ใช้ต่ำกว่าวิธีทางกายภาพ</li> <li>2. เมื่อน้ำมันปาล์มที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้นมีองค์ประกอบของกรดไขมันอิสระไม่คงที่ระบบนี้สามารถปรับสภาวะของแต่ละขั้นตอนได้ง่าย เพียงแค่เพิ่มหรือลดปริมาณสารเคมีที่ใช้</li> <li>3. เหมาะกับน้ำมันที่มีฟอส โพลีพิดสูง</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. สูญเสียน้ำมันปาล์มในขั้นตอนที่เกิดสบู่</li> <li>2. ใช้สารเคมีและมีน้ำเสียเกิดขึ้นใน กระบวนการและสามารถกำจัดได้เช่นเดียวกับการกลั่นด้วยวิธีทางกายภาพ</li> </ol>

ที่มา: สิริกานต์ สัตถวิชัยพิชญ (2558)

## 2.2 การพัฒนากระบวนการต่างๆที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำมันบริโภคบริสุทธิ์

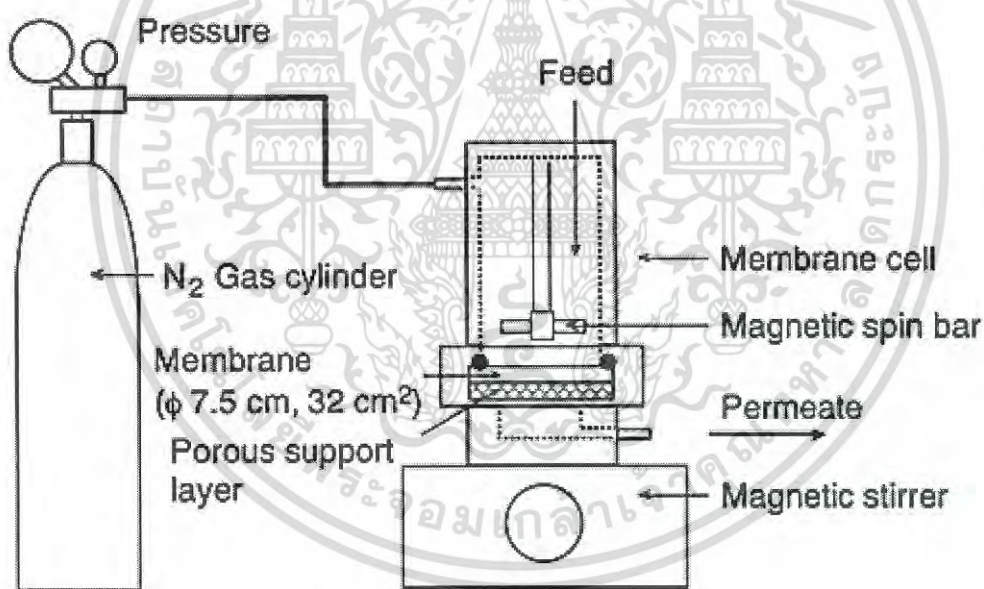
### 2.2.1 การใช้กระบวนการกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hafidi et al. (2005) ได้ศึกษาการใช้เมมเบรนในขั้นตอนการทำ degumming และการกำจัดกรดไขมันอิสระทดแทนการใช้วิธีทางเคมีและกายภาพ ของกระบวนการผลิตน้ำมันพืช พบว่า น้ำมันที่ผ่านการกรองด้วยเมมเบรนที่มีขนาด 0.2 และ 0.5 ไมโครเมตร สามารถแยกกรดไขมันอิสระได้เป็นอย่างดี

Marcus et al. (2009) ได้ทำการทดลองใช้เมมเบรนในการแยกตัวทำละลาย n-butane ออกจากน้ำมันถั่วเหลือง พบว่า สามารถแยก n-butane ได้สูงสุดถึงร้อยละ 99.1 และในปี 2010 ได้ทำการทดลองใช้เมมเบรนในการแยกตัวทำละลายอินทรีย์ออกจากน้ำมันพืช พบว่า เมมเบรนชนิด Polymeric สามารถนำมาใช้ในการแยกตัวทำละลายอินทรีย์ออกจากน้ำมันพืชได้เป็นอย่างดีโดยคุณภาพไม่ถูกทำลาย

Sarita et al. (2006) ได้ทดลองใช้เมมเบรนแบบไม่มีรูพรุน (nonporous membrane) ในการแยกองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มโอเลอิน โดยใช้อุปกรณ์ดังภาพที่ 2.4 พบว่าภายใต้สภาวะที่เหมาะสมน้ำมันปาล์มที่ผ่านเมมเบรนสามารถแยกฟอสโฟลิพิดออกได้ถึงร้อยละ 95-100 และไม่พบว่ามีสารแคโรทีนอยด์และสารต้านอนุมูลอิสระเช่น โทโคฟีรอล โทโคโทรอินอล จะถูกแยกออกไปทำให้วิธีนี้สามารถรักษาสารอาหารให้คงอยู่ในน้ำมันปาล์มได้ดี



ภาพที่ 2.4 อุปกรณ์การกรองด้วยเมมเบรน

ที่มา: Sarita et al. (2006)

## 2.2.2 การใช้ไอน้ำ

Woerfel (1995) และ Verleyen et al. (2001) พบว่าในกระบวนการ deodorizer ของน้ำมันถั่วเหลืองจะพบสารประกอบ distillate เกิดขึ้น ซึ่งมักเป็นสารประกอบประเภท phytosterols, fatty acid steryl esters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(FASEs), tocopherols และ squalenes และ Bockisch (1998) พบว่า distillate นี้ยังมีกรดไขมันอิสระ, polycyclic hydrocarbons และ อื่นๆอีก

Ceriane และ Meirelles (2007) รายงานว่า กระบวนการ deodorization เป็นการทำให้ น้ำมันบริสุทธิ์ โดยใช้ไอน้ำเพื่อกำจัดสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นและกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมันได้ โดยการใช้ อุณหภูมิสูงและความดันต่ำ ในการศึกษาคุณภาพและความคงตัวของน้ำมัน ปกติจะใช้วิธีการศึกษาจากค่า ปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid value: FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value: PV) ค่าไอโอดีน (iodine value: IV) ค่าซาปอนิฟิเคชัน (saponification vale: SV) และค่าสี

Crexi et al. (2009) ได้ทำการศึกษาระบวนการ deodorization ของน้ำมัน croaker พบว่า สภาพที่ดีที่สุด ของกระบวนการ deodorization คือใช้อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 นาที และใช้ไอน้ำ ไล่ลงในน้ำมันร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับมวลของน้ำมัน พบว่า น้ำมันที่ได้เหลือปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.09 มีค่า peroxide value (PV) เท่ากับ 0.53 meq/kg ค่า iodine value (IV) และ saponification vale (SV) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากน้ำมันเริ่มต้น

Sampaio et al. (2011) ได้ศึกษาระบวนการใช้ไอน้ำในการกำจัดกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม โดยมี แนวคิดว่ากระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์แบบดั้งเดิมมีโอกาที่จะเกิดการสูญเสียน้ำมันในส่วนที่ดีไป กับกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เช่น การใช้ต่างในกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ หรือการใช้สารดูดซับ ในปริมาณที่ไม่เหมาะสม เป็นต้น โดยจากการทดลองพบว่า อุณหภูมิและปริมาณไอน้ำมีผลต่อการกำจัดกรด ไขมันอิสระและสามารถควบคุมให้อยู่ในสถานะที่เหมาะสมได้

### 2.2.3 การใช้สารดูดซับ

Rossi et al. (2003) ศึกษาการใช้ bleaching clays และ synthetic silica ในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม พบว่า bleaching clays ชนิด acid-activated clays สามารถดูดซับเม็ดสีแคโรทีนได้ดีกว่า natural clay

Lin and Lin (2005) ได้ศึกษาใช้ regenerated clay ในการกำจัดกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมันถั่ว เหลือง โดยศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนและหลังกระบวนการดูดซับโดยพบว่า ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันถั่วเหลืองในตอนเริ่มต้น จะมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาที่ ใช้ในการดูดซับ และจะลดลงจนถึงระยะเวลาในการดูดซับ 15 นาที จากนั้นพบว่า เมื่อระยะเวลาเกิน 15 นาที ในการดูดซับปริมาณไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

Lin and Lin (2009) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเถ้าเปลือกถั่วลิสงมาใช้ในขั้นตอนการทำ degummed น้ำมันถั่วเหลือง เปรียบเทียบกับสารดูดซับชนิดอื่นพบว่า เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงมีประสิทธิภาพใน การดูดซับสารประกอบที่ไม่ต้องการเป็นอย่างดี

### 2.2.4 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)

Swoboda (1985) and Christianne et al. (2007) ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทำน้ำมันปาล์มให้ บริสุทธิ์ โดยการสกัดด้วย ตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ สารผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำ และไอโซ โพรพานอล (Iso-propanol) กับน้ำ โดยใช้ตัวทำละลายร้อยละ 25 ของน้ำหนักน้ำที่ผสมลงไป ผลที่ได้คือ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ไม่ถูกสกัด (raffinate) จะมีความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์เท่ากับหรือมากกว่าเดิม แต่ข้อดีของกระบวนการนี้คือมีของเสียและสารอาหารในน้ำมันปาล์มอาจสูญหายไปในส่วนที่ถูกสกัดได้

### 2.2.5 การสกัดสารด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical Fluid Extraction; SFE)

Ooi et al. (1996) ศึกษาพบว่าเทคโนโลยีนี้สามารถลดปริมาณของกรดไขมันอิสระลงจนมีระดับต่ำกว่าร้อยละ 0.1 และมีปริมาณของแคโรทีนสูงขึ้นกว่าการใช้เทคนิคอื่นๆ อีกทั้งสารประกอบเชิงซ้อนอื่นๆที่ไม่ต้องการก็ลดลงจนไม่ต้องผ่านขั้นตอนการกำจัดยางเหนียว Mohammed et al. (2012) เทคนิคนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะไม่ต้องใช้สารเคมี อีกทั้งยังสามารถกำจัด SC-CO<sub>2</sub> ได้ง่ายอีกด้วย แต่มีข้อจำกัดเรื่องเครื่องมือที่ทำสารให้เป็นของไหลวิกฤตยิ่งยวดมีราคาสูงมาก

### 2.2.6 การกลั่นทางชีวภาพ (Biological Refining)

Cho et al. (1990) เลือกจุลินทรีย์ *Pseudomonas* จากดินเพื่อนำมาดูดซึมกรดไขมันอิสระในน้ำมัน โดยเลี้ยงให้เจริญเติบโตในน้ำมันปาล์มในส่วนของ Triolein ที่เป็นองค์ประกอบหนึ่งของน้ำมันปาล์มและกรดไขมันชนิด Oleic acid รวมกัน โดยใช้เวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้กรดไขมันอิสระเป็นอาหารในการเจริญเติบโต ข้อจำกัดของวิธีนี้คือจุลินทรีย์จะไม่ใช้กรดไลโนเลอิกและกรดไขมันที่มีสายโซ่สั้น (มีคาร์บอนน้อยกว่า 12 อะตอม) เป็นอาหาร และบางครั้งกรดไขมันเหล่านี้ยังไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อีกด้วย

Kurashige (1988) ใช้เอนไซม์ลิเพสจากจุลินทรีย์ *Pseudomonas fluorescens* ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับน้ำมันปาล์มดิบได้ไตรกลีเซอไรด์ วิธีนี้มีข้อดีคือใช้พลังงานน้อย ได้ผลผลิตน้ำมันสูง แต่มีข้อจำกัดที่เอนไซม์มีราคาสูงมาก

## 2.3 การทอด

การทอดเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อนวิธีหนึ่ง โดยจะมีการส่งผ่านความร้อนผ่านตัวกลางคือน้ำมัน โดยปกติอุณหภูมิของน้ำมันที่สามารถทำให้อาหารสุกได้อยู่ประมาณในช่วง 170-210 องศาเซลเซียส

วิธีการทอดในระดับอุตสาหกรรมอาหารแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ได้แก่ การทอดแบบน้ำมันตื้น (shallow frying) และการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying) (วิไล รังสาตทอง. 2543; นิธิยา รัตนานนท์. 2543 และไพโรจน์ วิริยจารี. 2547)

### 2.3.1 การทอดแบบน้ำมันตื้น (shallow frying)

การทอดแบบน้ำมันตื้นเป็นการทอดชิ้นอาหารในกระทะที่มีปริมาณน้ำมันเพียงเล็กน้อย โดยมีระดับน้ำมันในกระทะประมาณ ½-1 นิ้ว น้ำมันจะไม่ท่วมชิ้นอาหารทั้งชิ้น วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงเช่น เบคอน ไช้ เบอร์เกอร์ และพายชนิด ความหนาของชั้นน้ำมันแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของผิวหน้าของอาหาร ถ้าชั้นน้ำมันบางฟองไอน้ำเดือดจะทำให้อาหารเคลื่อนที่ขึ้นลงบนผิวร้อนของกระทะ การกระจายความร้อนจึงไปสม่ำเสมอ ทำให้ผิวหน้าของอาหารที่ทอด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบน้ำมันต้นมีน้ำตาลไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามวิธีทอดแบบนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวสูง 200-450 W/m<sup>2</sup>K (นิธิยา รัตนานนท์. 2543 และไพโรจน์ วิจารณ์. 2547)

### 2.3.2 การทอดแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying)

การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นการทอดอาหารในน้ำมันที่มีปริมาณมากเพียงพอที่จะท่วมอาหารทั้งชิ้น การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้เป็นทั้งการพาความร้อนในน้ำมันร้อนและการนำความร้อนจากภายในอาหาร ผิวของอาหารทั้งหมดจะได้รับความร้อนใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ การทอดแบบน้ำมันท่วมเหมาะสำหรับอาหารทุกรูปทรงแต่อาหารที่มีรูปทรงไม่แน่นอนจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีรูปทรงแน่นอนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก่อนเกิดกระเหยเท่ากับ 250-300 W/m<sup>2</sup>K และเพิ่มขึ้นเป็น 800-1000 W/m<sup>2</sup>K เนื่องจากเกิดความผันผวนของไอน้ำที่หนีออกจากอาหาร อย่างไรก็ตามถ้าอัตราการระเหยสูงเกินไปจะเกิดฟิล์มบางๆของไอน้ำอยู่บนผิวอาหารทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง (นิธิยา รัตนานนท์. 2543 และไพโรจน์ วิจารณ์. 2547)

## 2.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมันในระหว่างการทอด

### 2.4.1 ปฏิกิริยาไลโปไลซิส (lipolysis reaction)

เป็นการแตกสลายของ โมเลกุลของไขมันและน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงเคมีเนื่องจากปฏิกิริยาต่างๆ ดังนี้คือ การแตกของพันธะเอสเทอร์ของลิพิด ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาที่เร่งโดยเอ็นไซม์หรือเร่งโดยความร้อนร่วมกับความชื้น ทำให้ได้กรดไขมันอิสระซึ่งกรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายกว่ากรดไขมันที่อยู่ในรูปแบบเอสเทอร์ของกลีเซอรอล จึงเป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของน้ำมันที่ใช้ในการทอด เพราะความชื้นจากอาหารที่ถ่ายเทมายังน้ำมัน และอุณหภูมิสูงของน้ำมันในขณะทอด และการเกิดไลโปไลซิสของน้ำมัน จะทำให้จุดเกิดควันของน้ำมันที่ผ่านการทอดลดลง เพราะน้ำมันมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น สำหรับเอ็นไซม์ในสัตว์นั้นจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาไลโปไลซิสเมื่อสัตว์ตายลง ดังนั้นไขมันที่ได้จากสัตว์ควรรีบให้ความร้อน เช่น การเจียวมันหมูเพื่อทำลายเอ็นไซม์ สำหรับน้ำมันดิบนั้นจะเกิดปฏิกิริยาไลโปไลซิสแล้วให้กรดไขมันขนาดเล็ก ซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไปจนเกิดกลิ่นเหม็นหืน (rancid flavor) ส่วนไขมันที่ได้จากพวกเมล็ดต่างชนิดกันจะเกิดปฏิกิริยาไลโปไลซิสจนได้กรดไขมันอิสระในปริมาณที่แตกต่างกันไปเมื่อแก่จัดและถูกเก็บเกี่ยว ดังนั้นหลังการสกัด ไขมันจากพืชจึงต้องสะเทินกรดไขมันอิสระด้วยสารละลายต่าง

### 2.4.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation)

เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนทำให้อาหารที่มีน้ำมันหรือไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่เกิดการเปลี่ยนแปลงจนได้กลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลง สารที่เกิดขึ้นบางชนิดมีแนวโน้มเป็นสารพิษ อย่างไรก็ตามการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในสภาวะที่ควบคุมจนได้ระดับปฏิกิริยาที่เหมาะสมก็ทำให้อาหารมีกลิ่นรสที่พึงประสงค์ เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเนยแข็งที่บ่มหรือการเกิดกลิ่นรสของอาหารทอดบางชนิดซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (hydrolysis)

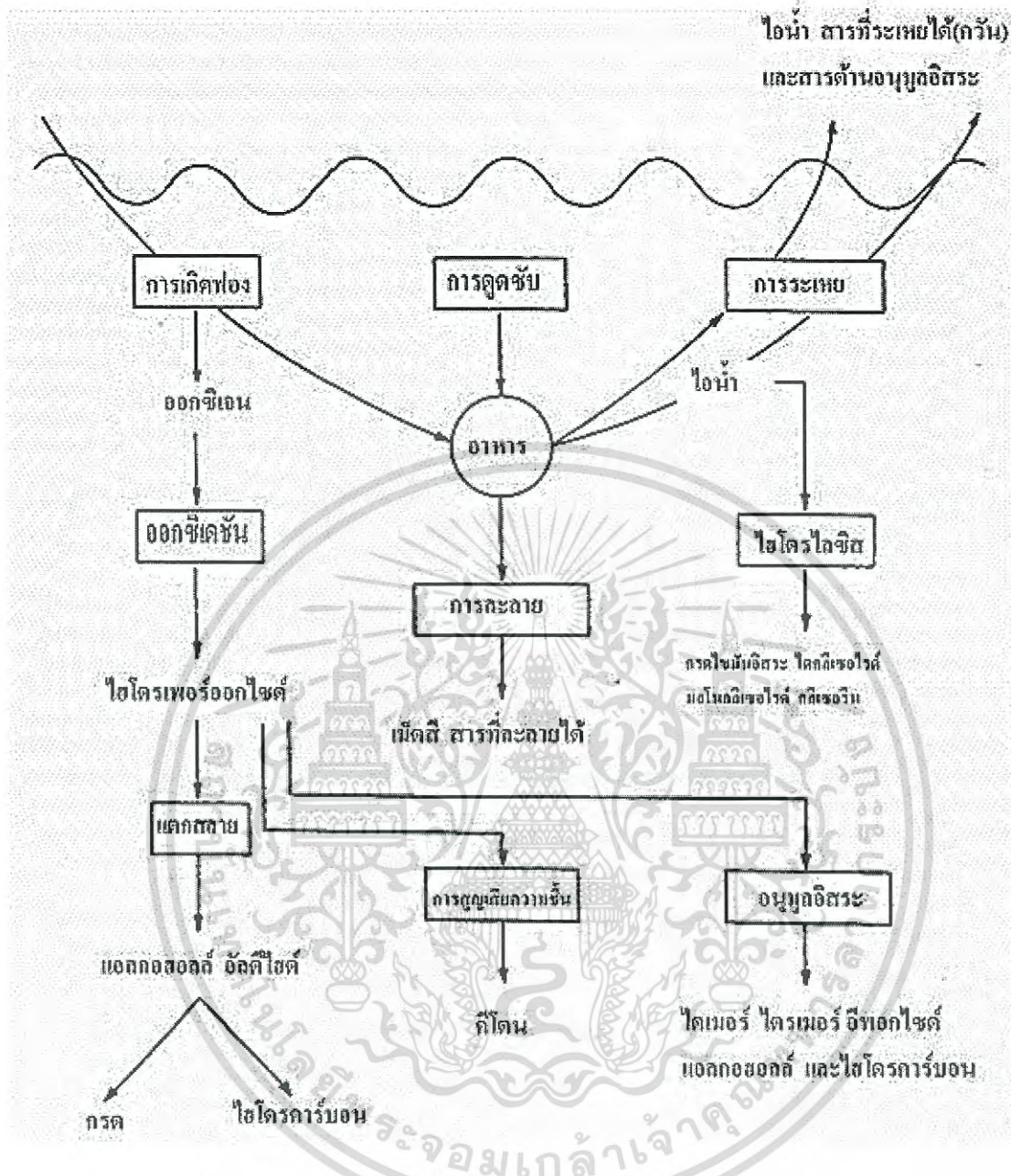
เป็นการเติมไฮโดรเจนเข้าไปยังคาร์บอน ณ ตำแหน่งที่ไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน ทำให้กรดไขมันเปลี่ยนจากชนิดที่ไม่อิ่มตัวมาเป็นชนิดที่อิ่มตัว ทำให้เปลี่ยนจากน้ำมันมาเป็นไขมันเนื่องจากเมื่อกรดไขมันอิ่มตัวมากขึ้นจุดหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้นจึงทำให้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง นิยมใช้ในการทำเนยขาวและเนยเทียม อย่างไรก็ตามระหว่างกระบวนการทำไฮโดรจิเนชันจะทำให้กรดไขมันจำนวนหนึ่งถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปทรานส์ไอโซเมอร์ การผลิตเนยขาวหรือเนยเทียมในระดับอุตสาหกรรมมีการผ่านก๊าซไฮโดรเจนที่ความดันสูงลงน้ำมันโดยใช้ไอออนของโลหะหนัก เช่น นิกเกิลหรือแพลตินัมเป็นสารเร่งปฏิกิริยา

### 2.4.4 ปฏิกิริยาฮาโลจิเนชัน (halogenation)

เป็นการเติมสารจำพวกฮาโลเจนเข้าไปยังคาร์บอน ณ ตำแหน่งที่ไม่อิ่มตัวของกรดไขมันจึงทำให้สามารถใช้ปฏิกิริยานี้ตรวจสอบหาระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน โดยการเติมไอโอดีนในสภาวะที่เป็นกรดและในที่ที่ไม่มีแสงสว่าง ทั้งนี้เพราะเมื่อมีแสงแทนที่ไอโอดีนจะถูกเติม ณ คาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว ไอโอดีนจะไปแทนที่ไฮโดรเจนในคาร์บอนที่อิ่มตัวมากกว่า การหาระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน โดยการเติมไอโอดีนทำให้ได้ค่าไอโอดีนดังกล่าวแล้วในหัวข้อสมบัติทางเคมีของไขมันและน้ำ

