



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

อุปกรณ์ยืดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้วโดยใช้เทคนิคการกำจัดกรดไขมัน

อิสระและสารประกอบมีขั้วด้วยระบบไอน้ำ

**Prolonging Used Frying Oil Shelf Life Prototype using Stream System for
De-acidification and De-polar Matters**

ประมวล ศรีกาหลง

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย

จาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

อุปกรณ์ยืดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้วโดยใช้เทคนิคการกำจัดกรดไขมัน

อิสระและสารประกอบมีขี้ด้วยระบบไอน้ำ

Prolonging Used Frying Oil Shelf Life Prototype using Stream System for

De-acidification and De-polar Matters

ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง

RCH
ป3510
2558

b.....12870560.....
i.....

เลขที่.....
เลขทะเบียน 148558
ในเดือนปี 31 ต.ค. 2560

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย

จาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ อุปกรณ์ยึดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้วโดยใช้เทคนิคการกำจัดกรดไขมันอิสระ และสารประกอบมีขี้ผึ้งระบบไอน้ำ

แหล่งเงิน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 664,800 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

หัวหน้าโครงการ ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

อาหารประเภททอดเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมในการบริโภคมาช้านาน ซึ่งหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของอาหารทอดคือคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ การใช้น้ำมันทอดซ้ำๆ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารทำให้อาหารมีสีที่คล้ำขึ้น และมีกลิ่นหืน รวมไปถึงหากบริโภคอาหารทอดที่มีการใช้น้ำมันทอดซ้ำบ่อยๆ จะส่งผลเสียต่อสุขภาพทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ และโรคมะเร็ง ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยใช้กระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งหรือที่เรียกว่ากระบวนการดีโอโดไรซ์เซชั่น โดยกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้ง เป็นหนึ่งในขั้นตอนการทำให้น้ำมันบริโภคมีความบริสุทธิ์ในระดับอุตสาหกรรม จะอาศัยหลักการการใช้ไอน้ำเป็นตัวพากรดไขมันอิสระรวมถึงสารประกอบที่มีขี้ผึ้งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทอดของน้ำมันใช้แล้วออกไป โดยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วก่อนและหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งที่ระดับอุณหภูมิ 180, 200 และ 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที ภายใต้สภาวะสูญญากาศ (0.7 บาร์) โดยทำการวิเคราะห์ค่ากรดไขมัน, ค่าเปอร์ออกไซด์, ค่าพาราอะนิลิติน, ค่าความเป็นขี้ผึ้ง และสี พบว่าการให้ไอน้ำกับกระบวนการที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สามารถปรับปรุงคุณภาพสีให้น้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วมีค่าความสว่าง (L*) มากที่สุดเท่ากับ 91.95 ± 0.01 ลดค่าเปอร์ออกไซด์ได้เท่ากับ 9.11 ± 0.41 มิลลิอิกวิวาเลนทต่อกิโลกรัม และลดค่าความเป็นขี้ผึ้งได้เท่ากับร้อยละ 12.50 ± 0.87 และได้ทำการศึกษานำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งกลับไปใช้ใหม่โดยนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที กลับมาทอดแบบน้ำมันท่วมกับตัวอย่างมันฝรั่งแห้งที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส 10 นาที ทำการทอดซ้ำต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน ทำการวิเคราะห์ค่ากรดไขมัน, ค่าเปอร์ออกไซด์, ค่าพาราอะนิลิติน, ค่าความเป็นขี้ผึ้ง, สีของน้ำมันทอด และวิเคราะห์ค่าการอมน้ำมันและสีของมันฝรั่งแห้ง พบว่าตลอดทั้ง 4 วัน น้ำมันทอดทั้ง 2 ชนิดคือน้ำมันทอดที่ผ่านกระบวนการและน้ำมันทอดที่ยังไม่ผ่านค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

คำสำคัญ : น้ำมันทอดใช้แล้ว, ไขมัน, การยืดอายุการเก็บรักษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Prolonging Used Frying Oil Shelf Life Prototype using Stream System for
De-acidification and De-polar Matters

Researcher: Pramoun Srikalong and Numpetch Aksorntip

Faculty: Agro-industry **Department:** Food science

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 ± 0.41 meq/kg), TPC reduction level was 12.50 ± 0.87 percent and the highest brightness (L^*) increase level was 91.95 ± 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.