### 2.4.5 ปฏิกิริยาการสลายตัวของน้ำมันเนื่องจากความร้อนสูง

เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนสูง เช่น การทอดอาหารในน้ำมันที่อุณหภูมิสูง น้ำมันที่ใช้ในการทอดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ พร้อมกันคือ ไขมันสัมผัสกับอากาศจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็วจนในที่สุดได้กรดอินทรีย์และสารไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยง่ายและทีโตน ไตรเมอร์ อีพอกไซด์ แอลกอฮอล์ และไดเมอร์ภายใต้ความร้อนสูง ในขณะที่เดียวกันไอน้ำที่ระเหยออกจากอาหารจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร ทำให้ได้กรดไขมันอิสระ ไดกลีเซอไรด์ มอนोगลิเซอไรด์และกลีเซอริน นอกจากนี้อาหารที่ทอดจะละลายสารบางชนิดที่ละลายได้ในน้ำมันออกมาสู่น้ำมันปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในเวลาใกล้เคียงกันและรวดเร็วเป็นผลให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพเช่น เกิดควัน เกิดฟอง และมีสีเข้มขึ้น มีความหนืดมากขึ้น แผนภูมิในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แผนภูมิปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในน้ำมันในระหว่างการทอดอาหาร  
ที่มา : Jadhav et al. (1996)

### 2.5 สารพิษที่เกิดจากการกระบวนการทอดด้วยน้ำมันร้อน

น้ำมันและไขมันเมื่อได้รับความร้อนขณะที่ใช้ทอดอาหาร โดยเฉพาะน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมาก จะเกิดปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชัน ได้สารพวกไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และไกลคอล ความร้อนจะเร่งให้สารเหล่านี้สลายตัวอย่างต่อเนื่องไปอย่างรวดเร็ว เช่น สารไกลคอลจะสลายตัวเป็นกรดไฮโดรเปอร์ออกไซด์และสลายตัวต่อเป็นแอลดีไฮด์ทั้งกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว และยังสามารถเกิดพันธะขึ้นใหม่ภายในโมเลกุลของสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลหรือ คาร์บอนิลได้เป็นอีพอกไซด์ หากได้รับความร้อนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเป็นเอกสารนี้ เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศจะรวมตัวกันได้ ไคโมเมอร์ พอลิเมอร์ หรือวงแหวน ตัวอย่างเช่น การให้ความร้อนแก่ส่วนผสมของกรดโอเลอิกและกรดลินolenic อัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง พบว่า เกิดเป็นไดเมอร์ร้อยละ 83 พอลิเมอร์ร้อยละ 15 และมอนอเมอร์ร้อยละ 3 (นิธิยา รัตนาปนนท์. 2543)

เมื่อนำน้ำมันที่ผ่านความร้อนไปเลี้ยงสัตว์ทดลอง พบว่า ทำให้เกิดอาการเบื่ออาหาร ท้องร่วง ใต้ และเนื้อเยื่อหลายชนิดมีลักษณะเปลี่ยนไป นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าไขมันที่ผ่านความร้อน อาจจะทำหน้าที่เป็นส่วนร่วมก่อมะเร็ง (co carcinogen) หรือสารเร่งการเกิดเนื้องอก (tumor promoter) ได้ ซึ่งได้มีการทดลองในสัตว์ทดลองโดยใช้น้ำมันข้าวโพดที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง หรือน้ำมันที่เหลือจากการทอดมันฝรั่งเมื่อนำไปให้สัตว์ทดลองกินร่วมกับสารก่อมะเร็ง คือ อะซีทิลอมิโนฟลูออรีน (acetylaminofluorene, AAF) พบว่า หนูตัวผู้เกิดเนื้องอกที่เต้านมมากขึ้น และหนูจะตามภายหลัง 30 เดือน ส่วนหนูกลุ่มควบคุมจะไม่มีเนื้องอกเกิดขึ้น และไม่ตาย ซึ่งทำให้สรุปได้ว่า น้ำมันที่ผ่านความร้อนสูงมารที่มีสมบัติเป็นสารส่งเสริมการเกิดมะเร็งปนอยู่ด้วย (นิธิยา รัตนาปนนท์. 2543)

Oh et al. (2005) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง trans fatty acids (TFAS) กับ โรคเส้นเลือดหัวใจอุดตัน (cardiovascular disease) ระดับของ trans fatty acids ที่บริโภคเข้าไปมีผลต่อการเกิดโรคเส้นเลือดหัวใจอุดตัน และ Liu et al. (2007) ได้พบว่า TFAS จะมีมากขึ้นในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนน้ำมัน Bansal et al. (2009) พบว่า เมื่อนำวัตถุที่มี TFAS ในองค์ประกอบจะสามารถแพร่ลงสู่น้ำมันที่ใช้ทอดได้ด้วย ปริมาณจะมากขึ้นอยู่กับปริมาณเริ่มต้นที่มีอยู่ในอาหาร

## 2.6 ดัชนีที่ใช้ควบคุมคุณภาพของน้ำมันบริโภค

### 2.6.1 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

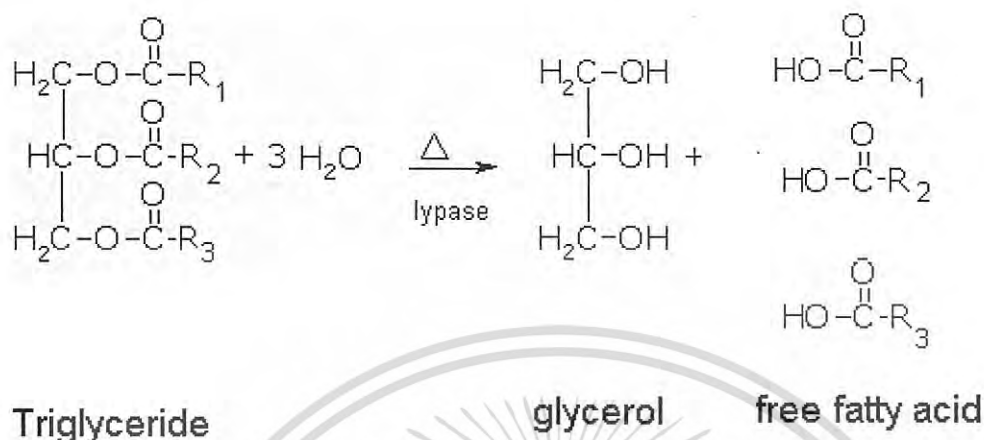
เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน (rancidity) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันและไขมันรวมทั้งอาหารที่มีไขมันสูง เช่น อาหารทอด ได้แก่ ถั่วปากอ้าทอด ถั่วทอดแผ่น (นิธิยา รัตนาปนนท์. 2543)

Peroxide value คือ ปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมันและไขมัน หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไซโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.002 นอร์มัล ที่ใช้ในการไทเทรต ไขมัน หรือน้ำมัน 1 กรัม หรือหมายถึง จำนวนมิลลิกรัมสมมูลของเปอร์ออกไซด์ออกซิเจน ที่มีในไขมัน หรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม ถ้าค่า peroxide value สูง แสดงว่าไขมัน หรือน้ำมันเกิด lipid oxidation มาก มีกลิ่นหืนมาก เกิดปฏิกิริยา oxidative rancidity มาก (นิธิยา รัตนาปนนท์. 2543) จาก ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 56 (2524) เรื่อง น้ำมันปาล์ม กำหนดให้ น้ำมันปาล์ม มีค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม

### 2.6.2 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

ค่าความเป็นกรด (acid value) เป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำมันและไขมัน โดยเป็นค่าที่บ่งชี้ว่าไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ที่เป็นส่วนประกอบหลักในไขมันและน้ำมัน ถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(hydrolysis) โดยมีเอนไซม์ไลเปส (lipase) และความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์ คือกลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ ซึ่งทำให้น้ำมันและไขมันมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (นิธิยา รัตนานพนท์. 2543)



ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ค่าความเป็นกรดของไขมันหรือน้ำมัน คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ซึ่งค่าที่ได้สามารถนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระได้ค่า acid value เป็นค่าที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันและไขมัน สำหรับทอด (frying oil) ระหว่างการทอด (frying) และคุณภาพของอาหารที่มีปริมาณไขมันสูง ได้แก่ อาหารทอด เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ระหว่างการเก็บรักษา หากค่าความเป็นกรดสูง แสดงว่าน้ำมันเสื่อมคุณภาพ มีจุดเกิดควัน (smoke point) ต่ำลง และเป็นสาเหตุเริ่มต้นของการเกิดกลิ่นหืน (rancidity) นอกจากนี้ยังมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (lipid oxidation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว (นิธิยา รัตนานพนท์. 2543)

### 2.6.3 ค่าพาราแอนิซิดีน (p-anisidine)

เป็นการวัดผลิตภัณฑ์ขั้นที่สอง (secondary product) ที่เกิดจากปฏิกิริยาการออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) เป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้คุณภาพของน้ำมันและไขมัน การเกิดออกซิเดชันของลิพิดในขั้นต้น จะเกิดเพอร์ออกไซด์ (peroxide) ซึ่งวัดได้ด้วยค่า peroxide value ซึ่งบ่งชี้ถึงการเกิด ปฏิกิริยา lipid oxidation ในขั้นต้น หลังจากนั้น สารเพอร์ออกไซด์ซึ่งยังไม่เสถียรจะแตกตัวออกเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็ก ได้แก่ แอลดีไฮด์ (aldehyde) คีโตน (ketone) และกรดอินทรีย์ ซึ่งสารเหล่านี้จะไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ซึ่งจะอันตรายต่อสุขภาพ ทำให้เกิดโรคต่างๆ ได้ (นิธิยา รัตนานพนท์. 2543)

### 2.6.4 ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (polar compound)

สารประกอบมีขั้วเกิดจากไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีขั้วในน้ำมันถูกไฮโดรไลซิสออกซิไดซ์ และโพลีเมอร์ไรซ์ ได้สารประกอบมีขั้ว เช่น กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ คาร์บอกซิลิกแอซิด และฟอสโฟไลพิด ซึ่งสารเหล่านี้จะไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิไดส์ไตรกลีเซอไรด์ ไซคลิกโมโนเมอร์ ไดเมอร์และโพลีเมอร์ของไตรกลีเซอไรด์ ไดเมอร์และโพลีเมอร์ที่ถูกออกซิไดส์ ดังนั้นสารประกอบมีขี้จึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพและการยอมรับของน้ำมันใช้แล้วในทุกประเทศ หากมีสารประกอบมีขี้มากในน้ำมันทอดจะมีผลต่อกลิ่นรส และคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทั่วไปจึงอนุญาตให้น้ำมันใช้แล้วมีปริมาณของสารประกอบมีขี้ไม่มากกว่าร้อยละ 25-30

#### 2.6.5 ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid value, TBARS)

เป็นสารที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) โดยการวัด ปริมาณแอลดีไฮด์ (aldehyde) ในรูปมาโลนาลแอลดีไฮด์ (malonal aldehyde) ที่มีอยู่ในน้ำมัน ซึ่งจัดเป็นอันตรายทางเคมี (chemical hazard) ในอาหาร สามารถทดสอบได้โดยตรงกับอาหารที่มีการสกัดสารให้สีออกแล้วด้วยไอน้ำก่อนสาร thio barbituric acid ทำปฏิกิริยากับ malonal aldehyde แล้วจะให้ red chromogen ซึ่งจะถูกรวบรวมได้โดย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 530 nm. ค่า TBA จะแสดงเป็นจำนวนมิลลิกรัม (mg) ของ malonal aldehyde ต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม

#### 2.6.6 ความหนืด (Viscosity)

บ่งบอกถึงองค์ประกอบและชนิดของกรดไขมัน ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นและเมื่ออุณหภูมิของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่ความหนืดของน้ำมันทอดเพิ่มขึ้นนั้นมีผลมาจากในระหว่างการทอดมีสาร โพลีเมอร์ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ไขมันมีความหนืดและฟองมากขึ้น

#### 2.6.7 สี (Color)

สีเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันได้ น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสี น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม อาหารที่ทอดจะให้สารพวกฟอสเฟต และซัลเฟอร์ซึ่งสารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำมันทอดทำให้น้ำมันมีสีดำ และจะสะสมอยู่ในน้ำมันระหว่างการทอดอาหาร เมื่อน้ำมันดำขึ้นหลังจากการทอดอาหารที่ทอดในน้ำมันจะมีสีดำในอัตราที่รวดเร็วมากจนถึงจุดซึ่งอาหารที่ทอดจะดำทั้งที่ยังไม่สุกหมด

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภาคภูมิ อุณหเลขจิตร (2559) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระยะเวลาต่อการเกิดสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารประเภทเนื้อและแป้ง จากการตรวจสอบตัวอย่างน้ำมันทุก 3 ชั่วโมง ด้วยชุดทดสอบสารโพลาร์ ผลการวิจัยพบว่าระยะเวลาและจำนวนครั้งของการทอด น้ำมัน 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์ม และ น้ำมันถั่วเหลือง มีความสัมพันธ์ต่อการเพิ่มขึ้นของสารโพลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P-value < 0.001 ในขณะที่น้ำมันรำข้าวไม่มีความแตกต่าง จึงมีความเป็นไปได้ว่าน้ำมันรำข้าวเป็นทางเลือกของผู้ประกอบการ และส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Eunmi and Jeonghee (2013) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดอาหารและความถี่ในการทอดมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยใช้ตัวอย่างอาหารจากโรงเรียนในเกาหลี ตัวอย่างอาหารที่ใช้แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ผัก ปลา เนื้อ และกลุ่มคาร์โบไฮเดรต พบว่าอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (lipid oxidation) ต่ำที่สุด ผักมีค่า dienes และ trienes สูงแต่ ค่า hydroperoxides ต่ำกว่าทั้ง 4 กลุ่ม และระดับการ conjugated trienes กับ ค่าการเกิด malodialdehyde จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราความถี่ในการทอดอาหารเพิ่มมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์

##### 3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 น้ำมันปาล์ม

บริษัทสุขสมบูรณ์ กรุ๊ปจำกัด, ไทย

3.1.1.2 มันฝรั่งแห้ง

เทสโก้โลตัส, ไทย

##### 3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol,  $C_2H_5OH$ )

Merck, เยอรมนี

3.1.2.2 สารละลายฟีนอล์ฟทาเลอิน (phenolphthalein,  $C_{20}H_{14}O_4$ )

Merck, เยอรมนี

3.1.2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH)

Merck, เยอรมนี

3.1.2.4 กรดอะซิติก (acetic acid,  $CH_3COOH$ )

Merck, เยอรมนี

3.1.2.5 คลอโรฟอร์ม (chloroform,  $CHCl_3$ )

Lab-Scan, ไทย

3.1.2.6 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide, KI)

Merck, เยอรมนี

3.1.2.7 โซเดียมไทโอซัลเฟต (sodium thiosulfate,  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ )

Carlo Erba, ฝรั่งเศส

3.1.2.8 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl)

Merck, เยอรมนี

3.1.2.9 ไอโซออกเทน (isooctane,  $C_8H_{18}$ )

Merck, เยอรมนี

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์ยึดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว

ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง, ไทย

3.2.2 เครื่อง UV-Visible spectrophotometer รุ่น UV 1601

Shimadzu, ญี่ปุ่น

3.2.3 เครื่องวัดความหนืด รุ่น DV-III

Brookfield, สหรัฐอเมริกา

3.2.4 เครื่องวัดสี รุ่น Color Quest XE

Hunter Lab, สหรัฐอเมริกา

3.2.5 เครื่องวัดสารประกอบมีซิว รุ่น FOM 310

Ebro TM electronic, เยอรมนี

3.2.6 เครื่องเขย่าด้วยแรงกล

Gerhart, เยอรมนี

3.2.7 เครื่องกรองสุญญากาศ

ABMGreifenger, เยอรมนี

3.2.8 เครื่องระเหยสุญญากาศ รุ่น R-200

Buchi, ญี่ปุ่น

3.2.9 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง รุ่น ARC 120

Ohuhaus, สหรัฐอเมริกา

3.2.10 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น SI-324

Denver, เยอรมนี

3.2.11 ตู้แช่เยือกแข็ง รุ่น SNH-0203D41C

Sanden Intercool, ไทย

3.2.12 หม้อทอดขนาคั่วความจุ 5 ลิตร

Princess, จีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.13 ออโตปีเปต ขนาด 100-1000 ไมโครลิตร

Daihan Scientific, ไทย

3.2.14 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

### 3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

#### 3.3.1 ออกแบบ และ สร้างอุปกรณ์ยึดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว

โดยใช้หลักการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อนำมาทำให้เกิดฟองไอน้ำ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนกับน้ำมันทอดใช้แล้ว เพื่อให้ สารประกอบต่างๆที่ไม่ต้องการในน้ำมันทอดใช้แล้ว เช่น กรดไขมันอิสระ และสารประกอบที่มีขี้้ว ที่เกิดขึ้นกับน้ำมันทอดใช้แล้ว ในระหว่างการใช้งาน แพร่เข้าสู่ไอน้ำที่มีขนาดเล็ก และ ระเหย ออกจากน้ำมันทอดใช้แล้ว และควบแน่นภายนอก อุปกรณ์ยึดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว จะใช้วัสดุ ที่สามารถหาได้ง่ายภายในประเทศ ซึ่งง่ายต่อการสร้าง และสามารถติดตั้ง และ ถอดประกอบ ได้ง่าย ซ่อมแซมและดูแลรักษาง่าย เคลื่อนย้ายสะดวก อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น สามารถควบคุมอุณหภูมิ ในการจ่ายไอน้ำได้

#### 3.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ และสารประกอบมีขี้้ว

โดยนำตัวอย่างน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์จำนวน 4 ลิตร ไปทอดกับตัวอย่างมันฝรั่งแท่ง ทำการทอดแบบ deep fat frying ด้วยอัตราส่วนน้ำมันทอดต่อมันฝรั่งแท่ง 4:1 (w/w) ใช้เวลาทอด 10 นาที ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นพักน้ำมันทอดทิ้งไว้ในภาชนะสเตนเลสแบบเปิด เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากครบ 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างน้ำมันกลับมาทอดกับมันฝรั่งแท่งชุดใหม่ โดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ใส่ลงไป ทำการทอดซ้ำต่อเนื่อง เป็นเวลาทั้งหมด 4 วัน จากนั้นเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วโดยนำตัวอย่างน้ำมันมาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีดังนี้

##### 3.3.2.1 ด้านกายภาพ

3.3.2.1.1 ค่าความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer, สหรัฐอเมริกา) ตามวิธีในภาคผนวก ก2

3.3.2.1.2 ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab Colorimeter, Minolta, สหรัฐอเมริกา) ตามวิธีในภาคผนวก ก1

##### 3.3.2.2 ด้านเคมี

3.3.2.2.1 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (AOCS., 1998)

3.3.2.2.2 วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (AOCS., 1998)

3.3.2.2.3 วิเคราะห์ค่าพาราแอนนิซีดิน (AOCS., 1998)

3.3.2.2.4 วิเคราะห์ค่าความเป็นขี้้วโดยใช้เครื่อง Ebro™ electronic (FOM 310) วัดที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 150±1 องศาเซลเซียส (Wei-an C. et al. 2012) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม ในการให้ไอน้ำกับน้ำมันทอดใช้แล้วเพื่อให้ได้น้ำมันที่บริสุทธิ์มากขึ้น

นำตัวอย่างน้ำมันทอดใช้แล้วที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้จากข้อที่ 3.3.2 มาศึกษาหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม ในการให้ไอน้ำกับน้ำมันทอดใช้แล้ว เพื่อให้ได้น้ำมันที่บริสุทธิ์มากขึ้น นำตัวอย่างน้ำมันทอดใช้แล้วที่เตรียมได้ไปผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้โดยปรับระดับอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 180 200 และ 240 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการให้ไอน้ำ 30 60 และ 90 นาที ตามลำดับ ด้วยความดันสูญญากาศ 0.7 บาร์ (ดัดแปลงวิธีจาก Crexi et al. 2009) จากนั้นเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ที่อุณหภูมิ 180 200 และ 240 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาการให้ไอน้ำ 30 60 และ 90 นาที ตามลำดับ ด้วยความดันสูญญากาศ 0.7 บาร์ โดยวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมี เช่นเดียวกับข้อ 3.3.2

### 3.3.4 ศึกษาการนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้กลับไปใช้ใหม่

นำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ในข้อ 3.3.3 ที่สภาวะที่ดีที่สุดซึ่งพิจารณาจากอุณหภูมิและเวลาที่สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทั้งด้านกายภาพและเคมีได้เหมาะสมที่สุด มาใช้ทอดมันฝรั่งแท่ง แบบ deep fat fryer ด้วยอัตราส่วนน้ำมันทอดต่อมันฝรั่งแท่ง 4:1 (w/w) ใช้เวลาทอด 10 นาที ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการกรองและพักน้ำมันทอดทิ้งไว้ในภาชนะสเตนเลสแบบเปิดเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากครบ 24 ชั่วโมงนำตัวอย่างน้ำมันกลับมาทอดกับมันฝรั่งแท่งชุดใหม่ โดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ใส่ลงไป ทำการทอดซ้ำต่อเนื่องเป็นเวลาทั้งหมด 4 วัน จากนั้นนำมันฝรั่งแท่งที่ได้ภายหลังจากการทอดมาตรวจวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบกับมันฝรั่งแท่งที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์มใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ ดังนี้

3.3.4.1 วิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของน้ำมันที่ใช้ทอดแต่ละวันเปรียบเทียบกับน้ำมันใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบ โดยเก็บตัวอย่างน้ำมันหลังทอดเสร็จในแต่ละวัน จำนวน 100 มิลลิลิตรใส่ขวด PET เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและเคมี เช่นเดียวกับข้อ 3.3.2

3.3.4.2 วิเคราะห์คุณภาพของมันฝรั่งแท่งที่ได้ภายหลังจากการทอดและระหว่างการเก็บรักษา ดังนี้

3.3.4.2.1 สีของมันฝรั่งแท่งทอดโดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab Colorimeter, Minolta, สหรัฐอเมริกา) ตามวิธีใน ภาคผนวก ก1

3.3.4.2.2 ปริมาณน้ำมันภายในตัวอย่างมันฝรั่ง สกัดน้ำมันด้วยวิธี Soxhlet extraction (ดัดแปลงจาก AOAC., 1990)

3.3.4.2.3 ทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างมันฝรั่ง โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ให้คะแนนความชอบด้วยวิธี 7- point Hedonic scale scoring test (ไพโรจน์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2547) สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.5 ศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้้ว

เก็บรักษาตัวอย่างน้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้้วจากข้อ 3.3.3 ไว้ในขวด PET ขนาด 300 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 15 วัน และตลอดอายุการเก็บรักษาจะนำตัวอย่างน้ำมันมาวิเคราะห์ค่าทางเคมีทุกๆ 5 วัน โดยวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีต่างๆเช่นเดียวกับข้อ 3.3.2 (ยกเว้นการวิเคราะห์ค่าความเป็นขี้้ว)

### 3.3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

รวบรวมข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ ทางด้านกายภาพและทางด้านเคมี มาหาความแตกต่างของข้อมูล โดยในข้อ 3.3.2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยมีประเภทของน้ำมันปาล์มเป็นตัวแปรต้น และมีค่าความหนืด สี ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิน และค่าความเป็นขี้้วเป็นตัวแปรตามและนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ ANOVA (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติแบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ (Statistical package for the social science for windows: SPSS 16) ในข้อ 3.3.3 วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial) ขนาด 2x3 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติแบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ (SPSS 16) ในข้อ 3.3.4 และ 3.3.5 วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized completely block design: RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติแบบ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ (SPSS 16)

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ยืดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว

อุปกรณ์ยืดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว แสดงดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 การออกแบบอุปกรณ์ยืดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว จะใช้รูปแบบการกำจัด สารประกอบต่างๆที่ไม่ต้องการในน้ำมันทอดใช้แล้ว เช่น กรดไขมันอิสระ และสารประกอบที่มีขี้ ด้วยใช้อิน้ำ (deodorizer) ซึ่งอ้างอิงโดย Ceriane และ Meirelles (2007); Woerfel (1995); Verleyen et al. (2001); Crexi et al. (2009) และ Sampaio et.al. (2011) และเนื่องจากกระบวนการกำจัด สารประกอบต่างๆที่ไม่ต้องการในน้ำมันทอดใช้แล้ว เป็นการใช้อิน้ำเพียงอย่างเดียว ไม่ได้มีการใช้สารเคมี จึงมีความปลอดภัยในการใช้งาน และเนื่องจากน้ำที่จะนำมาใช้ในการผลิตอิน้ำ มีราคาถูก จึงสามารถลดต้นทุนในการดำเนินงานได้



ภาพที่ 4.1 ส่วนตัวถังด้านข้าง (ซ้าย) และ ด้านหน้า (ขวา) ของอุปกรณ์ยืดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว

จากภาพที่ 4.1 แสดงภาพตัวถังของอุปกรณ์ยืดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว มีคุณสมบัติพื้นฐานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวถังผลิตจากสแตนเลส เบอร์ 304 หนา 2 มิลลิเมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ลึก 50 เซนติเมตร บริเวณก้นถังทำการปั๊มรู เพื่อวัตถุประสงค์ให้ของเหลวที่อยู่ในถังสามารถนำออกสู่ภายนอก ผ่านวาล์วด้านล่างก้นถังได้โดยง่าย ซึ่งการทำปั๊มรูนี้ลงไปบริเวณก้นถังจะเป็นการรวบรวมของเหลวลงสู่ท่อได้โดยง่าย

บริเวณปากถังมีปากกว้าง 6 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร เซาะร่องบริเวณกลางปากกว้าง 1 เซนติเมตร ลึก 2 มิลลิเมตร ซึ่งปากนี้จะเพิ่มความแข็งแรงให้กับตัวถัง และใช้เป็นที่ยึดและรับน้ำหนักฝาบนของเครื่อง ฝาถังทำจากสแตนเลส เบอร์ 304 หนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 1 วาล์ว ฝาบนจะทำปั๊มรู บริเวณด้านบนของฝาจะติดตั้ง วาล์วสแตนเลส เบอร์ 304 ขนาด 3/8 นิ้ว เพื่อใช้ในการควบคุมการปล่อยอากาศ ทำให้ภายในถังมีความดันเท่ากับบรรยากาศในกรณีต้องการเปิดฝาถังอย่างรวดเร็ว และ ติดตั้งเกจวัดความดันแบบสูญญากาศ เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ติดตามการเปลี่ยนแปลงความดันภายในถัง

บริเวณโดยรอบถังระยะห่างจากบ่าลงมา 10 เซนติเมตร จะประกอบด้วยวาล์วสแตนเลสเบอร์ 304 ขนาด 3/8 นิ้ว จำนวน 4 วาล์ว โดยวาล์วแต่ละวาล์วอยู่ห่างกันในระยะที่เท่ากัน ส่วนบริเวณกลางถัง จะประกอบด้วยวาล์วสแตนเลส ขนาด 3/8 นิ้ว 1 อัน โดยวาล์วสแตนเลสเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นทางออก และทางเข้าของสิ่งที่ต้องการส่งออกและนำเข้าตัวถัง และ บริเวณด้านล่างก้นถังที่ปั๊มรูจะประกอบด้วยวาล์วสแตนเลสขนาด 1/2 นิ้ว 1 วาล์ว และบริเวณวาล์วด้านล่างนี้จะต่อท่อสแตนเลสเพิ่มเติม เพื่อใช้เป็นทางไหลออกของน้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยไอน้ำแล้ว



ภาพที่ 4.2 ส่วนควมแน่นของอุปกรณ์ยึดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว

ภาพที่ 4.2 เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ควมแน่นไอน้ำและสารประกอบต่างๆที่ไม่ต้องการในน้ำมันทอดใช้แล้ว ที่เป็นไอรยะเหยความดันต่ำจากตัวถังของอุปกรณ์ เพื่อทำให้ไอรยะเหยที่ระเหยออกจากอุปกรณ์ถูกลดอุณหภูมิและควมแน่นเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง เพื่อไม่ให้ไอรยะเหยหลุดรอดเข้าไปในปั๊มสูญญากาศ ซึ่งอุปกรณ์นี้ทำจากสแตนเลส เบอร์ 304 มีความยาว ไม่รวมข้อต่อต่างๆเท่ากับ 120 เซนติเมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร บริเวณใจกลางอุปกรณ์มีท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นท่อน้ำหล่อเย็นเข้าทางด้านล่าง ออกทางด้านบน ปลายท่อทั้งทางด้านน้ำหล่อเย็นเข้าและน้ำหล่อเย็นออกทำข้อต่อเป็นลักษณะหางปลาไหล เพื่อสะดวกในการต่อสายยางซิลิโคน ท่อหล่อเย็นนี้จะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนจากไอรระเหยที่ระเหยมาจากตัวถังของอุปกรณ์ เพื่อให้ไอรระเหยมีอุณหภูมิลดต่ำลง จนสามารถควบแน่นเป็นของเหลว ซึ่งจะป้องกันการหลุดรอดเข้าไปในบีม์สูญญากาศได้ นอกจากนี้อุปกรณ์ควบแน่นไอรระเหยยังประกอบด้วย ท่อไอรระเหยที่มาจาก ตัวถังของอุปกรณ์ และท่อไอสารระเหยที่ควบแน่นแล้วออก ซึ่งท่อทั้งสองมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ซึ่งท่อไอสารระเหยเข้าจะอยู่ทางด้านล่าง สูงห่างจากฐานอุปกรณ์ควบแน่นไอรระเหย 15 เซนติเมตร ส่วนท่อไอสารระเหยออกจะอยู่ทางด้านบน สูงห่างจากขอบบนของอุปกรณ์ควบแน่นไอรระเหย 15 เซนติเมตร ปลายท่อทั้งทางด้านไอสารระเหยเข้าและไอไอสารระเหยออกทำข้อต่อเป็นลักษณะหางปลาไหล เพื่อสะดวกในการต่อสายยางซิลิโคน ท่อไอสารระเหยเข้านี้จะทำหน้าที่นำไอสารระเหย ที่ระเหยมาจาก ตัวถังของอุปกรณ์ ส่วนท่อไอตัวสารระเหยออกจะทำหน้าที่นำอากาศหรืออากาศที่อาจมีไอสารระเหยอยู่น้อย ที่เหลือรอดจากการควบแน่นไปสู่ระบบบีม์สูญญากาศต่อไป สำหรับท่อตัวไอสารระเหยที่ควบแน่นแล้วออก จะเชื่อมต่อบริเวณด้านล่างของ ฐานอุปกรณ์ควบแน่นไอรระเหย ซึ่งมีความยาว 20 เซนติเมตร ปลายท่อทำข้อต่อเป็นลักษณะหางปลาไหล เพื่อสะดวกในการต่อสายยางซิลิโคน ท่อไอสารระเหยออกนี้จะทำหน้าที่นำตัวไอสารระเหยที่ควบแน่นเป็นของเหลวแล้ว ออกจากอุปกรณ์ควบแน่นไอรระเหย เพื่อนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นต่อไป



ภาพที่ 4.3 อุปกรณ์ยึดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว

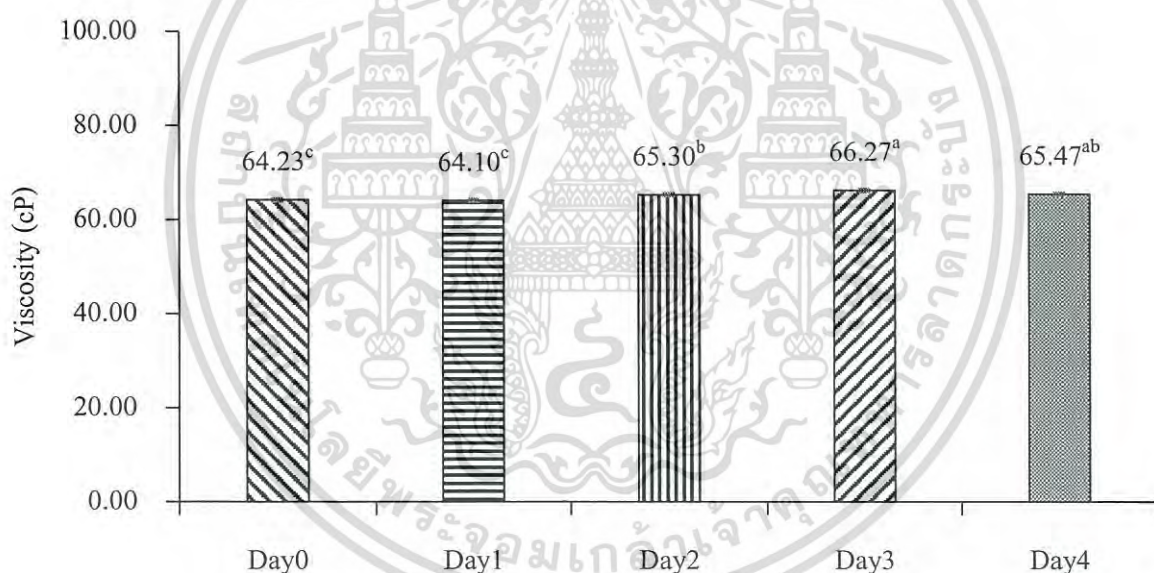
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์มทอดแล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้

### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันทอดเป็นเวลา 4 วัน

#### 4.2.1.1 ค่าความหนืด

จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มทอดแล้ว พบว่าผลของการทอดซ้ำต่อเนื่องเป็นระยะเวลาทั้งหมด 4 วัน โดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ใส่ลงไปมีผลต่อค่าความหนืด ทำให้ค่าความหนืดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เนื่องจากเมื่อน้ำมันผ่านกระบวนการทอด ความชื้นและออกซิเจนที่อยู่ภายในอาหารจะออกมาทำให้เกิดการออกซิเดชันของน้ำมัน และเกิดสารระเหยประเภทคาร์บอนิล กรดไฮดรอกซี กรดคีโตน และกรดอีพอกซี ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำและมีกลิ่นหืน โมเลกุลของน้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในสภาพไม่มีออกซิเจนและให้พอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลสูงหรือให้สารประกอบไซคลิกทำให้น้ำมันมีความหนืดสูงขึ้น (ถาวร อริยภุชชัย, 2550)



ภาพที่ 4.4 ค่าความหนืดของน้ำมันทอดแล้วเป็นเวลา 4 วัน

จากภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าค่าความหนืดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาทอดเพิ่มมากขึ้น โดยค่าความหนืดเริ่มต้น (วันที่ 0) อยู่ที่  $64.23 \pm 0.67$  cP และเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่  $65.47 \pm 0.57$  และ  $66.27 \pm 0.42$  cP ในวันที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Razali and Badri (2003) ได้ศึกษาการทอดมันฝรั่ง (french fries) ที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 64-65 ในน้ำมันถั่วเหลืองที่มีกรดลิโนเลอิกร้อยละ 54 และลิโนเลนิกร้อยละ 9 หลังจากการทอดเป็นเวลา 5 วัน พบว่ามันฝรั่งแห้งเหลือความชื้นร้อยละ 32-35 ในขณะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณสารประกอบโพลีเมอร์ในน้ำมันเริ่มต้นเป็นร้อยละ 0.84 แต่เมื่อทำการทอดเป็นเวลา 5 วัน ปริมาณสารประกอบโพลีเมอร์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 8.29 ส่งผลทำให้ความหนืดของน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น

#### 4.2.1.2 สี

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.1 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มที่ถูกทอดต่อเนื่อง 4 วัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีในแต่ละวันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) โดยค่าความสว่าง ( $L^*$ ) มีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้นวันที่ 0 มีค่าเท่ากับ  $98.80 \pm 0.05$  เมื่อทอดซ้ำต่อเนื่องโดยไม่เติมน้ำมันใหม่ผสมเป็นเวลา 4 วัน ค่าความสว่างลดลงเหลือ  $82.58 \pm 0.04$  การเปลี่ยนค่าความสว่างของน้ำมันส่งผลทำให้สีน้ำมันทอดมีสีที่เข้มขึ้นพิจารณาได้จากค่าสีแดง ( $a^*$ ) ที่มีค่าเพิ่มขึ้นจากวันที่ 1 เท่ากับ  $6.01 \pm 0.06$  เมื่อทอดซ้ำ 4 วัน มีค่าเท่ากับ  $6.85 \pm 0.02$  ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเป็นผลมาจากการใช้ความร้อน ความร้อนจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และ พอลิเมอไรเซชัน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเหล่านี้จะทำให้ค่าสีของน้ำมันทอดเปลี่ยนไปโดยเฉพาะหากมีการทอดซ้ำยังเป็นตัวเร่งในการเกิดปฏิกิริยา (Andrali et al. 2010 ; Choe and Min. 2007) และอาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม กระบวนการไฮโดรจิเนชันบางส่วน (partial hydrogenation) ในน้ำมันบริโภคมีผลต่อการลดแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุของสีแดงเหลืองที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม และความกระฉ่างของสี (Mounts. 1981)

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำมันทอดเป็นเวลา 4 วัน

วันที่	การเปลี่ยนแปลงของค่าสี		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$
0	$98.80 \pm 0.05^a$	$6.01 \pm 0.06^d$	$61.80 \pm 0.09^a$
1	$98.84 \pm 0.03^a$	$6.83 \pm 0.03^a$	$54.62 \pm 0.05^b$
2	$93.58 \pm 0.03^b$	$6.16 \pm 0.07^c$	$51.99 \pm 0.07^c$
3	$87.29 \pm 0.04^c$	$6.49 \pm 0.06^b$	$44.04 \pm 0.05^d$
4	$82.58 \pm 0.04^d$	$6.85 \pm 0.02^a$	$36.75 \pm 0.16^c$

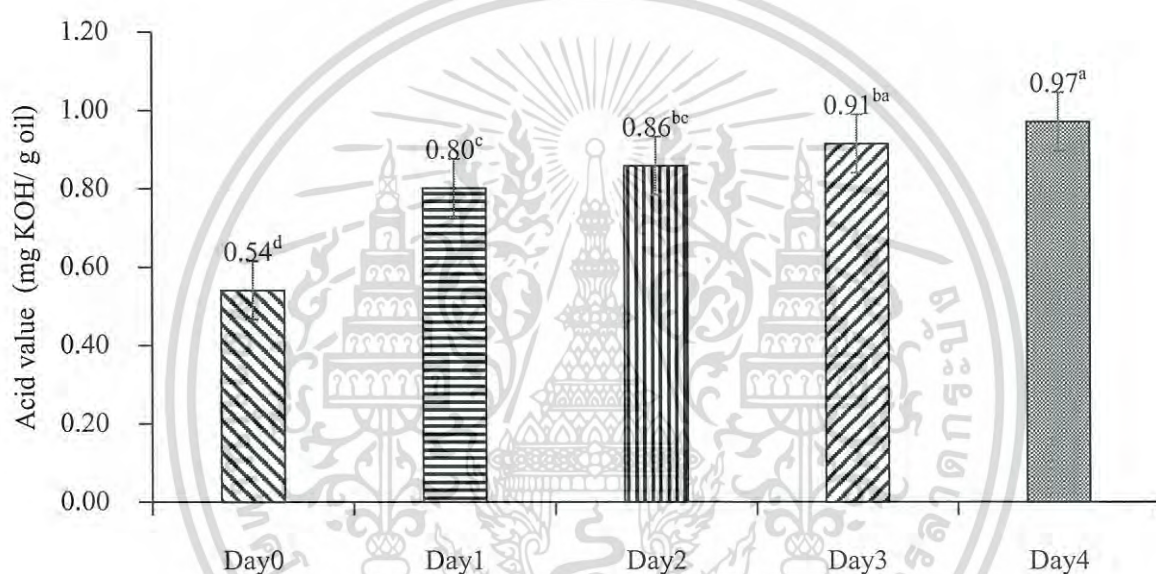
หมายเหตุ: <sup>a-c</sup> อักษรที่แตกต่างแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

#### 4.2.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันทอดแล้วเป็นเวลา 4 วัน

##### 4.2.2.1 ค่าความเป็นกรด

จากผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรดของน้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้มามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) โดยค่าสูงสุดอยู่ที่  $0.97 \pm 0.03$  มิลลิกรัม โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัม น้ำมัน (ภาพที่ 4.5) จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ. 2543 ว่าด้วยเรื่องน้ำมันและไขมัน กำหนดให้มีค่าความเป็นกรดได้ไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัมกรดไขมันอิสระต่อ 1 กรัม น้ำมัน อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัมสำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี ตัวอย่างน้ำมันปาล์มทอดที่นำมาวิเคราะห์มีค่าเกินมาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดนั้นถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ ผลผลิตเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ เมื่อเกิดกรดไขมันอิสระมากจะทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำมันสูงขึ้น จากงานวิจัยของ Diop et al. (2014) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของการทอดแบบน้ำมันท่วมต่อคุณภาพทางเคมีของน้ำมันพืชในระดับครัวเรือน พบว่าค่าความเป็นกรดของน้ำมันก่อนทอดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.33 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัมไขมัน ภายหลังจากการทอดปลา เนื้อ และมันฝรั่ง ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 1.08 0.73 และ 0.51 ตามลำดับ

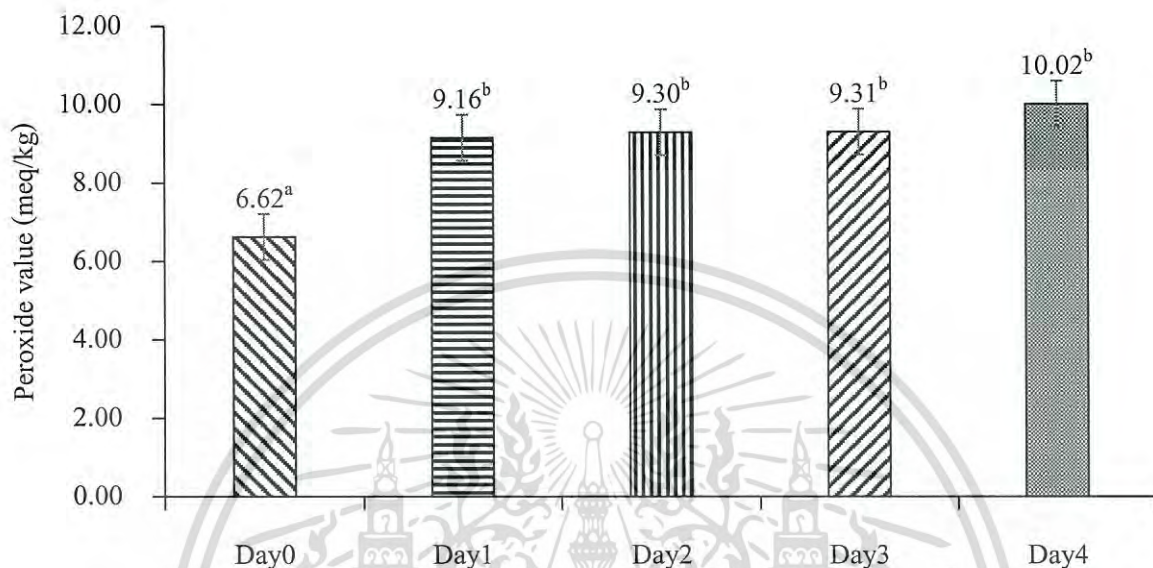


ภาพที่ 4.5 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดเป็นเวลา 4 วัน

#### 4.2.2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน จากผลการทดลองตัวอย่างน้ำมันปาล์มทอดแล้วเป็นเวลา 4 วัน มีค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้น (วันที่ 0) มีค่าเท่ากับ  $6.62 \pm 0.42$  มิลลิอิกควาเลนซ์ต่อกิโลกรัม และสูงสุด (วันที่ 4) เท่ากับ  $10.02 \pm 0.91$  มิลลิอิกควาเลนซ์ต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 4.6) ซึ่งพบว่าเกินมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ.2543 ว่าด้วยเรื่องน้ำมันและไขมัน กำหนดให้มีค่าเปอร์ออกไซด์ได้ไม่เกิน 10 มิลลิอิกควาเลนซ์ต่อกิโลกรัม การเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์เกิดจากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ผลิตภัณฑ์ขั้นแรกของปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งสามารถสังเกตการสลายตัวได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามจะมีบางส่วนของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่ไม่สลายและระเหยออกจากระบบเนื่องจากมีน้ำหนักรวม เช่น แอลดีไฮด์และคีโตน สารประกอบเหล่านี้จะก่อตัวกันเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Tsiadi et al. 2001) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Diop et al. (2014) พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นของน้ำมันใหม่ชนิด A B และ C มีค่าเท่ากับ 12.36 5.52 และ 6.08 มิลลิอิกวิวาเลนท์ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ภายหลังจากทอดปลา เนื้อ และมันฝรั่ง ค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