Keywords : Used frying oil, Stream, Shelf life

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องอุปกรณ์ยืดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว โดยใช้เทคนิคการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ด้วยระบบไอน้ำ เป็นโครงการวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ได้จัดสรรทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่คอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่คอยเอื้ออำนวยความสะดวกช่วยเหลือตลอดของการทำงานวิจัยจึงทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ประมวล ศรีกาหลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 กระบวนการผลิตน้ำมันบริโภค.....	4
2.2 การพัฒนากระบวนการต่างๆที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำมันบริโภคบริสุทธิ์.....	10
2.3 การทอด.....	13
2.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมันในระหว่างการทอด.....	14
2.5 สารพิษที่เกิดจากการกระบวนการทอดด้วยน้ำมันร้อน.....	16
2.6 ดัชนีที่ใช้ควบคุมคุณภาพของน้ำมันบริโภค.....	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
4.1 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ยี่ดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วก่อน ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้จุ	28
4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้อุณหภูมิกับน้ำมัน ทอดใช้แล้วเพื่อให้ได้น้ำมันที่บริสุทธิ์มากขึ้น	32
4.4 ผลการศึกษาการนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและ สารประกอบมีขี้จุกลับไปใช้ใหม่	38
4.5 ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอด ใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้จุ	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลการวิจัย	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย	58
บรรณานุกรม	59
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางกายภาพ	65
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางเคมี	69
ภาคผนวก ค แบบฟอร์มทดสอบลักษณะประสาทสัมผัส	73
ภาคผนวก ง ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	75
ภาคผนวก จ สรุปการใช้จ่ายเงิน	83
ประวัติผู้เขียน	85

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 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมันฝรั่งแท่งทอดระหว่างที่ใช้น้ำมันก่อนและ.....	40
หลังผ่านกระบวนการ โดยผ่านการทอดซ้ำเป็นเวลา 4 วัน	
4.5 ลักษณะความชอบโดยรวมทางประสาทสัมผัสของผู้ชิมทั้ง 30 คนต่อมันฝรั่งแท่งที่ทอด.....	41
ด้วยน้ำมันก่อนและหลังผ่านกระบวนการ เป็นเวลา 4 วัน	
4.6 ค่าสี (L^* , b^* และ a^*) ของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการต่ออายุการเก็บรักษา.....	51
ไว้เป็นเวลา 5, 10 และ 15 วัน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ส่วนตัวตั้งด้านข้างและด้านหน้าของอุปกรณ์ยัดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว.....	25
4.2 ส่วนควบแน่นของอุปกรณ์ยัดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว.....	26
4.3 อุปกรณ์ยัดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว.....	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 ค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้.....	33
4.9 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้.....	36
4.10 ค่าแอนนิซิดินของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้.....	37
4.11 ค่าความเป็นขี้ของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้.....	38
4.12 ค่าความหนืดของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่แช่ต่อเนื่อง 4 วัน.....	42
4.13 ค่าสี L^* ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่แช่ต่อเนื่อง 4 วัน.....	43
4.14 ค่าสี a^* ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่แช่ต่อเนื่อง 4 วัน.....	43
4.15 ค่าสี b^* ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่แช่ต่อเนื่อง 4 วัน.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.16 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ ต่อเนื่อง 4 วัน	45
4.17 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ ต่อเนื่อง 4 วัน	46
4.18 ค่าแอนนิซิดินของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ 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 ค่าแอนนิซิดินของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการต่ออายุการเก็บรักษาไว้ 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 รวมทั้งองค์ประกอบในการประกอบอาหารก็ต้องมี คุณประโยชน์ สด ใหม่ สะอาด หลีกเลี่ยงองค์ประกอบที่อาจส่งผลถึงสุขภาพอนามัยโดยตรง เช่น การเติม กลิ่น สี หรือ สารเติมแต่ง ที่มากเกินไปจนจำเป็น หรือ เป็นสารเคมีที่เกิดจากการสังเคราะห์ นอกจากนี้ควร หลีกเลี่ยงอาหารที่มีสารพิษเจือปน ไม่ว่าจะเกิดจากการใส่เพิ่มเข้าไป หรือสารพิษที่มีโอกาสเกิดขึ้นจาก กระบวนการผลิต