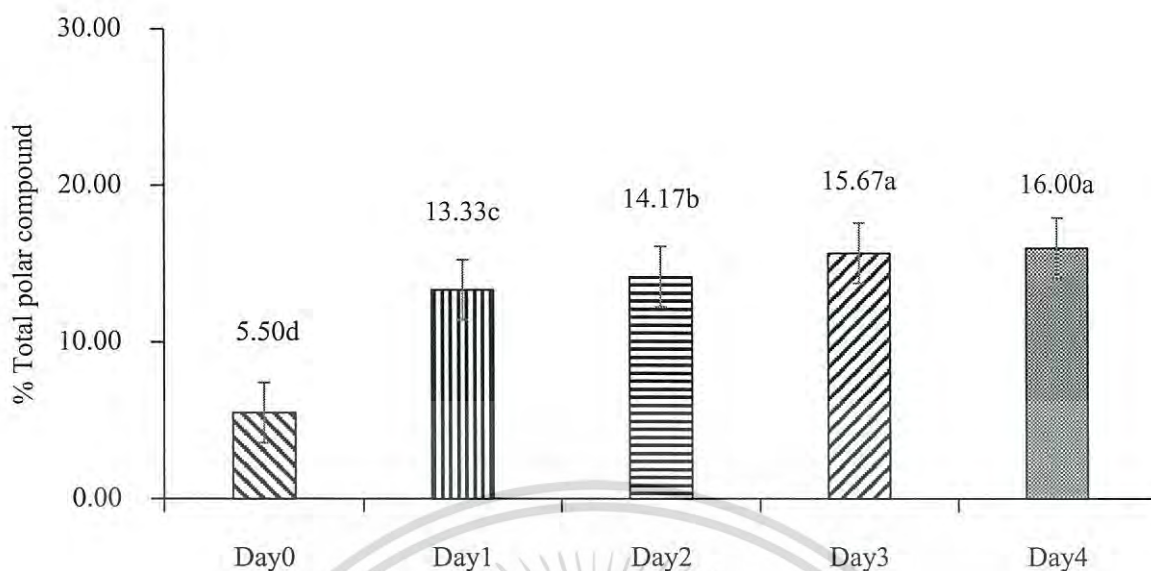


ภาพที่ 4.6 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดเป็นเวลา 4 วัน

#### 4.2.2.3 ค่าความเป็นขี้ว

จากผลการทดลอง ภาพที่ 4.7 แสดงถึงผลของการวิเคราะห์ค่าความเป็นขี้วของน้ำมันทอดแล้วเป็นเวลา 4 วัน พบว่าแต่ละวันของการทอดซ้ำมีผลต่อค่าความเป็นขี้วของน้ำมัน โดยค่าเริ่มต้น (วันที่ 0) มีค่าเท่ากับร้อยละ  $5.5 \pm 0.00$  และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สูงสุด (วันที่ 4) อยู่ที่ร้อยละ  $16 \pm 0.00$  ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283/2547 เรื่อง กำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย กำหนดให้มีปริมาณสารประกอบขี้วไม่เกินร้อยละ 25 Che-Man et al. (1998) และ Abdel-Razek et al. (2012) ได้อธิบายไว้ว่า การก่อตัวเพิ่มขึ้นของสารประกอบเป็นขี้วเกิดจากการสลายตัวของผลิตภัณฑ์ขั้นที่ 1 และ 2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 ค่าความเป็นขี้ของน้ำมันทอดแล้วเป็นเวลา 4 วัน

### 4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้อุณหภูมิกับน้ำมันทอดใช้แล้วเพื่อให้ได้น้ำมันที่บริสุทธิ์มากขึ้น

น้ำมันทอดที่ใช้ในศึกษาเป็นน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วมและผ่านการทอดต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน โดยไม่มีการผสมน้ำมันใหม่ลงไป ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนและหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ที่ระดับอุณหภูมิ 180 200 และ 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที ตามลำดับ ที่ความดันสุญญากาศ 0.7 บาร์ โดยมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

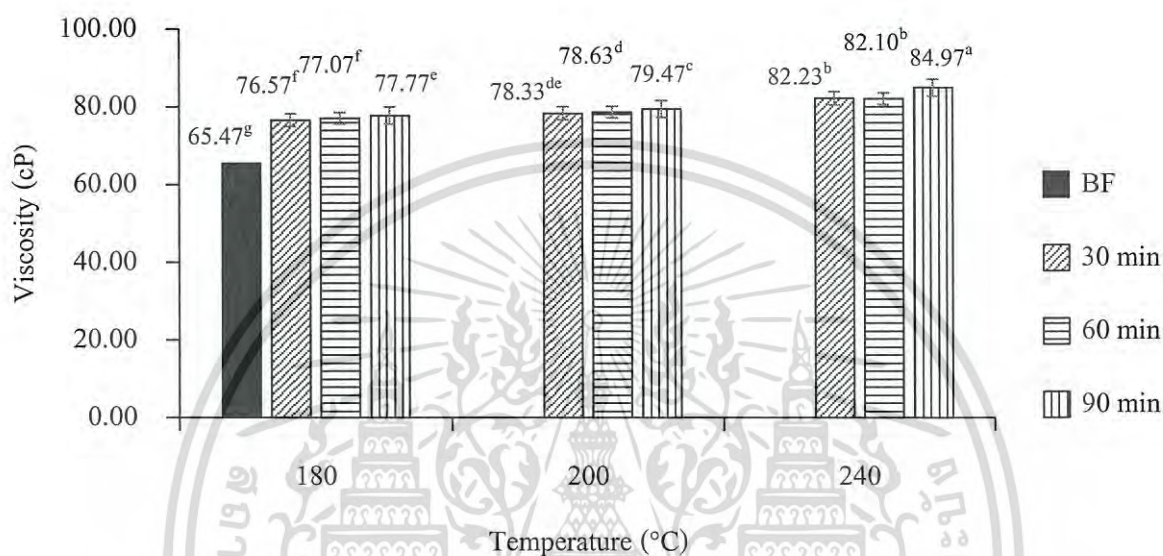
4.3.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้

#### 4.3.1.1 ค่าความหนืด

จากภาพที่ 4.8 แสดงถึงผลของค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างๆ พบว่าทั้งอุณหภูมิและเวลาที่ให้อุณหภูมิกับกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้มีผลทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) โดยค่าความหนืดที่ได้อยู่ในช่วง  $76.57 \pm 0.32$  ถึง  $84.97 \pm 0.05$  cP ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ (BF) พบว่า ค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการมีค่าเท่ากับ  $65.47 \pm 0.57$  cP ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าความหนืดหลังผ่านกระบวนการแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและเวลาในการให้อุณหภูมิกับกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้มีผลต่อความหนืดทำให้ค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนืดสูงขึ้น จากงานวิจัย Lang et al. (1992) และ Nouredini et al. (1992) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ (refined, bleached and deodorized: RBD) ค่าความหนืดของน้ำมันคาโนลาและน้ำมันพืชชนิดอื่นๆพบว่า อุณหภูมิในช่วง 24-110 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำมันเรฟลีดมีค่าความหนืดสูงขึ้นกว่า น้ำมันคาโนลา น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วเหลือง เป็นผลมาจากโครงสร้างเป็นกรดไขมันอิ่มตัวมากขึ้นมีการกำจัดสิ่งปลอมปนออกไปบางส่วน



ภาพที่ 4.8 ค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังจากกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ขาวภายใต้สภาวะสูญญากาศ 0.7 บาร์ (BF คือ น้ำมันทอดแล้วก่อนผ่านกระบวนการ)

#### 4.3.1.2 สี

การเปลี่ยนแปลงของสีเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายคุณภาพของน้ำมัน จากตารางที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังจากกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ขาว ผลการวิเคราะห์พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ระดับต่างๆที่ให้ไอน้ำกับกระบวนการมีผลต่อค่าสีของน้ำมันทอดใช้แล้วจะเห็นได้ว่าค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังจากกระบวนการมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง  $86.55 \pm 0.02$  ถึง  $75.45 \pm 0.01$   $4.12 \pm 0.01$  ถึง  $15.91 \pm 0.02$  และ  $75.42 \pm 0.03$  ถึง  $89.10 \pm 0.04$  ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าสีของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการพบว่า ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  มีค่าต่ำสุดคือ  $0.19 \pm 0.02$  และ  $72.26 \pm 0.07$  ตามลำดับและมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) สูงที่สุดเท่ากับ  $91.95 \pm 0.01$  EsKin (1979) ได้อธิบายไว้ว่าแคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุของสีแดง เหลืองที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม สารกลุ่มนี้จะมีควมไวต่อความร้อนจึงเกิดการสลายตัวได้ง่ายส่งผลทำให้ค่าสีแดง ( $a^*$ ) ของน้ำมันปาล์มใช้แล้วมีค่าลดลงจึงมีผลทำให้ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิสูงสุด 240 องศาเซลเซียส ค่าสีแดงกลับมีแนวโน้มเพิ่มสูง การเอ็กสารนี้เป็นเอ็กสารที่สวมนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอ็กสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้นของค่าสีแดง ( $a^*$ ) หลังกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ของน้ำมันทอดใช้แล้ว อาจเป็นผลจากการใช้อุณหภูมิที่สูงจึงเป็นตัวเร่งทำให้เกิดปฏิกิริยา browning แบบไม่ใช่เอนไซม์ เช่น เมลลาร์ด คาราเมล (Jamradloedluk et al. 2007)

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์

สภาวะ		การเปลี่ยนแปลงของค่าสี		
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	$L^*$	$a^*$	$b^*$
180	30	86.55±0.02 <sup>d</sup>	4.12±0.01 <sup>d</sup>	75.42±0.03 <sup>f</sup>
180	60	89.10±0.05 <sup>c</sup>	3.08±0.00 <sup>g</sup>	75.03±0.05 <sup>g</sup>
180	90	86.38±0.02 <sup>c</sup>	4.01±0.77 <sup>c</sup>	77.94±0.04 <sup>d</sup>
200	30	91.87±0.02 <sup>b</sup>	0.58±0.02 <sup>h</sup>	73.51±0.06 <sup>h</sup>
200	60	91.95±0.01 <sup>a</sup>	0.19±0.02 <sup>i</sup>	72.26±0.07 <sup>i</sup>
200	90	85.75±0.01 <sup>f</sup>	3.86±0.01 <sup>f</sup>	75.84±0.10 <sup>c</sup>
240	30	81.15±0.00 <sup>h</sup>	10.13±0.02 <sup>b</sup>	84.60±0.18 <sup>b</sup>
240	60	82.31±0.00 <sup>g</sup>	8.93±0.04 <sup>c</sup>	82.36±0.01 <sup>c</sup>
240	90	75.45±0.01 <sup>i</sup>	15.91±0.02 <sup>a</sup>	89.10±0.04 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: <sup>a-i</sup> อักษรที่แตกต่างแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

4.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันทอดใช้แล้วผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้

#### 4.3.2.1 ค่าความเป็นกรด

ค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ พบว่ามีค่าเท่ากับ  $0.97 \pm 0.03$  มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัมไขมัน (ภาพที่ 4.5) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.3 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทุกระดับอุณหภูมิและเวลา ผลที่ได้สอดคล้องกับเนื้อหาในหนังสือของ Bockish (1993) ได้กล่าวไว้ว่าอาจเป็นผลจากองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มทอดใช้แล้ว เพราะองค์ประกอบบางส่วนเป็นสารระเหยที่ระเหยยาก กรดไขมันอิสระจึงไม่สามารถระเหยออกจากระบบได้ด้วยความดันที่ต่ำ ดังนั้นอุณหภูมิและเวลาจึงไม่มีผลต่อค่ากรดไขมันอิสระ แต่ผลการทดลองตรงข้ามกับงานวิจัยของ Che et al. (1999) ได้ทำการศึกษาค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบและในน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Refined-Bleached-Deodorized: RBD) พบว่า กระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์สามารถลดค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบจากร้อยละ 3.0–6.5 ลดลงเหลือร้อยละ 0.07–0.6 ซึ่ง Crexi et al. (2009) ได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการศึกษากระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งของน้ำมันปลาจวด ที่สภาวะ 180 และ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 และ 120 นาที พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดของกระบวนการคือใช้อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 นาที และใช้ไอน้ำใส่ลงในน้ำมันร้อยละ 5 เมื่อเทียบจากมวลของน้ำมัน น้ำมันที่ได้เหลือปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.09 จากเดิมร้อยละ 3.02 ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยของ Crexi et al. (2009) เป็นการกำจัดกรดไขมันอิสระหลายกลไกในกระบวนการจึงสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงได้

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์

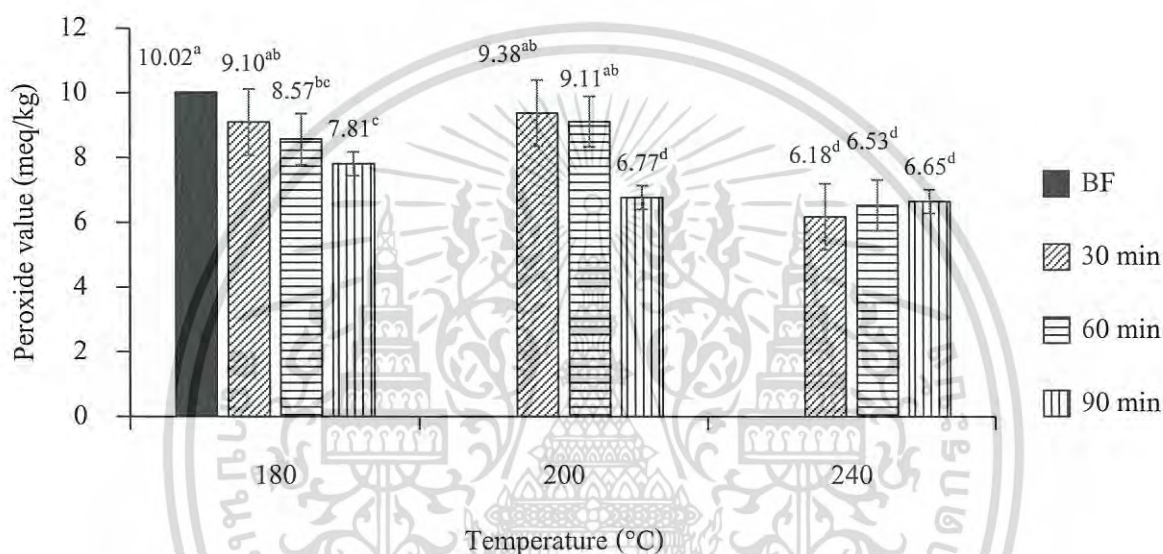
สภาวะ		ค่าความเป็นกรด
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	mg KOH/ g oil
180	30	1.12±0.00 <sup>ab</sup>
180	60	1.06±0.00 <sup>bcd</sup>
180	90	1.04±0.07 <sup>cd</sup>
200	30	1.10±0.03 <sup>be</sup>
200	60	1.06±0.00 <sup>bcd</sup>
200	90	1.01±0.04 <sup>de</sup>
240	30	1.17±0.06 <sup>a</sup>
240	60	1.01±0.00 <sup>de</sup>
240	90	0.97±0.03 <sup>c</sup>

หมายเหตุ: <sup>a-c</sup> อักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

#### 4.3.2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

จากผลการทดลองภาพที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันและสารประกอบมีขี้ผึ้ง ที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่างๆพบว่า อุณหภูมิและเวลาที่ให้ไอน้ำกับกระบวนการมีผลต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอด จะเห็นได้ว่าน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้ง มีค่าเปอร์ออกไซด์เท่ากับ  $10.02 \pm 0.91$  มิลลิอิกวิวาเลนท์ต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นว่าภายหลังผ่านกระบวนการน้ำมันทอดใช้แล้วมีค่าเปอร์ออกไซด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง  $6.18 \pm 0.20$  ถึง  $9.38 \pm 1.09$  มิลลิอิกวิวาเลนท์ต่อกิโลกรัม และจะสังเกตได้ว่าที่ระดับการให้ไอน้ำกับกระบวนการที่อุณหภูมิสูงสุด 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ได้มากที่สุดเหลือ  $6.18 \pm 0.20$  มิลลิอิกวิวาเลนท์ต่อกิโลกรัม ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tsiadi et al. (2001) ได้อธิบายไว้ว่า การสลายตัวของเปอร์ออกไซด์จะสามารถสังเกตการสลายตัวได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส ไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นแรกจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะถูกสลายและระเหยออกจากระบบ แต่อย่างไรก็ตามจะมีบางส่วนของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่ไม่สลายและระเหยออกจากระบบเนื่องจากมีน้ำหนักมาก เช่น แอลดีไฮด์และคีโตน สารประกอบเหล่านี้จะก่อตัวกันเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพื่อความชัดเจนของผลการทดลองจึงได้เพิ่มการวิเคราะห์ค่าแอนนิซิทินเพื่อทดสอบคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้



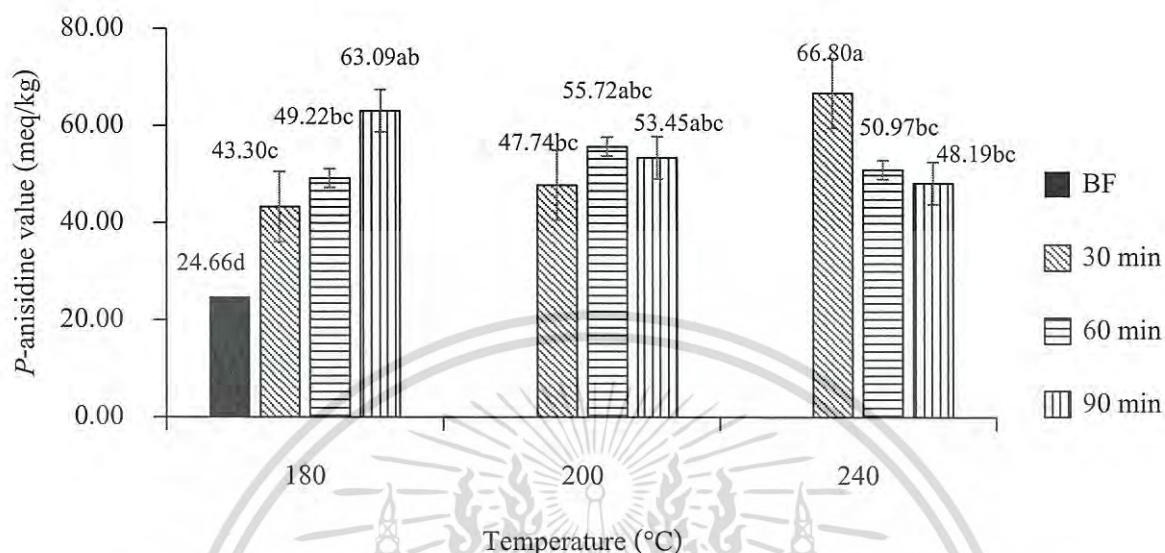
ภาพที่ 4.9 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์ (BF คือ น้ำมันทอดแล้วก่อนผ่านกระบวนการ)

#### 4.3.2.3 ค่าแอนนิซิทิน

การวิเคราะห์ค่าแอนนิซิทินเป็นการวัดการเกิดผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สลายตัวจากสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดใช้แล้วกลายเป็นสารประกอบพวกแอลดีไฮด์ และคีโตน จากภาพที่ 4.10 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าแอนนิซิทินของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนและหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้พบว่า ค่าแอนนิซิทินหลังผ่านกระบวนการไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ต่อการให้อุณหภูมิที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างๆ กล่าวคือที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างๆของการให้อุณหภูมิกับกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ยังไม่สามารถลดค่าแอนนิซิทินซึ่งเป็นค่าการวัดการเกิดผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน อาจเป็นเพราะผลผลิตภัณฑ์ขั้นหนึ่งของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันถูกกำจัดไม่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมดในระบบ จึงเกิดการสะสมเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่สอง ทำให้ที่สภาวะระดับอุณหภูมิและเวลาในการให้ไอน้ำกับกระบวนการของการทดลองไม่สามารถกำจัดผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

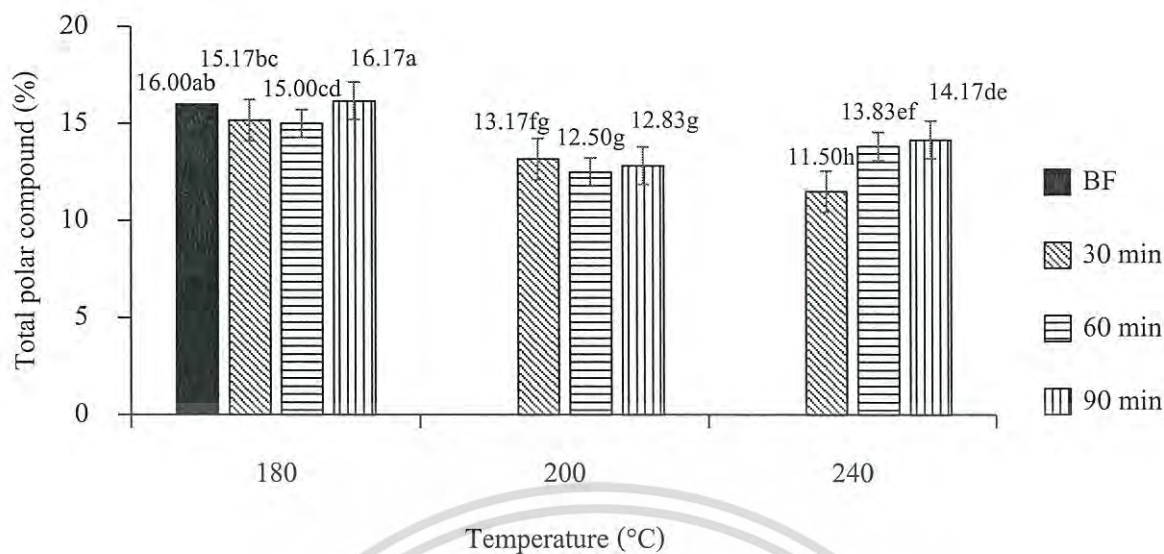


ภาพที่ 4.10 ค่าแอนนิซิดีนของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ขาวภายใต้สภาวะสูญญากาศ 0.7 บาร์ (BF คือ น้ำมันทอดแล้วก่อนผ่านกระบวนการ)