ตัวอย่างสารพิษที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตอาหารพบว่า อาหารประเภททอดเป็นตัวอย่าง ที่ดี โดยสารพิษดังกล่าวเกิดจากการใช้น้ำมันทอดซ้ำและมีกระบวนการทอดที่ใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 158-185 องศาเซลเซียสในการทอด ในระหว่างกระบวนการทอดองค์ประกอบของอาหารที่ใช้ทอดเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนและอื่นๆอีกมากมายที่ส่งผลถึงคุณภาพการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านความ หนืด สี และกลิ่นรสของน้ำมันทอด (Belitz et al. 2004) และเมื่อมีการนำน้ำมันทอดแล้วที่มีคุณภาพด้อย ลงตามอายุการใช้งานมาใช้ซ้ำด้วยอัตราที่สูงขึ้น สารพิษที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของน้ำมัน ในระหว่างกระบวนการทอดจะถูกดูดซึม โดยอาหารใหม่ที่นำมาทอด โดยใช้น้ำมันเก่า จากงานวิจัยของ Eleni et al. (2009) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไขมันฝรั้งภายใต้สภาวะการทอดซ้ำต่อองค์ประกอบ ของน้ำมันปาล์มพบว่า ในระหว่างกระบวนการทอดเกิดผลิตสารประกอบเชิงซ้อนจำพวกสารประกอบมี ขี้วและสารพอลิเมอร์ในน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันปาล์มที่ยัง ไม่ถูกทอดกับมันฝรั้ง และจากงานวิจัย ของ Esterbauer (1993) ได้ศึกษาการเกิดสารพิษ cytotoxic และ genotoxic จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่า การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันและอาหารก่อให้เกิดการฟอร์มตัวของ สารประกอบเชิงสารมากกมายเช่น hydroperoxides, polymeric และเกิดการแตกของสายโซ่ของไขมันได้ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนตัวอื่นๆ ซึ่งถ้าหากได้รับสารประกอบเชิงซ้อนหรือสารพิษดังกล่าวเป็นจำนวน มากจะเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและภาวะเส้นเลือดอุดตัน ดังนั้นการลดการใช้ซ้ำของน้ำมันทอดจึง เป็นทางออกที่ดีที่สุดสำหรับผู้ผลิตอาหาร แต่เนื่องด้วยราคาน้ำมันทอดในปัจจุบันมีราคาสูงขึ้นมากจาก อดีตจึงทำให้มีการใช้น้ำมันทอดแล้วซ้ำหลายครั้ง ในการหาทางออกสำหรับผู้ผลิตอาหารทอดเพื่อให้ สามารถใช้น้ำมันทอดแล้วซ้ำได้มากขึ้น จึงเป็นโจทย์สำคัญที่จะตอบสนองความต้องการของผู้ผลิตที่ ต้องการลดต้นทุน และสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการบริโภคอาหารที่สะอาดและปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วัว
- 1.2.2 ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม ในการให้ไอน้ำกับน้ำมันทอดใช้แล้วเพื่อให้ได้น้ำมันที่บริสุทธิ์มากขึ้น
- 1.2.3 ศึกษาการนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วัวกลับไปใช้ใหม่
- 1.2.4 ศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วัว

1.3 ขอบเขตการวิจัย

เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วก่อนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วัวด้วยกระบวนการ deodorization โดยนำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์จำนวน 4 ลิตร ไปทอดซ้ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับตัวอย่างมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying) ด้วยอัตราส่วนน้ำมันต่อมันฝรั่ง คือ 4:1 (w/w) ใช้ อุณหภูมิทอด 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และทำการพักน้ำมันในภาชนะสเตนเลสเปิด 24 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำมันกลับมาทอดซ้ำอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน กับตัวอย่างมันฝรั่งชุดใหม่ โดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ลงไป นำตัวอย่างที่ได้นำไปวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด (acid value: AV), ค่าเปอร์ ออกไซด์ (peroxide value: PV), ค่าแอนนิซิดีน (p-anisidine), ค่าความเป็นขี้ (total polar compound: TPC), ค่าความหนืด (viscosity) และค่าสี (color) ต่อมาศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการให้ไอน้ำ กับน้ำมันทอดใช้แล้วให้ได้น้ำมันที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยนำตัวอย่างน้ำมันทอดใช้แล้วที่เตรียมได้ ไปผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ โดยกำหนดสภาวะอุณหภูมิและเวลา การให้ไอน้ำ 3 ระดับ คือ 180, 200 และ 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ ด้วย ความดันคงที่ จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้นำไปวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด, ค่าเปอร์ออกไซด์, ค่าแอนนิซิดีน , ค่าความเป็นขี้, ค่าความหนืด และค่าสี โดยเปรียบเทียบคุณภาพน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรด ไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ระยะเวลาการให้ไอน้ำ 3 ระดับ และศึกษาการนำ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้กลับไปใช้ใหม่ด้วยการติดตามการ เปลี่ยนแปลงของค่าสี, ความชอบโดยรวมทางลักษณะประสาทสัมผัส และการอมน้ำมันของตัวอย่างมัน ฝรั่ง โดยนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้แล้วจากขั้นที่ 2 ที่สภาวะที่ เหมาะสมที่สุดซึ่งพิจารณาจากอุณหภูมิและเวลาที่สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทอดใช้แล้วได้ เหมาะสมมากที่สุด นำมาใช้ทอดมันฝรั่งที่สภาวะการทอดเดียวกับขั้นแรก ทำการทอดซ้ำต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน โดยค่าที่วิเคราะห์ได้นำมาเปรียบเทียบกับมันฝรั่งที่ทอดด้วยน้ำมันก่อนและหลังการกำจัดกรดไขมัน อิสระและสารประกอบมีขี้ และสุดท้ายศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน ทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำมัน ที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ ในขั้นที่ 2 ไว้ในขวดโพลีเอทิลีนเทเรฟ ทาเลต (Poly Ethylene Terephthalate: PET) ขนาด 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 15 วันและตลอดอายุการเก็บ จะนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด, ค่าเปอร์ออกไซด์, ค่าแอนนิซิดีน, ค่าความหนืด และค่าสี ทุกๆ 5 วัน