#### 4.3.2.4 ค่าความเป็นขี้

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นขี้ของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ขาว (ภาพที่ 4.11) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและเวลาที่ระดับต่างๆ ที่ใช้ให้ไอน้ำกับกระบวนการมีผลต่อค่าความเป็นขี้ของน้ำมันทอดใช้แล้วซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 11.50±0.00 ถึง 16.17±0.29 เมื่อพิจารณาผลการทดลองจะพบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาทีสามารถลดค่าความเป็นขี้ได้ถึงร้อยละ 11.50 จากร้อยละ 16 ก่อนการผ่านกระบวนการ Edwin (2012) ได้อธิบายไว้ว่าหลังกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ขาวค่าความเป็นขี้จะมีค่าลดลง เนื่องจากส่วนประกอบหลักสำคัญที่ถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายสุดในไตรกลีเซอไรด์คือ สารประกอบมีขี้ขาว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gomes et al. (2003) ได้ทำการศึกษาผลของกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ขาวของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ต่อการสลายตัวของปฏิกิริยาออกซิเดชันพบว่า น้ำมันถั่วเหลืองดิบ น้ำมันดอกทานตะวันดิบ และน้ำมันข้าวโพดดิบก่อนผ่านกระบวนการมีค่าความเป็นขี้เท่ากับร้อยละ 5.33 4.16 และ 6.76 ตามลำดับเมื่อผ่านกระบวนการค่าความเป็นขี้ลดลงเหลือร้อยละ 3.78 2.62 และ 4.18 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 ค่าความเป็นขี้ของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์ (BF คือ น้ำมันทอดก่อนผ่านกระบวนการ)

#### 4.4 ผลการศึกษาการนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้กลับไปใช้ใหม่

น้ำมันที่ใช้ศึกษาจะเลือกจากน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ที่สถานะเหมาะสมที่สุดในการให้อุณหภูมิกับกระบวนการซึ่งพิจารณาจากอุณหภูมิและระยะเวลาที่สามารถปรับปรุงคุณภาพ สี ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าความเป็นขี้ของน้ำมันทอดใช้แล้วให้ดีที่สุด (ค่าความหนืด ความเป็นกรด และแอนนิซิดีน ไม่ได้นำมาพิจารณาเนื่องจากค่าที่ได้ยังไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วให้ดีขึ้น) สถานะที่ได้คืออุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์ ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพสีให้น้ำมันทอดใช้แล้วมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) มากที่สุดเท่ากับ  $91.95 \pm 0.01$  ลดค่าเปอร์ออกไซด์ได้เท่ากับ  $9.11 \pm 0.41$  มิลลิอิกวิวาเลนท์ต่อกิโลกรัม และลดค่าความเป็นขี้ได้เท่ากับร้อยละ  $12.50 \pm 0.87$  โดยนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกลับไปทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมใหม่ด้วยอัตราส่วนน้ำมันที่ผ่านกระบวนการต่อมันฝรั่งแท่ง 4:1 (w/w) ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นทำการกรองและพักน้ำมันทอดทิ้งไว้ในภาชนะสเตนเลสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากครบ 24 ชั่วโมงทำการทอดกับมันฝรั่งแท่งชุดใหม่ โดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ใส่ลงไป ทอดซ้ำต่อเนื่องทั้งหมด 4 วันพบว่าคุณภาพทั้งทางกายภาพและเคมีของน้ำมันที่ผ่านกระบวนการแล้วนำกลับมาใช้ใหม่มีค่าลดลงตามระยะวันที่ทอด และทำการเก็บตัวอย่างมันฝรั่งแท่งภายหลังการทอดกับน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่เปรียบเทียบคุณภาพสี ปริมาณน้ำมันในมันฝรั่งแท่ง และลักษณะความชอบโดยรวมทางประสาทสัมผัสกับตัวอย่างมันฝรั่งแท่งที่ทอดกับน้ำมันก่อนผ่านกระบวนการ พบว่า จากตารางที่ 4.4 ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์หึ่งค่าสีและร้อยละของการดูดซับน้ำมันในมันฝรั่งแท่งทอดมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวคือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ทำให้ลักษณะทางกายภาพคือ สี และการดูดซับน้ำมันของมันฝรั่งแห้งทอดเปลี่ยนไป ค่าความสว่างของสีมันฝรั่งแห้งทอด ( $L^*$ ) ที่ทอดด้วยน้ำมันไม่ผ่านกระบวนการอยู่ที่  $67.62 \pm 0.02$  ถึง  $59.77 \pm 0.01$  ในขณะที่ทอดด้วยน้ำมันที่ผ่านกระบวนการมีค่าอยู่ที่  $66.79 \pm 0.02$  ถึง  $59.57 \pm 0.01$  อาจเป็นเพราะผลของอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ให้ไอน้ำกับกระบวนการที่สภาวะ 200 องศาเซลเซียส 30 นาที สามารถปรับปรุงคุณภาพสีน้ำมันทอดใช้แล้วให้มีค่าความสว่างมากที่สุด (ตารางที่ 4.2)

การดูดซับน้ำมันของมันฝรั่งแห้งทอดที่ทอดด้วยน้ำมันที่ไม่ผ่านกระบวนการมีค่าเท่ากับร้อยละ  $25.28 \pm 1.04$  ถึง  $28.80 \pm 0.59$  ในขณะที่ทอดด้วยน้ำมันที่ผ่านกระบวนการมีค่าเท่ากับร้อยละ  $21.87 \pm 0.47$  ถึง  $31.15 \pm 3.15$  ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Aguilera and Gloria (2000) ที่ได้ทำการศึกษาการดูดซับน้ำมันระหว่างการทอดมันฝรั่งแช่แข็ง โดยได้ทำการทอดมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 วินาที ในน้ำมันโคซา และน้ำมันมะพร้าว พบว่ามันฝรั่งที่ทอดด้วยน้ำมันโคซามีค่าการดูดซับน้ำมันอยู่ในช่วงร้อยละ 21.0 ถึง 28.2 ส่วนมันฝรั่งที่ทอดด้วยน้ำมันมะพร้าวมีค่าการดูดซับน้ำมันอยู่ในช่วงร้อยละ 22.8 ถึง 29.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันมีหลากหลายปัจจัยเช่น คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมัน องค์ประกอบของอาหาร ปริมาณความชื้น สารเคลือบผิว อุณหภูมิ และเวลา ซึ่งในงานวิจัยของ Saguy and Pinthus (1995) ได้ทำการศึกษาปัจจัยและกลไกที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันระหว่างการทอดได้อธิบายว่า อาหารที่มีองค์ประกอบเป็นแป้ง เซลลูโลส หรือ อนุพันธ์ของเซลลูโลสจะช่วยลดการดูดซับน้ำมันในอาหาร อีกทั้งมันฝรั่งแห้งที่ใช้เป็นตัวอย่งในการทอดมีคุณสมบัติในการเกิดเจลที่อุณหภูมิสูงหรือมีการเกิดพันธะเชื่อมข้ามทำให้เกิดเป็นสารเคลือบผิว ช่วยลดการดูดซับของน้ำมัน และการที่ผลของการดูดซับน้ำมันของมันฝรั่งแห้งของมันทั้ง 2 ชนิดไม่มีความแตกต่างกัน อาจเป็นเพราะองค์ประกอบของน้ำทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส 60 นาที สามารถปรับปรุงคุณภาพลดค่าเปอร์ออกไซด์ได้เท่ากับ  $9.11 \pm 0.41$  มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อกิโกรัม และลดค่าความเป็นขี้ได้เท่ากับร้อยละ  $12.50 \pm 0.87$  (ภาพที่ 4.6 และ 4.8)

ส่วนในด้านลักษณะความชอบโดยรวมทางประสาทสัมผัสของผู้ชิมทั้ง 30 คน พบว่ามันฝรั่งแห้งที่ทอดกับน้ำมันก่อนผ่านกระบวนการไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) กับมันฝรั่งแห้งที่ทอดกับน้ำมันหลังผ่านกระบวนการ (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันฝรั่งแห้งทอดระหว่างที่ใช้น้ำมันก่อนและหลังผ่านกระบวนการโดยผ่านการทอดซ้ำเป็นเวลา 4 วัน

คุณภาพของน้ำมันฝรั่ง	Non-deodorized oil				Deodorized oil			
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4
<i>L</i> *	67.62±0.02 <sup>a</sup>	64.04±0.01 <sup>b</sup>	58.50±0.04 <sup>c</sup>	59.77±0.01 <sup>d</sup>	66.79±0.02 <sup>e</sup>	66.17±0.03 <sup>f</sup>	64.19±0.02 <sup>g</sup>	59.57±0.01 <sup>h</sup>
<i>a</i> *	3.56±0.02 <sup>a</sup>	3.35±0.02 <sup>a</sup>	4.71±0.02 <sup>b</sup>	5.50±0.00 <sup>c</sup>	3.58±0.03 <sup>d</sup>	4.48±0.03 <sup>e</sup>	6.22±0.02 <sup>f</sup>	5.60±0.03 <sup>g</sup>
<i>b</i> *	22.56±0.01 <sup>c</sup>	21.09±0.04 <sup>c</sup>	18.46±0.02 <sup>b</sup>	20.80±0.01 <sup>f</sup>	21.18±0.05 <sup>d</sup>	23.35±0.03 <sup>b</sup>	25.44±0.08 <sup>a</sup>	21.16±0.08 <sup>de</sup>
ร้อยละการ ดูดซับน้ำมัน	25.28±1.04 <sup>c</sup>	23.00±0.86 <sup>cd</sup>	28.00±0.21 <sup>b</sup>	28.80±0.59 <sup>b</sup>	21.87±0.47 <sup>e</sup>	22.77±1.37 <sup>de</sup>	25.03±0.28 <sup>cd</sup>	31.15±3.15 <sup>a</sup>

หมายเหตุ: <sup>a-h</sup> อักษรที่แตกต่างในแนวนอนของน้ำมันแต่ละชนิดแสดงถึงคุณภาพของน้ำมันฝรั่งแห้งที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.5 ลักษณะความชอบโดยรวมทางประสาทสัมผัสของผู้ชิมทั้ง 30 คนต่อมันฝรั่งแห้งที่ทอดด้วยน้ำมันก่อนและหลังผ่านกระบวนการ เป็นเวลา 4 วัน

วันที่	คะแนนลักษณะความชอบโดยรวม	
	Non-deodorized oil	Deodorized oil
1	5.07±1.05 <sup>a</sup>	5.67±0.61 <sup>a</sup>
2	5.00±0.98 <sup>a</sup>	5.93±0.94 <sup>a</sup>
3	4.93±0.69 <sup>a</sup>	5.33±1.09 <sup>a</sup>
4	4.67±0.76 <sup>a</sup>	5.07±1.08 <sup>a</sup>

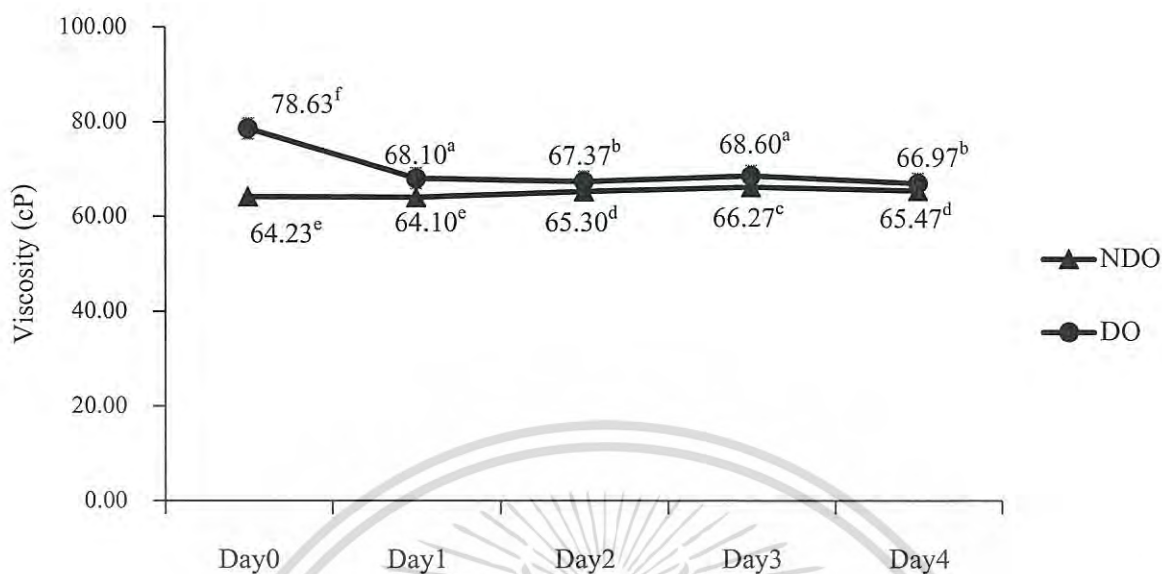
หมายเหตุ: <sup>a</sup> อักษรที่ไม่ต่างกันในแนวนอนของน้ำมันแต่ละชนิดแสดงถึงการใช้น้ำมันก่อนและหลังผ่านกระบวนการไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

#### 4.4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันกลับมาใช้ใหม่

##### 4.4.1.1 ค่าความหนืด

หลักจากได้นำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการ (Deodorized oil: DO) ที่สภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาทีกลับมาทอดกับมันฝรั่งแห้งใหม่ต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน โดยเปรียบเทียบคุณภาพกับน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการ (Non-deodorized oil: NDO) จากภาพที่ 4.12 พบว่าค่าความหนืดของน้ำมันที่ผ่านกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้นจากน้ำมันที่ยังไม่ผ่านกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 68.10±0.36 ถึง 66.97±0.38 cP คิดเป็นค่าเฉลี่ยค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการมีค่าเท่ากับ 65.28±0.89 cP ส่วนน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการมีค่าเท่ากับ 67.75±0.73 cP มีค่าต่างกันคิดเป็นร้อยละ 4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในระหว่างกระบวนการทอดไม่ว่าจะเป็นเกิดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หรือปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ล้วนทำให้เกิดการสลายตัวของน้ำมันเกิดสารที่ลดแรงตึงผิวขึ้นในน้ำมันจึงทำให้น้ำมันมีคุณสมบัติที่หนืดขึ้นและส่งผลกระทบต่อารดูดซับน้ำมันของอาหารมากยิ่งขึ้น (Pinthus and Saguy, 1994)

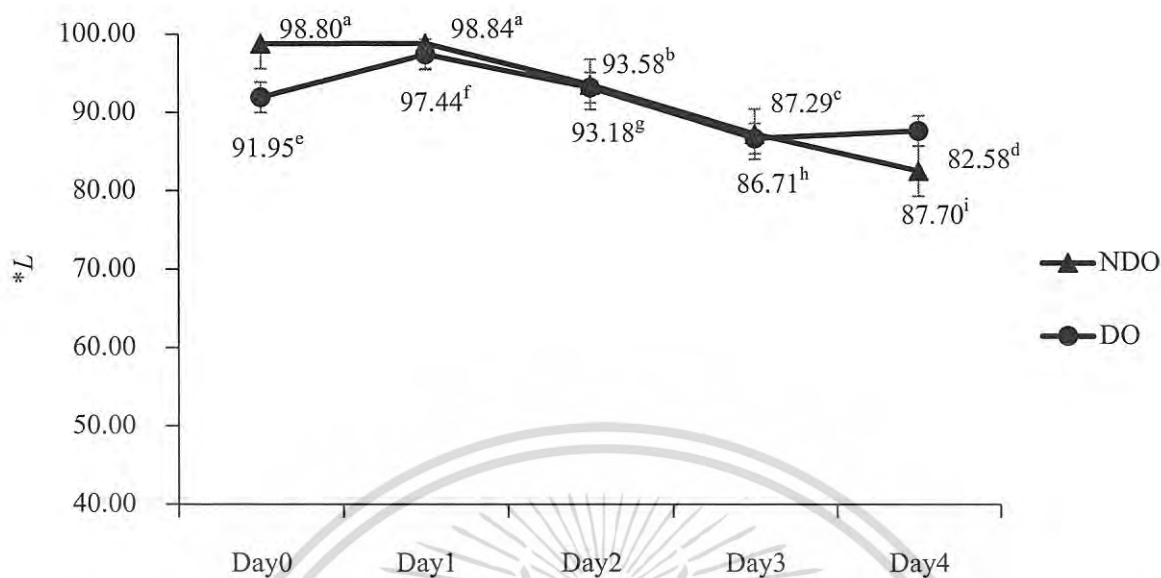
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



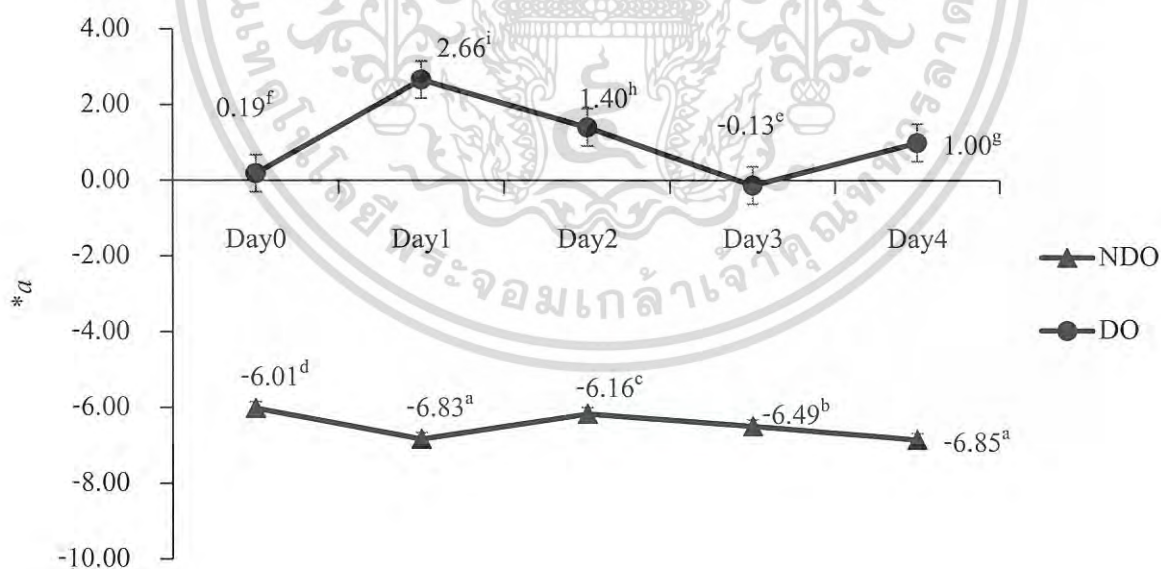
ภาพที่ 4.12 ค่าความหนืดของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน (NDO คือ น้ำมันทอดแล้วไม่ผ่านกระบวนการ และ DO คือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สถานะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์)

#### 4.4.1.2 คี

จากภาพที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 แสดงค่าสีความสว่าง ( $L^*$ ), ค่าสีแดง ( $a^*$ ) และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน โดยค่าที่ได้อยู่ในช่วง  $97.44 \pm 0.02$  ถึง  $87.70 \pm 0.01$ ,  $-0.33$  ถึง  $2.66$  และ  $77.44$  ถึง  $91.62$  ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์พบว่า การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการมีค่าความสว่างของน้ำมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการ การเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันทอดเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและโพลิโกเมอไรเซชันในระหว่างกระบวนการทอด ซึ่งสารประกอบจำพวกพอลิเมอไรต์และโพลิโกเมอไรต์จะทำให้เกิดสิ่งสกปรกตกค้างภายในหม้อเกิดเป็นคราบดำ ลดการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำมันกับอาหารและทำให้น้ำมันมีสีคล้ำลง (Lawson, 1995 ; Moreira et al. 1999 ; Orthofer and List. 2006b)

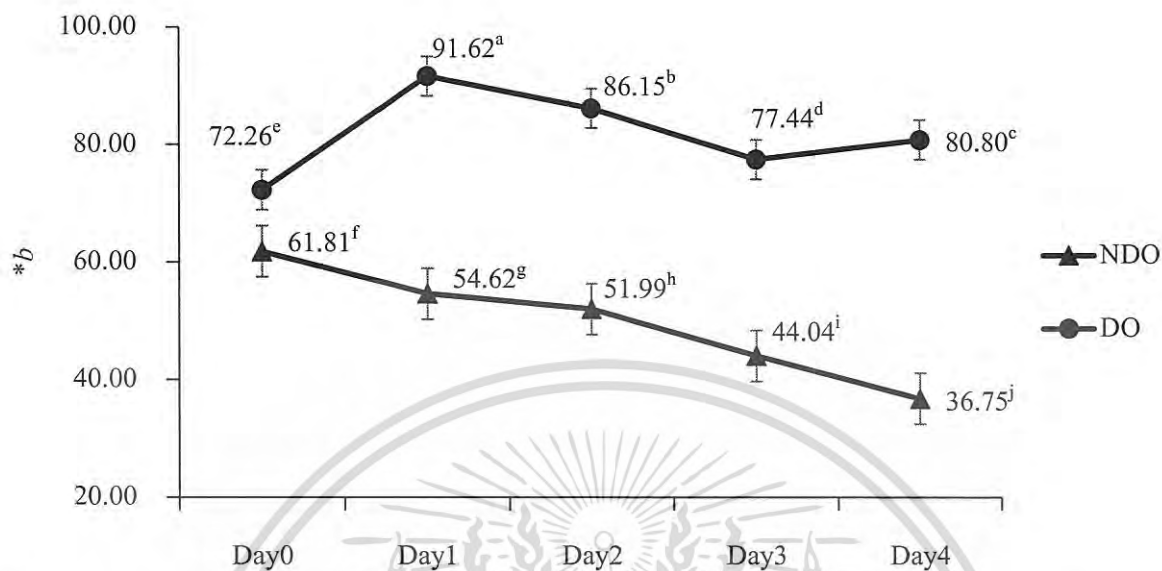


ภาพที่ 4.13 ค่าสี  $L^*$  ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน (NDO คือ น้ำมันทอดแล้วไม่ผ่านกระบวนการ และ DO คือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์)