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตน้ำมันบริโภค

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

กระบวนการผลิตน้ำมันบริโภคในปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปน้ำมันบริโภคจะมีกระบวนการเริ่มต้นตั้งแต่การสกัดน้ำมันออกจากวัตถุดิบสิ่งที่ได้ออกมาเราจะเรียกว่า น้ำมันดิบ ซึ่งน้ำมันส่วนนี้เรายังไม่สามารถบริโภคได้เนื่องจากในน้ำมันดิบยังมีองค์ประกอบอื่นๆนอกเหนือจากไตรกลีเซอไรด์ ยกตัวอย่างเช่น ในน้ำมันปาล์มดิบจะประกอบไปด้วย กลีเซอไรด์ประมาณร้อยละ 95, กรดไขมันอิสระประมาณร้อยละ 3-5 และส่วนอื่นๆอีกประมาณร้อยละ 1 ซึ่งประกอบด้วย carotenoid, tocopherols, tocotrienols, sterols, triterpene alcohols, phospholipids, glycolipids, terpenic hydrocarbons, waxes และ impurities ซึ่งจำเป็นต้องผ่านกรรมวิธีที่ทำให้ให้น้ำมันมีความบริสุทธิ์ก่อน (ศิริกันต์. 2558) ซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบายของ Higuchi (1983) ได้อธิบายไว้ว่าน้ำมันพืชดิบ (crude vegetable oil) โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย ไตรกลีเซอไรด์ และสารที่เป็นสิ่งสกปรกในน้ำมัน สารเหล่านี้ล้วนมีผลต่อคุณภาพที่ไม่พึงประสงค์ของน้ำมันเช่น สี กลิ่น และการเกิดฟอง เราจึงควรกำจัดสารเหล่านี้ออกด้วยกรรมวิธีการทำให้น้ำมันมีความบริสุทธิ์ และ Abdul (2000) ได้สรุปสารประกอบหลักที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบซึ่งแสดงในตารางที่ 2.1

กระบวนการที่ทำให้ให้น้ำมันบริโภคมีความบริสุทธิ์จะประกอบด้วยขั้นตอน 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) โดยวิธีนี้น้ำมันจะถูกทำให้เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริสุทธิ์ด้วยไอน้ำทำให้กรดไขมันอิสระระเหยออกจากร้ำมันไปพร้อมกับไอน้ำ (Cert et al. 1994; Schulte. 1995)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทั่วไปของน้ำมันปาล์มดิบ

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

ที่มา : Abdul, 2000

Mendez and Mendez (2011) ได้อธิบายว่า กระบวนการทำน้ำมันดิบให้บริสุทธิ์จำเป็นต้องกำจัดส่วนประกอบอื่นๆที่ไม่ต้องการออกจากร้ำมัน เช่น ฟอสโฟลิปิด กรดไขมันอิสระ เม็ดสี สบู่ โลหะหนัก แวกซ์ และสารระเหยต่างๆ

2.1.1 กระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพ (Physical Refining)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

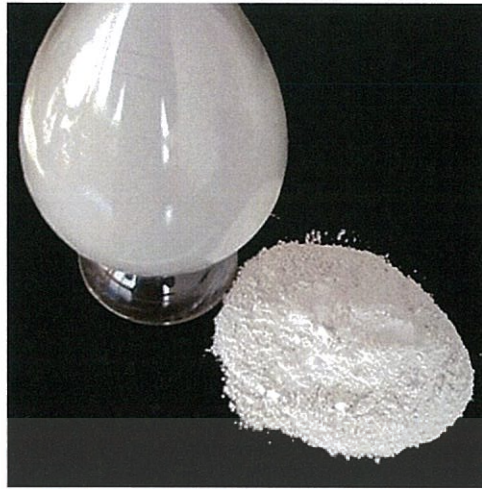
เริ่มใช้ในประเศมาเลเซียตั้งแต่ พ.ศ. 2513 และใช้อย่างแพร่หลายที่สุดในปัจจุบัน (ประเทศไทยก็ใช้วิธีนี้) วิธีนี้ใช้น้ำที่อุณหภูมิสูง ภายใต้สภาวะสุญญากาศเพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ และ ประกอบด้วย 3 กระบวนการ ได้แก่

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 หรือซดริกเข้มข้นร้อยละ 80-85 ใส่ใน น้ำมันปาล์มดิบและให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส นาน 15-30 นาทีเพื่อกำจัดยางเหนียวเกิดการตกตะกอนแล้ว กรองออก โดยไม่จำเป็นต้องใช้การแยกแบบหมุนเหวี่ยง (centrifugal separation) ก่อนเข้าสู่กระบวนการฟอกสี ต่อไป