ภาพที่ 4.14 ค่าสี  $a^*$  ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน (NDO คือ น้ำมันทอดแล้วไม่ผ่านกระบวนการ และ DO คือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

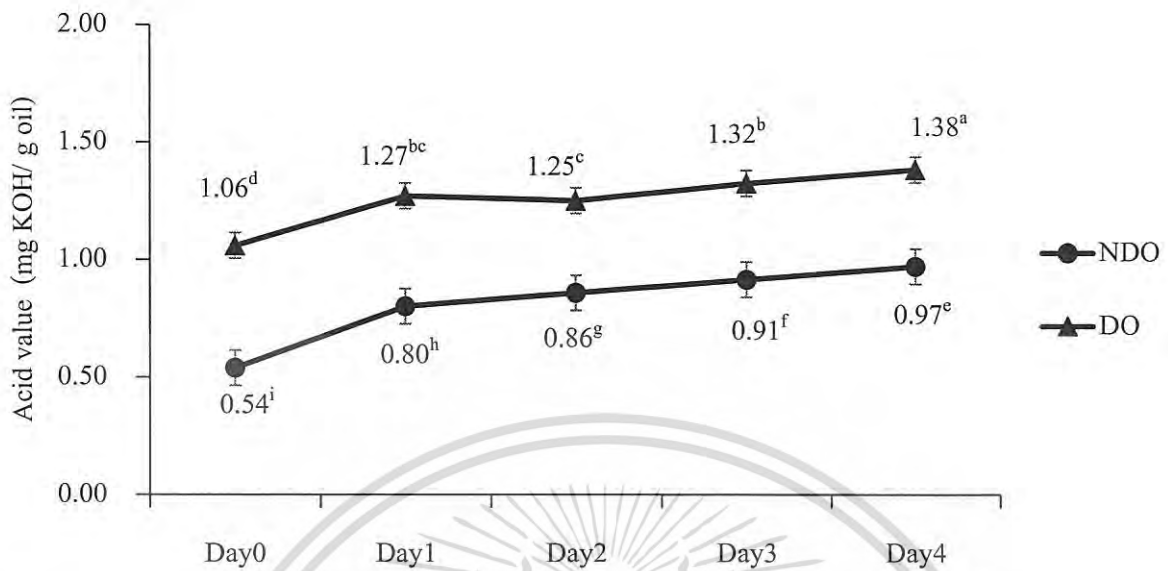


ภาพที่ 4.15 ค่าสี  $b^*$  ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน (NDO คือ น้ำมันทอดแล้วไม่ผ่านกระบวนการ และ DO คือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สภาวะสูญญากาศ 0.7 บาร์)

#### 4.4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันกลับมาใช้ใหม่

##### 4.4.2.1 ค่าความเป็นกรด

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดระหว่างน้ำมันก่อนผ่านกระบวนการและน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน จากภาพที่ 4.16 พบว่าค่าความเป็นกรดของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในช่วง  $1.27 \pm 0.03$  ถึง  $1.38 \pm 0.03$  มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัมไขมัน ซึ่งหากพิจารณาจากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 จะพบว่าค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการที่สภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีค่าเท่ากับ  $1.06 \pm 0.00$  มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัมไขมัน ซึ่งค่าความเป็นกรดไม่สามารถลดลงได้หลังผ่านกระบวนการจึงทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำมันกลับมาใช้ใหม่มีค่าสูงขึ้น และหากดูความชันของกราฟจะพบว่าทั้งน้ำมันที่ผ่านกระบวนการและน้ำมันที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการมีแนวโน้มค่าความเป็นกรดสูงขึ้นตามจำนวนวันที่ทอดมันฝรั่งแช่

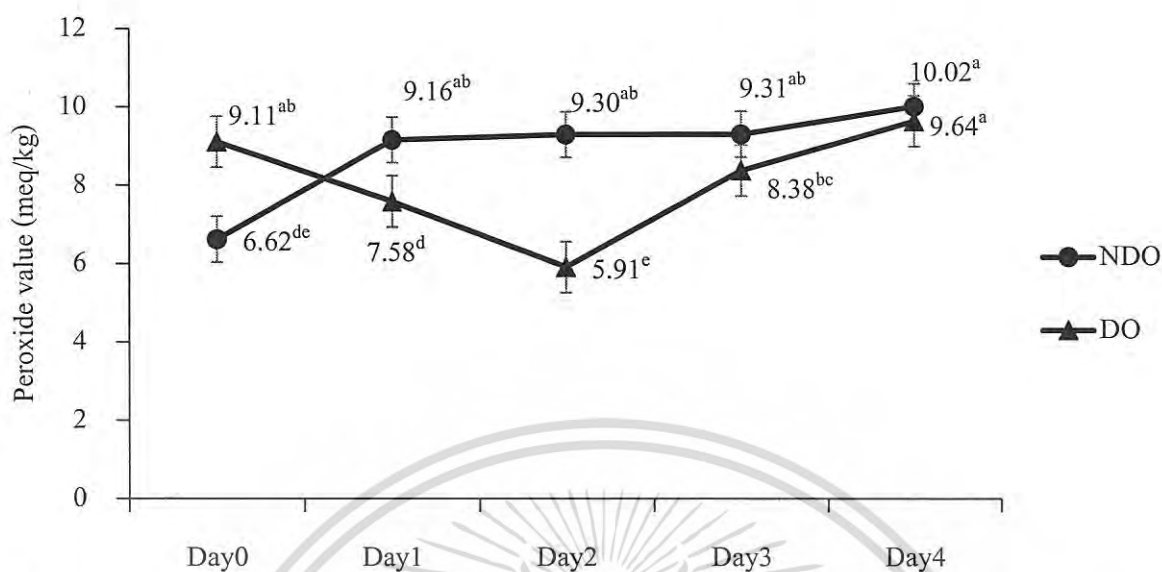


ภาพที่ 4.16 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน (NDO คือ น้ำมันทอดแล้วไม่ผ่านกระบวนการ และ DO คือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สภาวะสูญญากาศ 0.7 บาร์)

#### 4.4.2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

จากผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่มีค่าอยู่ในช่วง  $5.91 \pm 0.60$  ถึง  $9.64 \pm 0.31$  มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าน้อยกว่าน้ำมันที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) โดยมีอยู่ในช่วง  $9.16 \pm 0.82$  ถึง  $10.02 \pm 0.91$  มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 4.17) คิดค่าต่างกันได้ประมาณร้อยละ 20 เหตุที่ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดการเกิดผลิตภัณฑ์ขั้นที่ 1 จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (primary product) สามารถลดลงได้เยอะ สันนิษฐานว่าอาจมาจากสภาวะการให้อุณหภูมิกับกระบวนการที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาทีที่สามารถปรับปรุงคุณภาพให้น้ำมันทอดใช้แล้วมีค่าเปอร์ออกไซด์ลดลงจากเดิม  $10.02 \pm 0.91$  มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อกิโลกรัม ได้เท่ากับ  $9.11 \pm 0.41$  มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 4.9) จากมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ.2543 ว่าด้วยเรื่องน้ำมันและไขมัน กำหนดให้มีค่าเปอร์ออกไซด์ได้ไม่เกิน 10 มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อกิโลกรัม พบว่าน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่องแช่ต่อเนื่องระยะ 4 วัน ค่าไม่เกินมาตรฐาน ทั้งนี้แต่หากจะนำไปใช้ทอดซ้ำอีกควรพิจารณาคุณภาพทางเคมีและกายภาพค่าอื่นๆด้วย

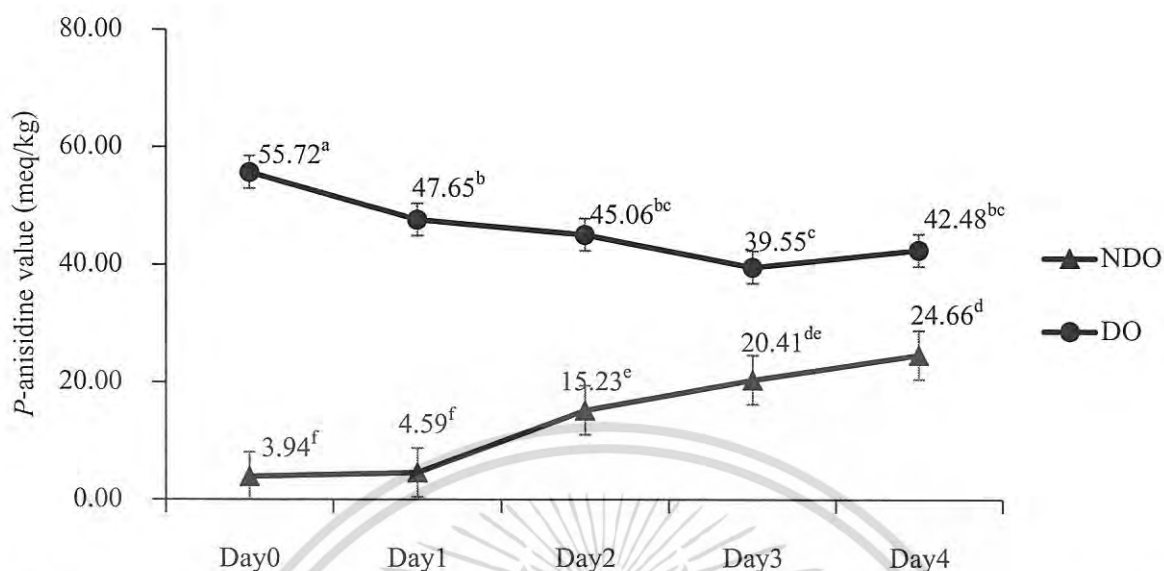
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.17 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน (NDO คือ น้ำมันทอดแล้วไม่ผ่านกระบวนการ และ DO คือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สภาวะสูญญากาศ 0.7 บาร์)

#### 4.4.2.3 ค่าแอนิซิดิน

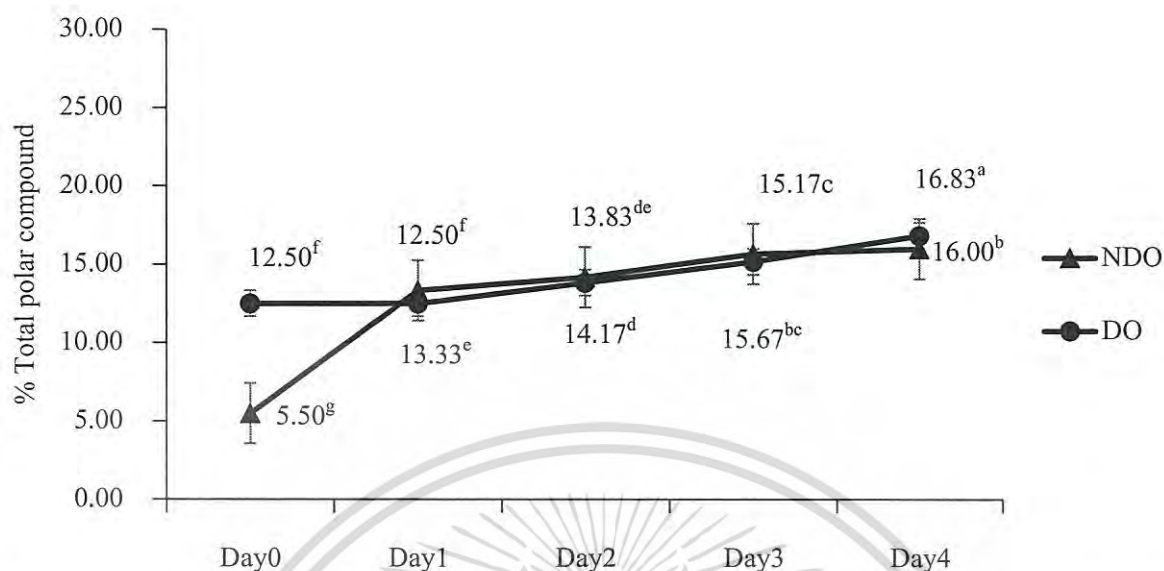
จากภาพที่ 4.18 แสดงค่าแอนิซิดินของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน โดยค่าที่ได้มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ  $47.65 \pm 1.84$  มิลลิอิกวิวาเลนที่ต่อกิโกรัม ซึ่งมีความมากกว่าน้ำมันที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการที่มีค่าเท่ากับ  $4.59 \pm 1.06$  มิลลิอิกวิวาเลนที่ต่อกิโกรัม ซึ่งหากพิจารณาจากผลการทดลองในภาพที่ 4.10 จะพบว่าค่าแอนิซิดินของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการที่สภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีค่าเท่ากับ  $55.72 \pm 10.44$  มิลลิอิกวิวาเลนที่ต่อกิโกรัม ซึ่งค่าแอนิซิดินไม่สามารถลดลงได้หลังผ่านกระบวนการจึงทำให้ค่าแอนิซิดินของน้ำมันกลับมาใช้ใหม่มีค่าสูงขึ้น และหากดูความชันของกราฟจะพบว่าทั้งน้ำมันที่ผ่านกระบวนการและน้ำมันที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการมีแนวโน้มค่าแอนิซิดินสูงขึ้นตามจำนวนวันที่ทอดมันฝรั่งแช่



ภาพที่ 4.18 ค่าแอนนิซิดีนของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน (NDO คือ น้ำมันทอดแล้วไม่ผ่านกระบวนการ และ DO คือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สถานะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สถานะสุญญากาศ 0.7 บาร์)

#### 4.4.2.4 ค่าความเป็นขี้

ค่าความเป็นขี้โดยมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283/2547 เรื่อง กำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย กำหนดให้มีปริมาณสารประกอบมีขี้ไม่เกินร้อยละ 25 จากผลการวิเคราะห์ภาพที่ 4.19 แสดงค่าความเป็นขี้ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วันพบว่า ค่าความเป็นขี้ในช่วงระยะทอดซ้ำ 4 วัน ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานค่าที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ  $12.50 \pm 0.50$  ถึง  $16.83 \pm 0.76$  โดยเมื่อพิจารณาค่าความเป็นขี้ทั้งน้ำมันที่ยังไม่ผ่านกระบวนการและน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่มีแนวโน้มสูงขึ้นตามจำนวนวันที่ทอด



ภาพที่ 4.19 ค่าความเป็นขี้ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน (NDO คือ น้ำมันทอดแล้วไม่ผ่านกระบวนการ และ DO คือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สภาวะสูญญากาศ 0.7 บาร์)

#### 4.5 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้

ตัวอย่างน้ำมันที่นำมาวิเคราะห์คือน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ทุกระดับอุณหภูมิและเวลา คือ 180, 200 และ 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที โดยเก็บตัวอย่างน้ำมันเป็นระยะเวลา 15 วัน และตลอดอายุการเก็บรักษาจะนำตัวอย่างน้ำมันมาวิเคราะห์ค่าทางเคมีและกายภาพทุกๆ 5 วัน

##### 4.5.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้

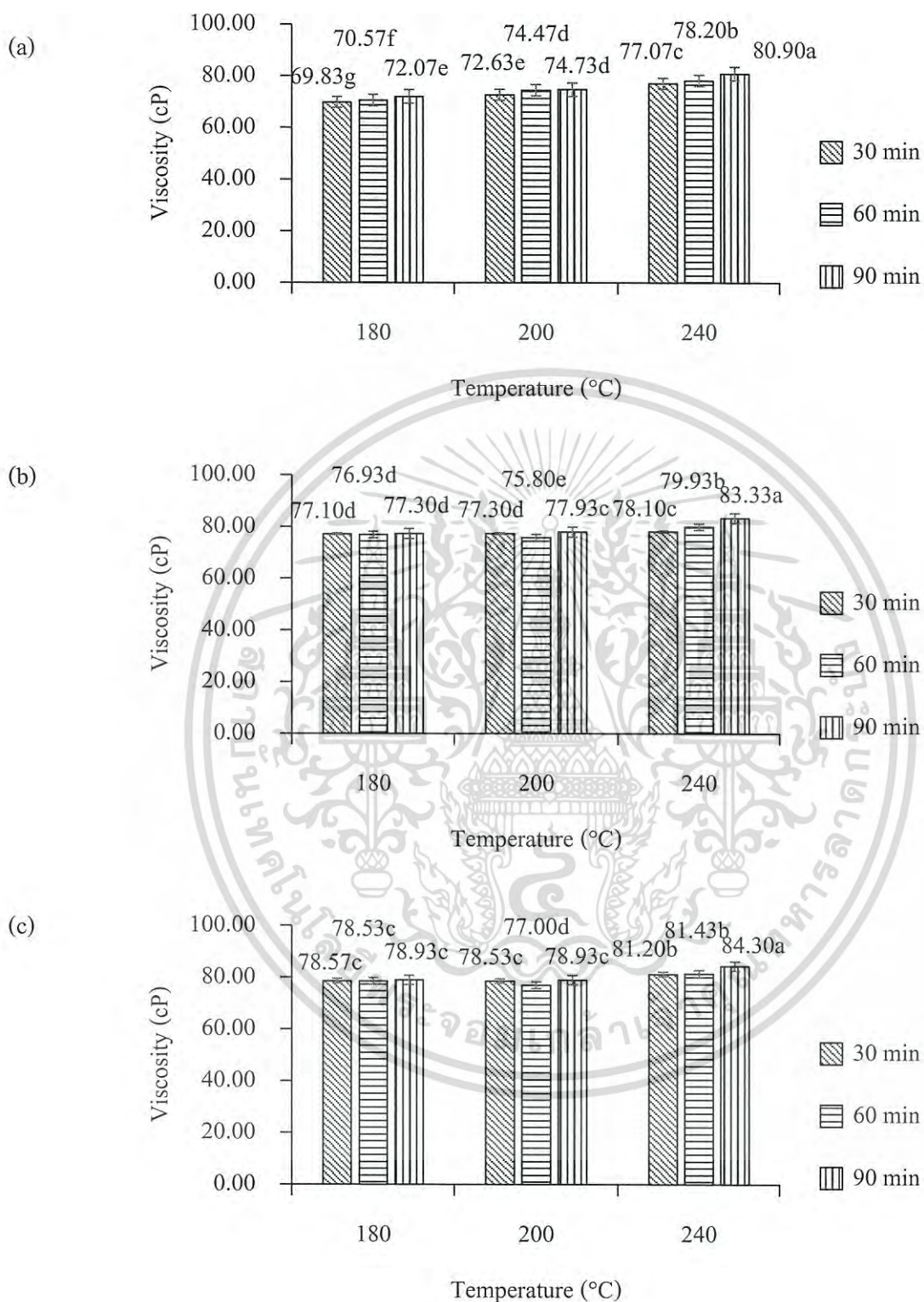
จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วันมีผลต่อค่าความหนืดและสีของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) จากภาพที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาหรือจำนวนวันในการเก็บเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนืดของน้ำมันทุกสภาวะการทดลองก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยที่น้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นช้าสุดค่าที่ได้อยู่ที่  $69.83 \pm 0.49$ ,  $77.10 \pm 0.20$  และ  $78.57 \pm 0.32$  cP ในวันที่ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะอุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ค่าความหนืดจะเพิ่มเร็วสุดค่าที่ได้อยู่ที่  $80.90 \pm 0.50$ ,  $83.33 \pm 0.49$  และ  $84.30 \pm 0.26$  cP ในวันที่ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ ส่วนค่าสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการ จากตารางที่ 4.6 แสดงค่าสี ( $L^*$ ,  $b^*$  และ  $a^*$ ) ของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการต่ออายุการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 5, 10 และ 15 วัน พบว่า ค่า  $L^*$  และ  $a^*$  ไม่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่อช่วงอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน ส่วนค่า  $b^*$  มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงวันที่ 15 ของน้ำมันที่สภาวะอุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส การที่ค่าสีของน้ำมันไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอาจเนื่องมาจากสภาวะในการเก็บรักษาเก็บในที่มืดจึงลดการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำมัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.20 ค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์ ต่ออายุการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 5, 10 และ 15 วัน (a, b และ c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าสี ( $L^*$ ,  $b^*$  และ  $a^*$ ) ของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์ ต่ออายุการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 5, 10 และ 15 วัน

Day	Temp. (°C)	Time (min)	$L^*$	$a^*$	$b^*$
5	180	30	83.89±0.01 <sup>a</sup>	3.54±0.02 <sup>a</sup>	71.44±0.06 <sup>c</sup>
		60	86.85±0.01 <sup>b</sup>	0.01±0.03 <sup>b</sup>	66.67±0.09 <sup>b</sup>
		90	85.26±0.01 <sup>c</sup>	2.42±0.04 <sup>c</sup>	71.32±0.06 <sup>c</sup>
	200	30	87.71±0.01 <sup>d</sup>	0.42±0.01 <sup>d</sup>	67.75±0.04 <sup>c</sup>
		60	87.13±0.01 <sup>e</sup>	-0.96±0.01 <sup>e</sup>	61.83±0.04 <sup>a</sup>
		90	85.38±0.01 <sup>f</sup>	3.08±0.04 <sup>f</sup>	72.44±0.06 <sup>c</sup>
	240	30	82.24±0.01 <sup>g</sup>	7.18±0.01 <sup>g</sup>	79.14±0.07 <sup>h</sup>
		60	82.39±0.01 <sup>h</sup>	7.54±0.02 <sup>h</sup>	80.18±0.04 <sup>h</sup>
		90	77.29±0.01 <sup>i</sup>	13.54±0.02 <sup>i</sup>	87.44±0.20 <sup>i</sup>
10	180	30	84.54±0.01 <sup>a</sup>	2.64±0.04 <sup>a</sup>	71.00±0.06 <sup>c</sup>
		60	86.26±0.01 <sup>b</sup>	0.10±0.01 <sup>b</sup>	66.90±0.03 <sup>b</sup>
		90	85.17±0.01 <sup>c</sup>	2.16±0.02 <sup>c</sup>	71.36±0.06 <sup>c</sup>
	200	30	87.43±0.03 <sup>d</sup>	0.01±0.02 <sup>d</sup>	67.73±0.05 <sup>c</sup>
		60	87.22±0.02 <sup>e</sup>	0.16±0.01 <sup>e</sup>	72.81±0.05 <sup>a</sup>
		90	85.17±0.01 <sup>f</sup>	3.19±0.02 <sup>f</sup>	72.81±0.05 <sup>c</sup>
	240	30	80.13±0.02 <sup>g</sup>	7.31±0.02 <sup>g</sup>	76.20±0.06 <sup>g</sup>
		60	82.04±0.00 <sup>h</sup>	7.06±0.02 <sup>h</sup>	78.53±0.14 <sup>g</sup>
		90	77.18±0.01 <sup>i</sup>	13.22±0.02 <sup>i</sup>	86.96±0.02 <sup>i</sup>
15	180	30	84.76±0.03 <sup>a</sup>	2.77±0.03 <sup>a</sup>	72.44±0.01 <sup>c</sup>
		60	86.26±0.02 <sup>b</sup>	0.51±0.01 <sup>b</sup>	68.90±0.01 <sup>d</sup>
		90	85.32±0.01 <sup>c</sup>	1.80±0.02 <sup>c</sup>	71.89±0.03 <sup>c</sup>
	200	30	88.00±0.01 <sup>d</sup>	-0.46±0.03 <sup>d</sup>	67.93±0.10 <sup>b</sup>
		60	87.67±0.11 <sup>c</sup>	-0.14±0.01 <sup>e</sup>	73.79±0.04 <sup>f</sup>
		90	85.26±0.01 <sup>f</sup>	2.96±0.03 <sup>f</sup>	73.53±0.05 <sup>f</sup>
	240	30	81.85±0.02 <sup>g</sup>	7.79±0.01 <sup>g</sup>	81.39±0.02 <sup>h</sup>
		60	81.68±0.01 <sup>h</sup>	6.99±0.01 <sup>h</sup>	79.25±0.03 <sup>h</sup>
		90	77.00±0.01 <sup>i</sup>	13.62±0.03 <sup>i</sup>	88.07±0.14 <sup>i</sup>

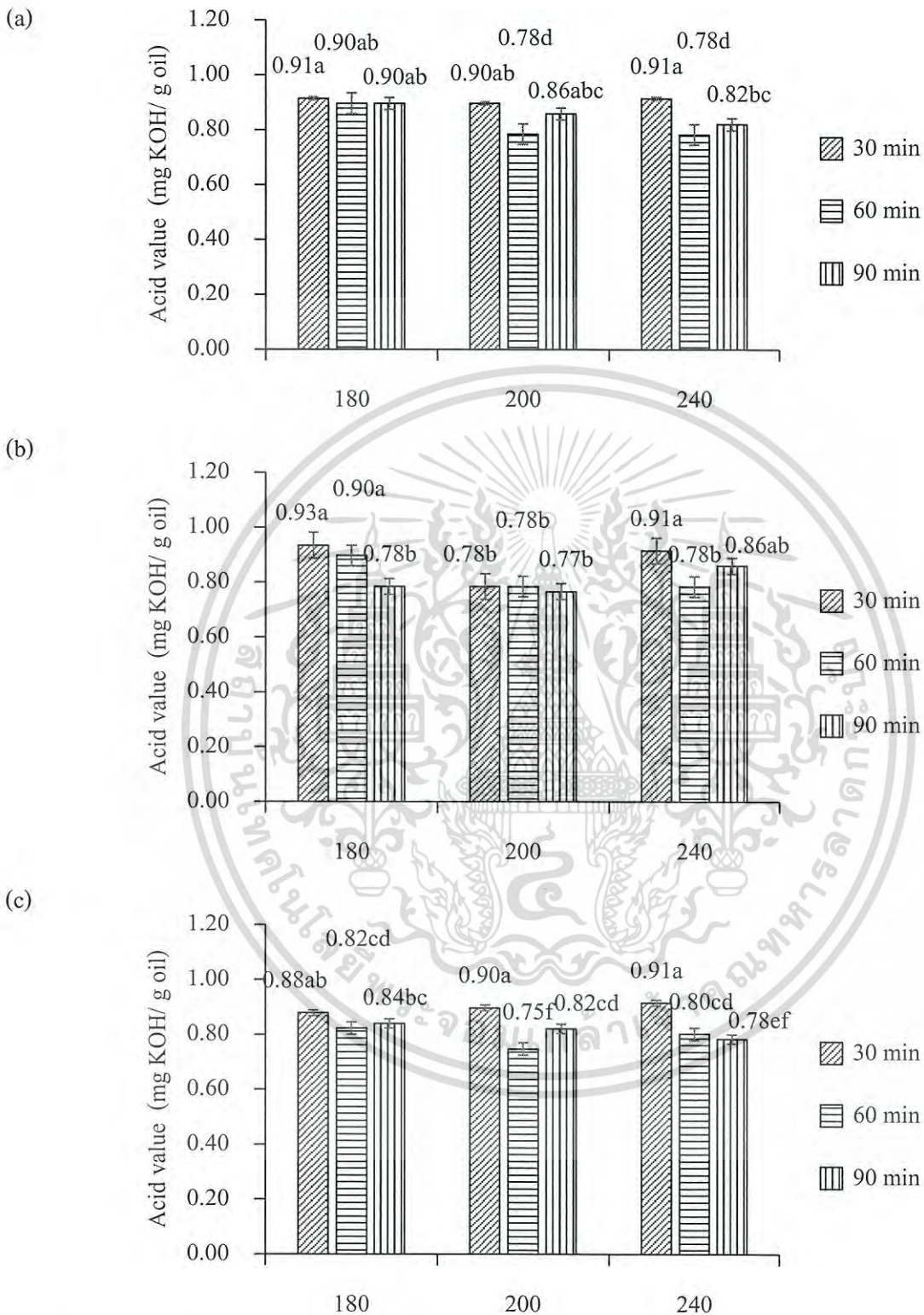
หมายเหตุ: <sup>a-i</sup> อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ และสารประกอบมีขี้

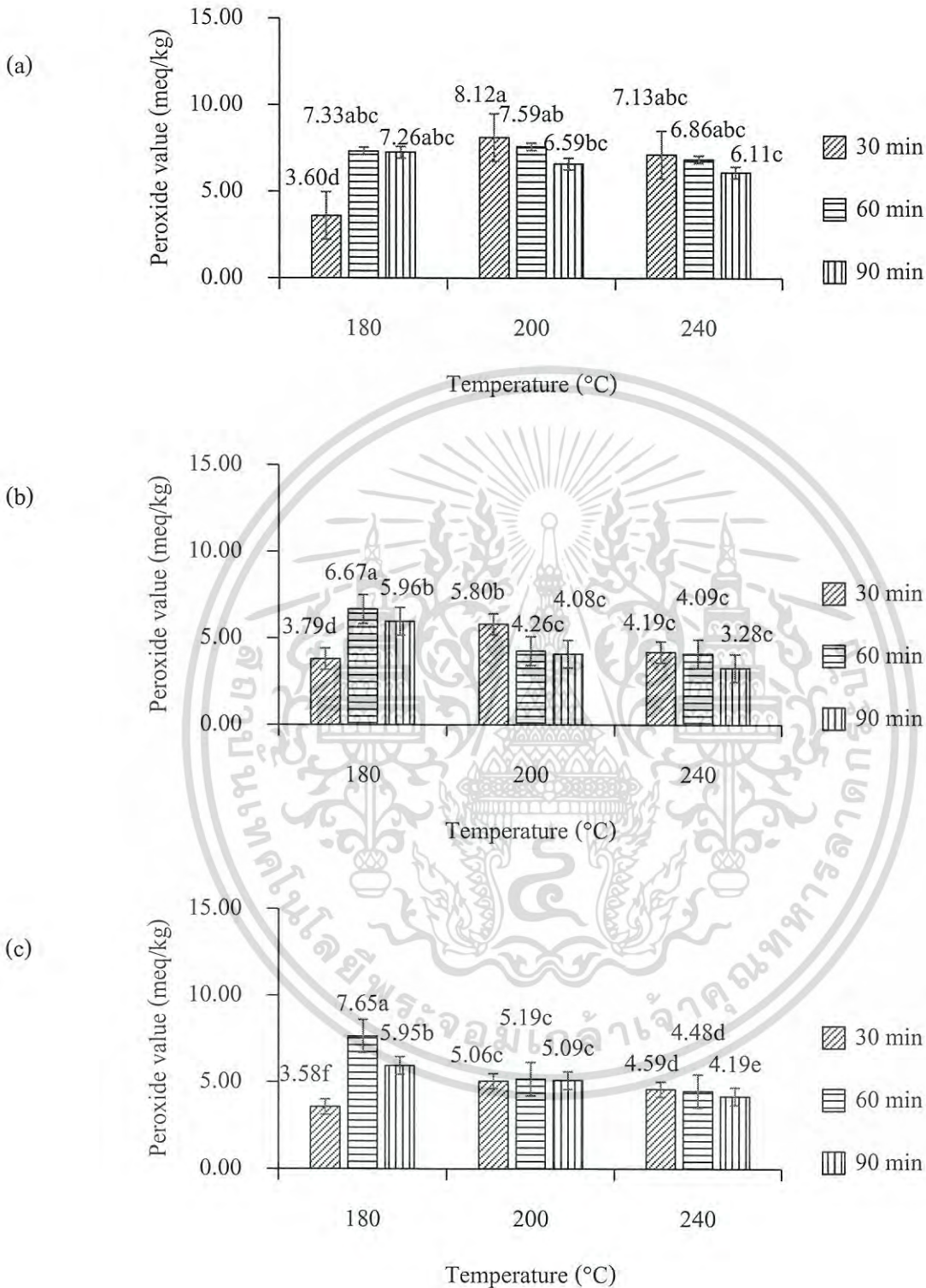
จากผลการทดลองการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าแอนนิซิดินพบว่าอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วันมีผลต่อค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าแอนนิซิดิน อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อพิจารณาแนวโน้มค่าที่วิเคราะห์ได้ของทั้ง 3 ค่า จะพบว่าทุกช่วงอุณหภูมิและเวลาของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการการมีค่าความเป็นกรดและค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นใน 10 วันแรก หลังจากนั้นค่าจะลดลงในวันที่ 15 การเพิ่มขึ้นลดลงของค่าความเป็นกรดและค่าเปอร์ออกไซด์อาจเป็นเพราะกรดไขมันอิสระและสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่ 1 (primary product) ของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งในขั้นนี้จะเกิดปฏิกิริยาแบบทวีคูณ (propagation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดอนุมูลอิสระ เกิดการทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวตัวใหม่ได้เป็นสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ตัวใหม่ ซึ่งโดยธรรมชาติแล้ว สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นสารไม่เสถียร ไม่มีความคงตัว จึงสามารถแตกตัวกลับไปเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาลูกโซ่ใหม่ได้อีกครั้ง จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าความเป็นกรดและค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นลดลง จากมาตรฐานประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ.2543 ว่าด้วยเรื่องน้ำมันและไขมัน กำหนดให้มีค่าความเป็นกรดได้ไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัมสำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี และค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน 10 มิลลิอิกวิวาเลนตต่อกิโลกรัม จากภาพที่ 4.21 และ 4.22 พบว่าค่าความเป็นกรดเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ตั้งแต่ 5 วันแรกในการเก็บรักษา ในขณะที่ค่าเปอร์ออกไซด์ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในด้านค่าแอนนิซิดินจากภาพที่ 4.23 พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าแอนนิซิดินจะมีค่าเพิ่มขึ้นใน 10 วันแรกและจะมีค่าลดลงในวันที่ 15 การลดลงของค่าแอนนิซิดิน อาจเป็นผลจากการสลายตัวของผลิตภัณฑ์ขั้นที่ 2 (secondary product) ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีผลทำให้คุณภาพของน้ำมันมีค่าต่ำลง เช่น การเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดในน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



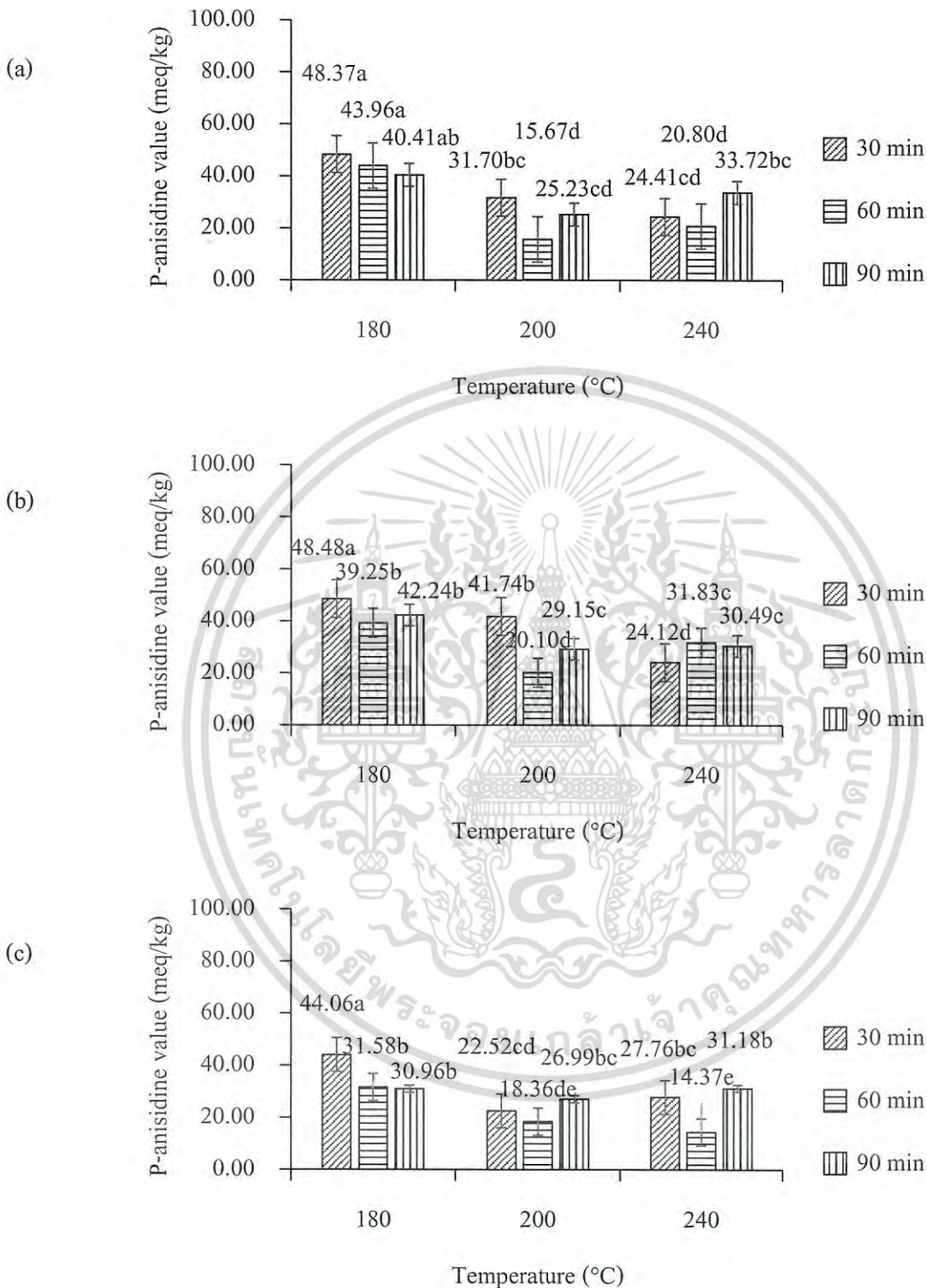
ภาพที่ 4.21 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์ ต่ออายุการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 5, 10 และ 15 วัน (a, b และ c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.22 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์ ต่ออายุการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 5, 10 และ 15 วัน (a, b และ c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.23 ค่าแอนิซิดินของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์ ต่ออายุการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 5, 10 และ 10 (a, b และ c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มใช้แล้ว โดยใช้กระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ว โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ว (non-deodorized oil: NDO) พบว่า น้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วที่ใช้ทอดตัวอย่างมันฝรั่งแช่ต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน โดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ใส่ลงมีการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านคุณภาพทางเคมีและคุณภาพทางกายภาพอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) โดยทางด้านเคมีคือ ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าความเป็นขี้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่ทอดสูงสุดอยู่ที่วันที่ 4 ส่วนทางด้านกายภาพคือค่าสี มีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ของลดลงตามจำนวนวันที่ทอด และค่าเหนียวของน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่ทอดเช่นเดียวกัน

การศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ไอน้ำกับน้ำมันทอดใช้แล้วเพื่อให้ได้น้ำมันที่บริสุทธิ์มากขึ้น โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะการให้ไอน้ำกับกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 180, 200 และ 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ พบว่าหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วของน้ำมันทอดใช้แล้ว (deodorized oil: DO) กระบวนการสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มใช้แล้วให้ดีขึ้น โดยสามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์, ค่าความเป็นขี้ว และอีกยังทั้งช่วยเพิ่มความสว่างของสีให้แก่ น้ำมันปาล์มใช้แล้ว สภาวะอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการของตัวอย่างน้ำมันปาล์มใช้แล้วคืออุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพสีให้น้ำมันทอดใช้แล้วมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) มากที่สุดเท่ากับ  $91.95 \pm 0.01$  ลดค่าเปอร์ออกไซด์ได้เท่ากับ  $9.11 \pm 0.41$  มิลลิอิกวาเลนต่อกิโลกรัม และลดค่าความเป็นขี้วได้เท่ากับร้อยละ  $12.50 \pm 0.87$  ถึงแม้ทุกสภาวะจะไม่สามารถลดค่าความเป็นกรดลงได้ แต่ถ้าหากเพิ่มอุณหภูมิหรือระยะเวลาในกระบวนการดีโอโคไรเซชันอาจช่วยลดค่าความเป็นกรดลงได้

การศึกษานำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วกลับไปใช้ใหม่เปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำมันและตัวอย่างมันฝรั่งที่ยังไม่ผ่านกระบวนการ โดยเลือกน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วที่สภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มาศึกษาพบว่า การทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน ทำให้คุณภาพของน้ำมันมีการเสื่อมเสียเพิ่มขึ้น ซึ่งการเสื่อมเสียของคุณภาพของน้ำมันทั้งที่ไม่ผ่านกระบวนการและผ่านกระบวนการที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ไม่มี ความแตกต่างกัน

ศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ว โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันเป็นเวลา 15 วัน ทำการตรวจวิเคราะห์ค่าสี ค่า

ความหนืด ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าแอนนิซิติน พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาผ่านไปคุณภาพของน้ำมันทั้งด้านกายภาพและเคมีมีการเสื่อมเสียต่อเนื่องตามจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าความสว่างสีของน้ำมันลดลง และมีค่าความหนืด ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าแอนนิซิติน เพิ่มขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การใช้น้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้พวพบว่าคุณภาพของน้ำมันมีความแตกต่างกับน้ำมันที่ยังไม่ผ่านกระบวนการ โดยค่าที่สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันและเห็นผลชัดเจนคือ ค่าสี ค่าเปอร์ออกไซด์และค่าความเป็นขี้พว ส่วนค่าที่ยังไม่เห็นผลชัดเจนคือค่าความเป็นกรด แต่หากจะนำไปใช้ทอดซ้ำยังไม่แนะนำให้ใช้น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการโดยตรงก่อน อาจจะต้องมีการทดลองปรับสภาวะอุณหภูมิ เวลา และความดัน การให้อุณหภูมิกับกระบวนการให้เหมาะสมก่อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำมัน ชนิด องค์ประกอบภายในอาหารที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลา