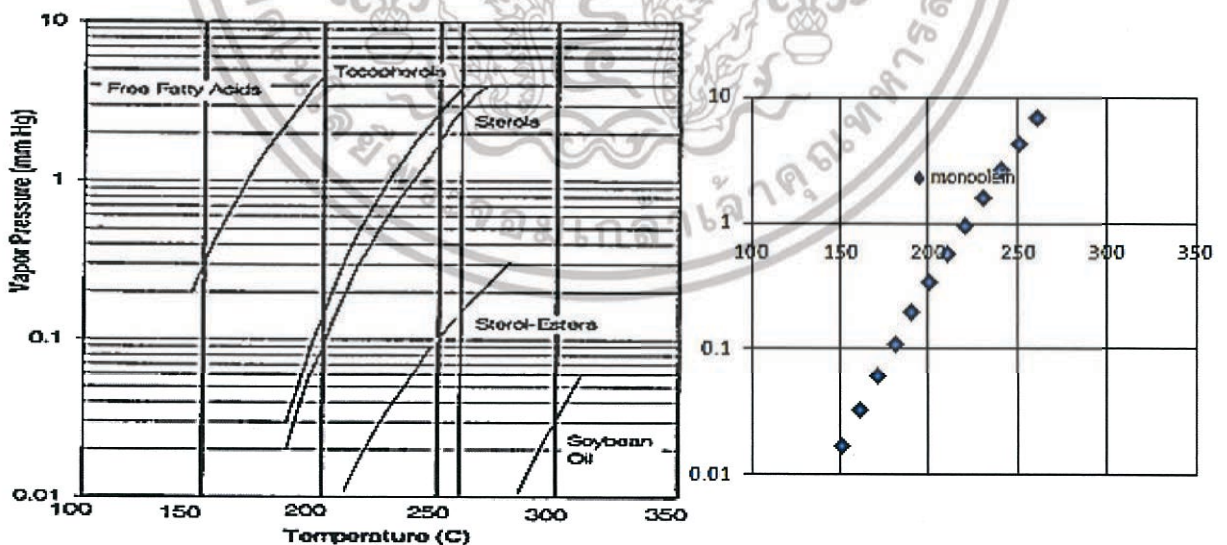
2.1.1.2 กระบวนการฟอกสี (Bleaching) เป็นการฟอกสีน้ำมันปาล์มโดยใช้สารดูดซับ ได้แก่ ดินฟอกสี (acid activated bleaching earth หรือ bleaching clay) ดินฟอกสีธรรมชาติ (natural bleaching earth) ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซิลิเกตสังเคราะห์ (synthetic silicates) และเรซิน สังเคราะห์ (synthetic resins) ดูดซับสารที่ทำให้เกิดสี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



ภาพที่ 2.1 ดินฟอกสี

ที่มา : ศิริกานต์ (2558)

2.1.1.3 กระบวนการกำจัดกลิ่น (Deodorization) เป็นกระบวนการสำคัญในการกำจัดกรดไขมันอิสระ สารระเหยอื่นๆ ที่เป็นสิ่งเจือปนที่มีจุดเดือดต่ำกว่า ไตรกลีเซอไรด์ที่ทำให้เกิดกลิ่นรวมถึงสีของน้ำมันบางส่วนที่กำจัดไม่ได้ในกระบวนการก่อนหน้านี้ วิธีการคือ กลั่นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิสูงภายใต้สภาวะสูญญากาศ โดยมีอุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญในการกลั่น ผลของอุณหภูมิ กับความดันไอขององค์ประกอบบางชนิดในน้ำมัน แสดงได้ดังภาพที่ 2.2