## บรรณานุกรม

- ถาวร อริยภุชชัย. 2550. แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกล้วยหอมที่ผ่านการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นิธิยา รัตนাপนนท์. 2543. ลิพิด เคมีอาหาร. เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิธิยา รัตนাপนนท์ และวิบูลย์ รัตนูปนนท์. 2543. สารพิษในอาหาร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- แพรวพรรณ สุริวงส์. 2559. 1 กุมภาพันธ์ “เลือกน้ำมันให้เหมาะสมสร้างสุขภาพที่ดี.” มติชนออนไลน์.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2547. การวางแผนและการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ภาคภูมิ อุณหเลขจิตร์. 2559. “การศึกษาความสัมพันธ์ระยะเวลาต่อการเกิดสาร โพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารประเภทเนื้อและแป้ง”. ใน การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 3. นครราชสีมา : วิทยาลัยนครราชสีมา.
- วิภาวรรณ ศรีมุข. 2545. “น้ำมันพืชสำหรับบริโภค.” กรมวิทยาศาสตร์. 50(160): 9-12.
- วิไล รังสาดทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ศิริกานต์ สัตถวิชัยพิชญ์. 2558. “เทคโนโลยีการถนอมน้ำมันปาล์มบริโภค”. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (77): 14-20
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2524. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 56/2524 เรื่อง น้ำมันปาล์ม.
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2543. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 เรื่อง น้ำมันและไขมัน.
- สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2547. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283/2547 เรื่อง กำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย.
- Abdel-Razek, A.G., Ragab, G.H. and Ali, H.S. 2012. Effect of pre-treatments and frying time on physical and chemical properties of cottonseed oil. Journal of Applied Sciences Research. 11: 5381-5387.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Abdul, A.A. 2000. The Effect of CPO Quality Parameters (FFA, M&I, IV, PV, AV , DOBI and Colour) on the Refinery Production Efficiency. Proceedings of the 2000 National Seminar on Palm Oil Milling, Refining Technology, Quality and Environment, Genting Hotel, Genting Highlands, Malaysia, July 3-4. 79-88.
- Aguilera, J.M. and Gloria-Hernandez, H. 2000. Oil Absorption During Frying of Frozen Parfried Potatoes. *Journal of Food Science*. 65: 476-479.
- Andrali, K.S.R., Sunkireddy, Y.R. and Ramakrishna, C. 2010. Quality changes in trans and trans free fats/oils and products during frying. *European Food Research and Technology*. 230: 803-811.
- Association of official analytical chemists. 1990. Official methods of analysis of the Association of official analytical chemists. 15th ed. Arlington, United States of America.
- American Oil Chemists' Society. 1998. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. 5th ed. Champaign Illinois. American Oil Chemists' Society press.
- Bansal, G., Zhou, W.B., Tan, T.W., Neo, F.L. and Lo, H.L. 2009. Analysis of trans fatty acids in deep frying oils by three different approaches. *Journal of Food Chemistry*. 116: 535-541.
- Belitz H.D., Grosch W. and Schieberle P. 2004. *Food chemistry*. 3rd ed. Springer. Berli.
- Bockisch, M. 1993. *Fats and Oils Handbook*. Champaign Illinois. American Oil Chemists' Society press.
- Bockisch, M. 1998. *Fats and Oils Handbook*. Champaign Illinois. American Oil Chemists' Society press.
- Ceriane, R. and Meirelles, J.A. 2007. Formation of trans PUFA during deodorization of canola oil: A study through computational simulation. *Journal of Chemical Engineering and Process*. 46: 375-385.
- Cert, A., Lanzon, A., Carelli, A.A., Albi, T. and Amelotti, G. 1994. Formation of stigmasta-3, 5-diene in vegetable oils. *Journal of Food Chemistry*. 49: 287-293.
- Che-Man, Y.B., Moha, M.H. and Voort, F.R. van de. 1999. Determination of Free Fatty Acids in Crude Palm Oil and Refined-Bleached-Deodorized Palm Olein Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 76: 485-490.
- Che-Man, Y.B. and Wan-Hussin, W.R. 1998. Comparison of the frying performance of refined, bleached and deodorized palm olein and coconut oil. *Journal of Food Lipids*. 5: 197-210.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Cho, S.Y., Kwon, T.W. and Yoon, S.H. 1990. Selective removal of free fatty acids in oils using a microorganism. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 67: 558–560.
- Choe, E. and Min, V. 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of Food Science*. 72: 77–86.
- Christianne, E.C.R., Goncalves, C.B., Batista, E. and Antonio, J.A.M. 2007. Deacidification of Vegetable Oils by Solvent Extraction. *Recent Patents on Engineering*. 1(8): 95-102.
- Crexi, V.T., Grunennvaldt, F.L., Soares, L.A., De, S. and Pinto, L.A.A. 2009. Deodorization process variables for croaker (*M. furnieri*) oil. *Journal of Food Chemistry*. 144: 396-401.
- De Greyt, W.F.J. and Kellens, M.J. 2005. Deodorization. In: *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. 6th ed. Edited by Shahidi F., John Wiley and Sons. Hoboken, NJ: Published Online.
- Dijkstra, A.J. 2007. Vacuum stripping of oils and fats. In: *The Lipid Handbook*. 3rd ed. Edited by Gunstone F.D., Harwood J.L. and Dijkstra A.J. Boca Raton Florida: Taylor and Francis Group LLC.
- Diop, A., Sarr S., Ndao, S., Cissé, M., Baldé, M., Ndiaye, B. and Diop, Y.M. 2014. Effect of deep-fat frying on chemical properties of edible vegetable oils used by Senegalese households. *Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*. 14(6): 2218-2238
- Edwin, N.F. 2012. *Lipid oxidation on second edition*. California: University of California Davis. USA.
- Eleni, P.K., Calliope K. and Thodoris D.K. 2009. Effect of the Presence and Absence of Potatoes under Repeated Frying Conditions on the Composition of Palm Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 86: 561–571.
- Erum, Z., Rehana, S., Mehwish, A.H. and Anjum, Y. 2014. Study of physicochemical properties of edible oil and evaluation of frying oil quality by Fourier Transform-Infrared (FT-IR) Spectroscopy. *Arabian Journal of Chemistry*. 10: S3870-S3876.
- Eskin, N.A.M. 1979. *Plant Pigment, Flavor and Texture*. New York: Academic press.
- Esterbauer H. 1993. Cytotoxicity and genotoxicity of lipid-oxidation products. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 5: 779S-785S.
- Eunmi, K. and Jeonghee, S. 2013. Food types and frying frequency affect the lipid oxidation of deep frying oil for the preparation of school meals in Korea. *Journal of Food Chemistry*. 174: 467-472.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Gomes, T., Caponio, F. and Delcuratolo, D. 2003. Fate of Oxidized Triglycerides during Refining of Seed Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 4647–4651.
- Hafidi, A., Pioch, D. and Ajana, H. 2005. Membrane-based simultaneous degumming and deacidification of vegetable oils. *Innovative. Journal of Food Science and Emerging Technologies*. 6: 203-212.
- Helen, C. 1982. *Food science*. 2nd ed. New York: Macmillan.
- Higuchi, M. 1983. Quality Control in Oil Refineries. *Proceedings of Workshop of Quality in The Palm Oil Industry*, Institut Penyelidikan Minyak Kelapa Sawit Malaysia, Bangi, Selangor (Malaysia): Kuala Lumpur (Malaysia), 2-3 Aug 1983. 240-245.
- Jadhav, S.J., Nimbalkar, S.S., Kulkarni, A.D. and Madhavi, D.L. 1996. Lipid oxidation in biological and food systems : In *Food Antioxidants*. Edited by Madhavi D.L., Deshpande S.S. and Salunkhe D.K. New York: Marcel Dekker.
- Jamradloedluk, J., Nathakaranakule, A., Soponronnarit S. and Prachayawarakorn S. 2007. Influences of Drying Medium and Temperature on Drying Kinetics and Quality Attributes of Durian Chip. *Journal of Food Engineering*. 78: 198-205.
- Kurashige, J. 1988. *Proceedings of the World Conference on Biotechnology for the Fats and Oils Industry*. Edited by Applewhite T.H. Champaign Illinois. American Oil Chemists' Society press.
- Lang, W., Sokhansanj, S. and Sosulski, F.W. 1992. Modelling the temperature dependence of kinematic viscosity for refined Canola oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 69: 1054-1062.
- Lawson, H. 1995. Deep Fat Frying. In: *Food oils and fats: technology, utilization, and nutrition*. New York. Chapman and Hall.
- Lin, H.R. and Lin, C.I. 2005. Kinetics of adsorption of free fatty acids from water-degummed and alkali-refined soy oil using regenerated clay. *Separation and Purification Technology*. 44: 258-265.
- Lin, H.R. and Lin, C.I. 2009. Performances of peanut hull ashes in bleaching water-degummed and alkali-refined soy oil. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 40: 168-173.
- Liu, W.H., Inbaraj, B.S. and Chen, B.H. 2007. Analysis and formation of trans fatty acids in hydrogenated soybean oil during heating. *Journal of Food Chemistry*. 104: 1740-1749.

- Marcus, V.T., Stefany, M., Marcos, L.C., Marco, D.L. and Oliveira, J.V. 2009. Separation of n-butane from soybean oil mixtures using membrane processes. *Journal of Membrane Science*. 333: 141-146.
- Marcus, V.T., Ferraz, H.C., Dallago, R.M., Luccio, M.D. and Oliveira, J.V. 2010. Characterization of polymeric membranes used in vegetable oil/organic solvents separation. *Journal of Membranes Science*. 362: 495-500.
- Mendez, V. and Mendez, R. 2011. Contribution of denaturing and deodorization processes of oils to toxic oil syndrome. *Journal of Chemico-Biological Interactions*. 192: 142-144.
- Mohammed, J.H.A., Mohammed, Z.I.S., Sahera, F., Mohd, Y.A.M., Nik Norulaini Nik Ab, R. and Mohd Omar Ab, K. 2012. Applications of Supercritical Fluid Extraction (SFE) of Palm Oil and Oil from Natural Sources. *Molecules*. 17: 1764-1794.
- Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E. and Barrufet, M.A. 1999. Frying oil characteristics. In: *Deep fat frying: fundamentals and applications*. Gaithersburg Maryland: Chapman and Hall.
- Mounts, T.L. 1981. Chemical and Physical Effects of Processing Fats and Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 58: 51A-54A.
- Noor, A.M. and Mustafa, K.A.A. 2006. Process design in degumming and bleaching of palm. Centre of Lipids Engineering and Applied Research. Universiti Teknologi Malasia.
- Noureddini, H., Teoh, B.C., and Clements, L.D. 1992. Viscosities of oil and fatty acids. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 69: 1189- 1192.
- Oh, K., Hu, F.B., Manson, J.E., Stampfer, M.J. and Willett, W.C. 2005. Dietary fat intake and risk of coronary heart disease in women: 20 years of follow up of the Nurses' Health Study. *American Journal of Epidemiology*. 161 : 672-679.
- Ooi, C.K., Bhaskar, A., Yener, M.S., Tuan, D.Q., Hsu, J. and Rizvi, S.S.H. 1996. Continuous supercritical carbon dioxide processing of palm oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 73: 233-237.
- Orthoefer, F.T. and List, G.R. 2006. Dynamics of Frying. *Deep Frying: Chemistry, Nutrition, and Practical Applications*. Edited by Erickson M. D. 2nd ed. Champaign Illinois. American Oil Chemists' Society press.

- Pinthus, E.J. and Saguy, I.S. 1994. Initial interfacial tension and oil uptake by deep-fat fried foods. *Journal of Food Science*. 59: 804-807.
- Razali, I. and Badri, M. 2003. Oil absorption, polymer and polar compounds formation during deep-fat frying of French fries in vegetable oils. *Palm Oil Developments*. 38: 11–15.
- Rossi, M., Gianazza, M., Alamprese, C. and Stanga, F. 2003. The role of bleaching clays and synthetic silica in palm oil physical refining. *Journal of Food Chemistry*. 82: 291-296.
- Saguy, I.S. and Pinthus, E.J. 1995. Oil uptake during deepfat frying: factors and mechanism. *Food Technology*. 49: 142-145.
- Sampaio, K.A., Ceriani, R., Silva, S.M., Taham, T. and Meirelles, A.A. 2011. Steam deacidification of palm oil. *Journal of Food and Bioproducts Processing*. 89: 383-390.
- Sarita, A., Manjula, S., Gopala, K.A.G. and Subramanian, R. 2006. Membrane Process of Crude Palm Oil. *Desalination*. 191: 454-466.
- Schulte, E. 1995. Determination of edible fat refining by HPLC of 3, 5-Steradienes. *Journal of Fat Science and Technology*. 96: 124-128.
- Swoboda, P.A.T. 1985. Chemistry of refining. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 62: 287–292.
- Tsiadi, A.V., Stavrides, E., and Handa-Corrigan, A. 2001. Nitrogen Bubble Refining of Sunflower Oil in Shallow Pools. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 78: 381-385.
- Verleyen, T., Verhe, R., Garcia, L., Dewettinck, K., Huyghebaert, A., De, G.W. 2001. Gas chromatographic characterization of vegetable oil deodorization distillate. *Journal of Chromatography A*. 921: 277-285.
- Wei-an, C., Chihwei, P.C., Wei-Chih, C., Chao-kai, H. and Meng-i k. 2012. Total Polar Compounds and Acid Values of Repeatedly Used Frying Oils Measured by Standard and Rapid Methods. *Journal of Food and Drug Analysis*. 21: 58-65.
- Woerfel, J.B. 1995. *Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization*. Edited by Erickson D.R. Champaign Illinois: American Oil Chemists' Society press.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## การวิเคราะห์ทางกายภาพ

## ก1. การวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab (Color Quest XE)

## วิธีการทดลอง

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

2. ทำการ Calibration เครื่องก่อนการวัดครั้งแรกด้วยชุด Calibration โดยทำตามขั้นตอนที่โปรแกรมกำหนด ดังนี้

1. นำ black card วางที่ transmission port กด OK เมื่อทำการ standardize สมบูรณ์แล้ว นำ black card ออก
2. นำ cell black วางแทนที่ black card
3. นำ white calibration tile วางที่ reflectance port (วางไว้ตลอดการวัดโดยไม่เอาออก)
4. ทำการกดอ่านค่า cell black โดยค่า  $L^*$  ที่วัดได้จะเท่ากับ 100 หรือใกล้เคียง 100 ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  จะเท่ากับ 0 หรือใกล้เคียง 0
5. จากนั้นเปลี่ยนจาก cell black เป็นตัวอย่างน้ำมัน วัดค่าสีของน้ำมันในระบบ CIE  $L^* a^* b^*$  โดยทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

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

$a^*$  หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง ถ้าเป็นบวก (+) / ความเป็นสีเขียว ถ้าเป็นลบ (-)

$b^*$  หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง ถ้าเป็นบวก (+) / ความเป็นสีน้ำเงิน ถ้าเป็นลบ (-)

## การวัดตัวอย่างที่เป็นของเหลว

1. นำตัวอย่างของเหลวใส่ลงในบีกเกอร์
2. เตรียม glass cell สำหรับบรรจุตัวอย่าง โดยสำรวจความสะอาดของ cell ก่อนการบรรจุ
3. ตักตัวอย่างลงใน glass cell โดยให้ระดับความสูงของตัวอย่างอยู่ที่ 3/4 ของ cell
4. วาง cell ที่บรรจุตัวอย่างแล้วลงบนช่องอ่านค่าสีด้านบนของเครื่อง แล้วครอบด้วยฝาครอบที่เป็นอุปกรณ์ของเครื่อง เพื่อป้องกันแสงจากแหล่งอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กด read แล้วรอให้เครื่องอ่านค่า
6. บันทึกค่าที่ได้จากเครื่อง
7. ทำความสะอาด cell โดยเทตัวอย่างทิ้ง ล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วเช็ดให้แห้ง
8. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง ในของเหลวชนิดเดิมแล้วหาค่าเฉลี่ย  $XYZ$  และ  $L*a*b^*$  สำหรับตัวอย่าง นั้น ๆ
9. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนตัวอย่างของเหลว

## ก2. การวิเคราะห์ค่าความหนืด (viscosity)

### วิธีการทดลอง

1. ศึกษาการทำงานของเครื่อง ข้อจำกัด ช่วงการใช้งาน และข้อควรระวังอย่างละเอียด และเตรียมพร้อมอุปกรณ์ทดสอบ
2. ทำการเปิดเครื่องอย่างน้อย 30 นาที ก่อนการทดสอบ
3. เลือกหัวสปินเดิล (Spindle) ที่เหมาะสมกับตัวอย่างที่จะทดสอบ และติดตั้งหัวสปินเดิลเข้ากับเครื่องทดสอบ
4. ตั้งค่าการทำงานของเครื่องบนหน้าจอแสดงผล ในลำดับข้อมูลต่อไปนี้
  - Viscosity (cP or mPa\*s)
  - Temperature (°C or °F) (OPTIONAL)
  - Percentage of torque
  - Speed (rpm)
  - Spindle used
5. นำตัวอย่างที่ต้องการจะทดสอบติดตั้งเข้ากับเครื่อง โดยให้ส่วนของคอสปินเดิลจมอยู่ในตัวอย่าง โดยสามารถปรับระดับความสูงต่ำจากทางด้านขวาของเครื่อง ระวังอย่าให้สปินเดิลสัมผัสกับบีกเกอร์
6. กดปุ่มเริ่มทำงานของเครื่อง โดยอ่านค่าของความหนืดที่ได้ สังเกตและบันทึกผลการทดลอง
7. ล้างหัวสปินเดิลด้วยน้ำกลั่น และชับน้ำด้วยทิชชูเบาๆ ทุกครั้งที่เปลี่ยนตัวอย่างในการทดสอบ

## ก3. การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมัน (ดัดแปลงจาก A.O.A.C., 1990)

1. อบขวดก้นกลมสำหรับหาปริมาณน้ำมันซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้า และทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก ถ้าตัวอย่างมีปริมาณน้ำมันที่มากให้ชั่ง 1-2 กรัม แต่ถ้าเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำมันน้อยให้ชั่ง 3-5 กรัม ห่อให้มิดชิดแล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง
3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในชอคเลต
4. เติมหักทำละลายเฮกเซนลงในขวดหาปริมาณน้ำมันประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตา
5. ประกอบชุดอุปกรณ์สกัดน้ำมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่นและเปิดสวิทซ์ให้ความร้อน
6. ใช้เวลาในการสกัดนาน 14 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที
7. เมื่อครบ 14 ชั่วโมง นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากชอคเลต ทิ้งให้ตัวทำละลายไหลจากชอคเลตลงในขวดก้นกลมจนหมด
8. ระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ
9. นำขวดหาปริมาณน้ำมันอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส จนแห้งใช้เวลาประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
10. ชั่งน้ำหนัก แล้วอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

คำนวณหาปริมาณน้ำมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณน้ำมันคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### การวิเคราะห์ทางเคมี

#### ข1. การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (acid value) (AOCS., 1998)

##### วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง  $10 \pm 0.2$  กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายผสมของ Isopropyl alcohol: toluene ที่อัตราส่วน 1:1 v/v ปริมาตร 25 มิลลิลิตรลงในตัวอย่าง
2. หยดสารละลายฟีนอล์ฟธาไลน์ร้อยละ 0.1 ใช้เป็นอินดิเคเตอร์ 3-5 หยด เขย่ารวมกันในขวดรูปชมพู่
3. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N ใส่ในบิวเรท เปิดไล่อากาศพร้อมทำการไตเตรท
4. ค่อยๆหยดสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จากบิวเรท ลงในขวดรูปชมพู่ พร้อมเขย่าให้เข้ากัน
5. ไตเตรทสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ลงจนกว่าจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู (ทิ้งให้คงตัว 30 วินาที)
6. บันทึกปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการไตเตรท

##### คำนวณค่าความเป็นกรด

$$AV \text{ (mg KOH/g oil)} = \frac{[(a-b) \times N \times 56.11]}{W}$$

- เมื่อ
- a = ปริมาตรของ KOH 0.1 N ที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง (ml)
  - b = ปริมาตรของ KOH 0.1 N ที่ใช้ในการไทเทรตกับสารละลาย blank (ml)
  - N = ความเข้มข้นของ KOH (Normality)
  - W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (g) ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
  - 56.1 = มวลโมเลกุลของ KOH

#### ข2. การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)

##### วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน  $5 \pm 0.05$  กรัม (ทราบน้ำหนักแน่นอน) ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายผสมอะซิติก: คลอโรฟอร์ม (3:2) 30 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว 0.5 มิลลิลิตร
4. เขย่าสารละลายเป็นเวลา 1 นาที ในที่มืด และเติมน้ำกลั่นทันที 30 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ไตเตรทด้วยสารละลาย โซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อน และเติมสารละลายน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 1 จำนวน 2 มิลลิลิตร และไตเตรทต่อจนสีน้ำเงินจางหาย
6. บันทึกปริมาตรสารละลาย โซเดียมไทโอซัลเฟต ที่ใช้ในการไตเตรท
7. ทำ blank ตามวิธีเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น แต่ไม่ใส่ตัวอย่างน้ำมัน  
คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์

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

เมื่อ S = ปริมาตรสารละลาย โซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)  
 B = ปริมาตรสารละลาย โซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรท blank (มิลลิลิตร)  
 N = ความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มอล)

### ข3. การวิเคราะห์ค่าพาราแอนนิซิดีน (p- anisidine value)

#### วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน  $0.5 \pm 0.1$  กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายไอโซออกเทน เขย่าให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร
3. ทำ blank โดยใช้สารละลายไอโซออกเทน
4. นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร
5. ปิเปิดสารละลายตัวอย่างจากขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ออกมาจำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
6. ปิเปิดสารละลาย blank จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองอีกหลอดหนึ่ง
7. เติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
8. นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร

คำนวณค่าพาราแอนนิซิดีน

$$P\text{-anisidine} = [25 \times (1.2A_s - A_b)]$$

Mass of sample, g

เมื่อ  $A_s$  = ค่าการดูดกลืนแสงหลังเติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน

$A_b$  = ค่าการดูดกลืนแสงก่อนเติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน

### ข4. การวิเคราะห์ค่าความเป็นขี้ด้วยเครื่อง Ebro TM electronic (FOM 310)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิธีการทดลอง

1. กดปุ่ม On/Hold เพื่อเปิดเครื่อง
2. จุ่มหัวเซ็นเซอร์ในน้ำมันที่ร้อน 150 องศาเซลเซียส ให้อยู่ระดับ *Min/Max*
3. จุ่มหัวเซ็นเซอร์ในน้ำมันอย่างน้อย 5 วินาที จนมีลูกศรขึ้น
4. กดปุ่ม On/Hold เพื่ออ่านค่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ค**  
**แบบฟอร์มทดสอบลักษณะประสาทสัมผัส**

แบบทดสอบ

มันฝรั่งแห้งทอด

ชื่อ..... วันที่..... ชุดที่.....

ข้อเสนอแนะ : ทดสอบรสชาติและลักษณะของตัวอย่างที่ให้และตรวจสอบว่าท่านชอบ/ไม่ชอบมากเพียงไรในผลิตภัณฑ์ โดยให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะ ดังนี้

- |               |                   |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|
| 1 = ไม่ชอบมาก | 2 = ไม่ชอบปานกลาง | 3 = ไม่ชอบเล็กน้อย |
| 4 = เฉยๆ      | 5 = ชอบเล็กน้อย   | 6 = ชอบปานกลาง     |
| 7 = ชอบมาก    |                   |                    |

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง	
สี		
กลิ่น		
ความกรอบ		
รสชาติ		
ความชอบโดยรวม		

ข้อเสนอแนะ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	น้ำเพชร อักษรทิพย์
วัน เดือน ปีเกิด	3 มีนาคม 2536
ที่อยู่	51/313 หมู่บ้านรุ่งกิจ แกรนด์ วิสต้า ถนนหทัยราษฎร์ แขวง/เขต มีนบุรี กรุงเทพฯ 10510
ประวัติการศึกษา	
ปีการศึกษา 2542-2547	ระดับประถมศึกษา โรงเรียนมีนบุรีศึกษา
ปีการศึกษา 2548-2553	ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสตรีศรีอยุธยา
ปีการศึกษา 2554-2557	ระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558-2559	ระดับปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	ผ่านการฝึกงานที่บริษัท บริษัท บุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด
ผลงานวิจัย	น้ำเพชร อักษรทิพย์ และ วฐุ ผลสุขการ. 2557. การศึกษาการใช้แรงดันที่มีผลต่อการซึมผ่านของปริมาณเกลือในมัน. บัญหาพิเศษ, สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ	Aksorntip, N. and Srikalong, P. 2016. The effect of temperature and time during deodorization on the quality of used palm oil. Food Innovation Asia Conference 2017, Bangkok, Thailand, 15-17 June 2017.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้