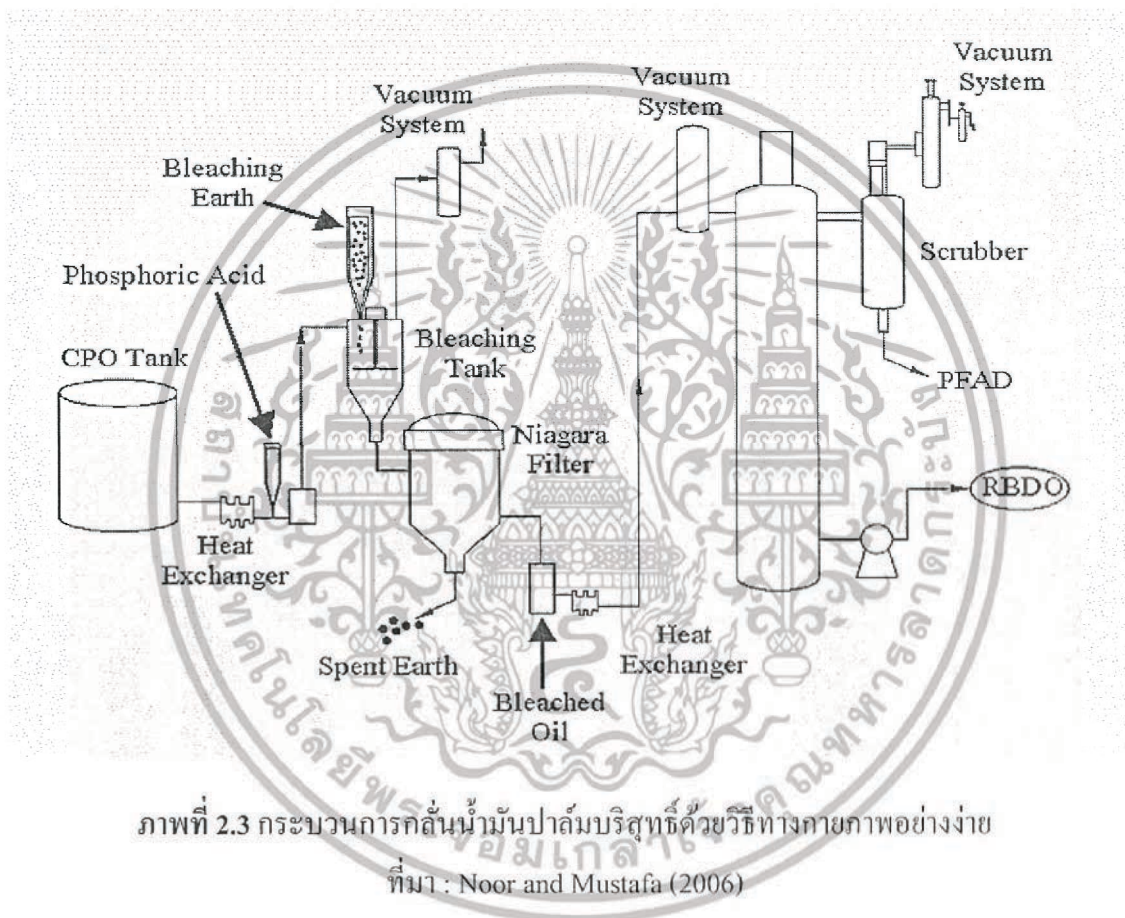


ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันไอของส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำมันพืช

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 มิลลิเมตรปรอทก็จะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Bleached and Deodorized Palm Oil, RBDPO) เป็นผลิตภัณฑ์หลักและกรดไขมันอิสระที่ได้ออกมาในรูปของกรดไขมันปาล์ม (Palm Fatty Acid Distillate, PFAD) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (by-product) ที่สามารถสร้างมูลค่าได้อีกด้วยแผนภาพอย่างง่ายของกระบวนการแสดงได้ดังภาพที่ 2.3



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) เริ่มต้นด้วยกระบวนการกำจัดยางเหนียวโดยการเติมกรดฟอสฟอริกหรือซิงค์เรซินด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับวิธีทางกายภาพแต่หลังจากนั้นมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ลงไปทำปฏิกิริยา สaponification กับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นสบู่ แล้วจึงแยกสบู่ออกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifugal separator) ก่อนเข้าสู่กระบวนการต่อไป

2.1.2.1 กระบวนการกำจัดยางเหนียวและการทำน้ำมันให้เป็นกลาง (Degumming and Neutralisation) เริ่มต้นด้วยกระบวนการกำจัดยางเหนียวโดยการเติมกรดฟอสฟอริกหรือซिटริก เช่นเดียวกับวิธีทางกายภาพแต่หลังจากนั้นมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ลงไปทำปฏิกิริยา สaponification กับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นสบู่ แล้วจึงแยกสบู่ออกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifugal separator) ก่อนเข้าสู่กระบวนการต่อไป

2.1.2.2 กระบวนการฟอกสี (Bleaching) น้ำมันปาล์มที่ผ่านการแยกเอาสบู่ออกแล้วจะทำการฟอกสีโดยเติมดินฟอกสีลงในน้ำมันที่มีอุณหภูมิประมาณ 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 ¹	+	-	++	+
Glycidyl ester formation	++	++	-	-

¹ Pesticides, PAH, dioxins; - : little or no effect, + : significant effect, ++ : large effect

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 จุดเด่นและจุดด้อยของกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมี

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

ที่มา : ศิริกานต์ สัตถวิชัยพิชญ (2558)

2.2 การพัฒนากระบวนการต่างๆที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำมันบริโภคบริสุทธิ์

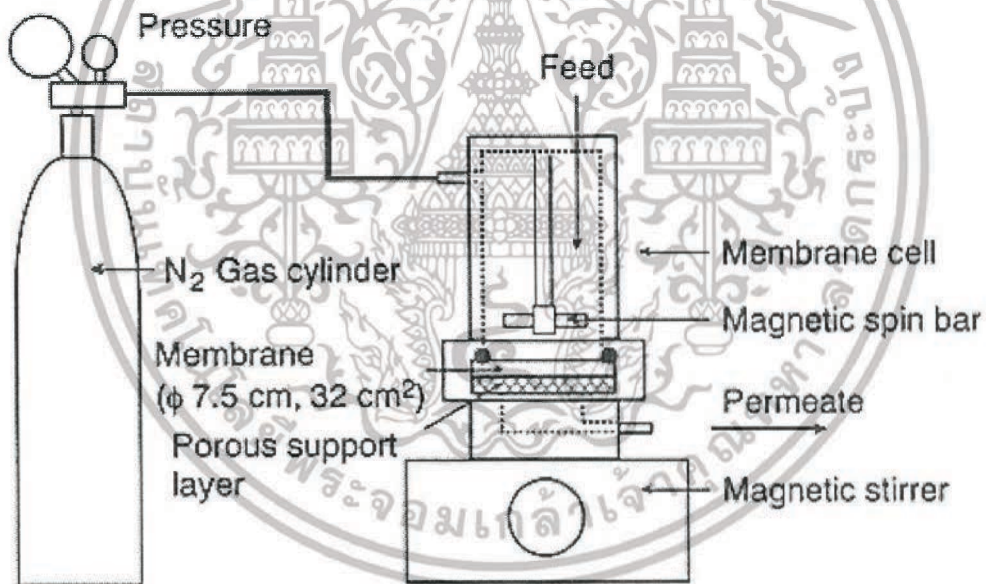
2.2.1 การใช้กระบวนการกรอง

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) ในการแยกองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์ม โอเลอิน 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 ของน้ำมันถั่วเหลือง จะพบสารประกอบ distillate เกิดขึ้น ซึ่งมักเป็นสารประกอบประเภท phytosterols, fatty acid steryl esters (FASEs), tocopherols และ squalenes และ Bockisch (1998) พบว่า distillate นี้ยังมีกรดไขมันอิสระ, polycyclic hydrocarbons และ อื่นๆอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ceriane และ Meirelless (2007) รายงานว่า กระบวนการ deodorization เป็นการทำให้ไขมันบริสุทธิ์โดยใช้ไอน้ำเพื่อกำจัดสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นและกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมันได้ โดยการใช้อุณหภูมิสูงและความดันต่ำ ในการศึกษาคุณภาพและความคงตัวของน้ำมัน ปกติจะใช้วิธีการศึกษาจากค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid value: FFA) ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value: PV) ค่าไอโอดีน (iodine value: IV) ค่าซาปอนิฟิเคชัน (saponification vale: SV) และค่าสี

Crexi et al. (2009) ได้ทำการศึกษากระบวนการ deodorization ของน้ำมัน croaker พบว่า สภาพที่ดีที่สุดของกระบวนการ deodorization คือใช้อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 นาที และใช้ไอน้ำไหลลงในน้ำมันร้อยละ 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) ได้ศึกษากระบวนการใช้ไอน้ำในการกำจัดกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม โดยมีแนวคิดว่าการบวนการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์แบบดั้งเดิมมีโอกาที่จะเกิดการสูญเสียไขมันในส่วนที่ดีไปกับกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เช่น การใช้ด่างในกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ หรือการใช้สารดูดซับในปริมาณที่ไม่เหมาะสม เป็นต้น โดยจากการทดลองพบว่า อุณหภูมิและปริมาณไอน้ำมีผลต่อการกำจัดกรดไขมันอิสระและสามารถควบคุมให้อยู่ในสถานะที่เหมาะสมได้

2.2.3 การใช้สารดูดซับ

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

Lin and Lin (2005) ได้ศึกษาใช้ regenerated clay ในการกำจัดกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมันถั่วเหลือง โดยศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนและหลังกระบวนการดูดซับโดยพบว่า ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันถั่วเหลืองในตอนเริ่มต้น จะมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ และจะลดลงจนถึงระยะเวลาในการดูดซับ 15 นาที จากนั้นพบว่า เมื่อระยะเวลาเกิน 15 นาทีในการดูดซับปริมาณไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

Lin and Lin (2009) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเถ้าเปลือกถั่วลิสงมาใช้ในการขั้นตอนการทำ degummed น้ำมันถั่วเหลือง เปรียบเทียบกับสารดูดซับชนิดอื่นพบว่า เถ้าจากเปลือกถั่วลิสงมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารประกอบที่ไม่ต้องการเป็นอย่างดี

2.2.4 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)

Swoboda (1985) and Christianne et al. (2007) ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทำน้ำมันปาล์มให้บริสุทธิ์โดยการสกัดด้วย ตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ สารผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำ และไอโซโพรพานอล (Iso-propanol) กับน้ำ โดยใช้ตัวทำละลายร้อยละ 25 ของน้ำหนักน้ำที่ผสมลงไป ผลที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือส่วนที่ไม่ถูกสกัด (raffinate) จะมีความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์เท่ากับหรือมากกว่าเดิม แต่ข้อดีของกระบวนการนี้คือมีของเสียและสารอาหารในน้ำมันปาล์มอาจสูญหายไปในส่วนที่ถูกสกัดได้

2.2.5 การสกัดสารด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical Fluid Extraction; SFE)

Ooi et al. (1996) ศึกษาพบว่าเทคโนโลยีนี้สามารถลดปริมาณของกรดไขมันอิสระลงจนมีระดับต่ำกว่าร้อยละ 0.1 และมีปริมาณของแคโรทีนสูงขึ้นกว่าการใช้เทคนิคอื่นๆ อีกทั้งสารประกอบเชิงซ้อนอื่นๆที่ไม่ต้องการก็ลดลงจนไม่ต้องผ่านขั้นตอนการกำจัดขางเหนียว Mohammed et al. (2012) เทคนิคนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะไม่ต้องใช้สารเคมี อีกทั้งยังสามารถกำจัด SC-CO₂ ได้ง่ายอีกด้วย แต่มีข้อจำกัดเรื่องเครื่องมือที่ทำการให้เป็นของไหลวิกฤตยิ่งยวดมีราคาสูงมาก

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* ทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ิเฟชันกับน้ำมันปาล์มดิบได้ไตรกลีเซอไรด์ 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; นิธิธา รัตนาปนธ์. 2543 และไพโรจน์ วิริยจารี. 2547)

2.3.1 การทอดแบบน้ำมันตื้น (shallow frying)

การทอดแบบน้ำมันตื้นเป็นการทอดชิ้นอาหารในกระทะที่มีปริมาณน้ำมันเพียงเล็กน้อย โดยมีระดับน้ำมันในกระทะประมาณ ½-1 นิ้ว น้ำมันจะไม่ท่วมชิ้นอาหารทั้งชิ้น วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงเช่น เบคอน ไช้ เบอร์เกอร์ และพายชนิด ความหนาของชั้นน้ำมันแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของผิวหน้าของอาหาร ถ้าชั้นน้ำมันบางฟองไอน้ำเดือดจะทำให้อาหารเคลื่อนที่ขึ้นลงบนผิวร้อนของกระทะ การกระจายความร้อนจึงไปสม่ำเสมอ ทำให้ผิวหน้าของอาหารไหม้เกรียมทั้งชิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารที่ทอดแบบน้ำมันตื้นมีสีน้ำตาลไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามวิธีทอดแบบนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวสูง 200-450 W/m²K (นิธิยา รัตนานนท์. 2543 และไพโรจน์ วิริยจารี. 2547)

2.3.2 การทอดแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying)

การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นการทอดอาหารในน้ำมันที่มีปริมาณมากเพียงพอที่จะท่วมอาหารทั้งชิ้น การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้เป็นทั้งการพาความร้อนในน้ำมันร้อนและการนำความร้อนจากภายในอาหาร ผิวของอาหารทั้งหมดจะได้รับความร้อนใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ การทอดแบบน้ำมันท่วมเหมาะสำหรับอาหารทุกรูปปร่างแต่อาหารที่มีรูปร่างไม่แน่นอนจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีรูปร่างแน่นอนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก่อนเกิดกระเหยเท่ากับ 250-300 W/m²K และเพิ่มขึ้นเป็น 800-1000 W/m²K เนื่องจากเกิดความผันผวนของไอที่หนีออกจากอาหาร อย่างไรก็ตามถ้าอัตราการระเหยสูงเกินไปจะเกิดฟิล์มบางๆของไอน้ำอยู่บนผิวอาหารทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง (นิธิยา รัตนานนท์. 2543 และไพโรจน์ วิริยจารี. 2547)

2.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันและน้ำมันในระหว่างการทอด

2.4.1 ปฏิกิริยาไลโปไลซิส (lipolysis reaction)

เป็นการแตกสลายของโมเลกุลของไขมันและน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงเคมีเนื่องจากปฏิกิริยาต่างๆ ดังนี้คือ การแตกของพันธะเอสเทอร์ของลิพิด ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาที่เร่งโดยเอ็นไซม์หรือเร่งโดยความร้อนร่วมกับความชื้น ทำให้ได้กรดไขมันอิสระซึ่งกรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายกว่ากรดไขมันที่อยู่ในรูปแบบเอสเทอร์ของกลีเซอรอล จึงเป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของน้ำมันที่ใช้ในการทอด เพราะความชื้นจากอาหารที่ถ่ายเทมายังน้ำมัน และอุณหภูมิสูงของน้ำมันในขณะทอด และการเกิดไลโปไลซิสของน้ำมัน จะทำให้จุดเกิดควันของน้ำมันที่ผ่านการทอดลดลง เพราะน้ำมันมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น สำหรับเอ็นไซม์ในสัตว์นั้นจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาไลโปไลซิสเมื่อสัตว์ตายลง ดังนั้นไขมันที่ได้จากสัตว์ควรรีบให้ความร้อน เช่น การเจียวมันหมูเพื่อทำลายเอ็นไซม์สำหรับน้ำมันดิบนั้นจะเกิดปฏิกิริยาไลโปไลซิสแล้วให้กรดไขมันขนาดเล็ก ซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไปจนเกิดกลิ่นเหม็นหืน (rancid flavor) ส่วนไขมันที่ได้จากพวกเมล็ดต่างชนิดกันจะเกิดปฏิกิริยาไลโปไลซิสจนได้กรดไขมันอิสระในปริมาณที่แตกต่างกันไปเมื่อแก่จัดและถูกเก็บเกี่ยว ดังนั้นหลังการสกัดไขมันจากพืชจึงต้องสะเทินกรดไขมันอิสระด้วยสารละลายต่าง

2.4.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation)

เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนทำให้อาหารที่มีน้ำมันหรือไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่เกิดการเปลี่ยนแปลงจนได้กลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารลดลง สารที่เกิดขึ้นบางชนิดมีแนวโน้มเป็นสารพิษ อย่างไรก็ตามการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในสถานะที่ควบคุมจนได้ระดับปฏิกิริยาที่เหมาะสมก็ทำให้อาหารมีกลิ่นรสที่พึงประสงค์ เช่น การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในเนยแข็งที่บ่มหรือการเกิดกลิ่นรสของอาหารทอดบางชนิดซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

2.4.3 ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (hydrolysis)

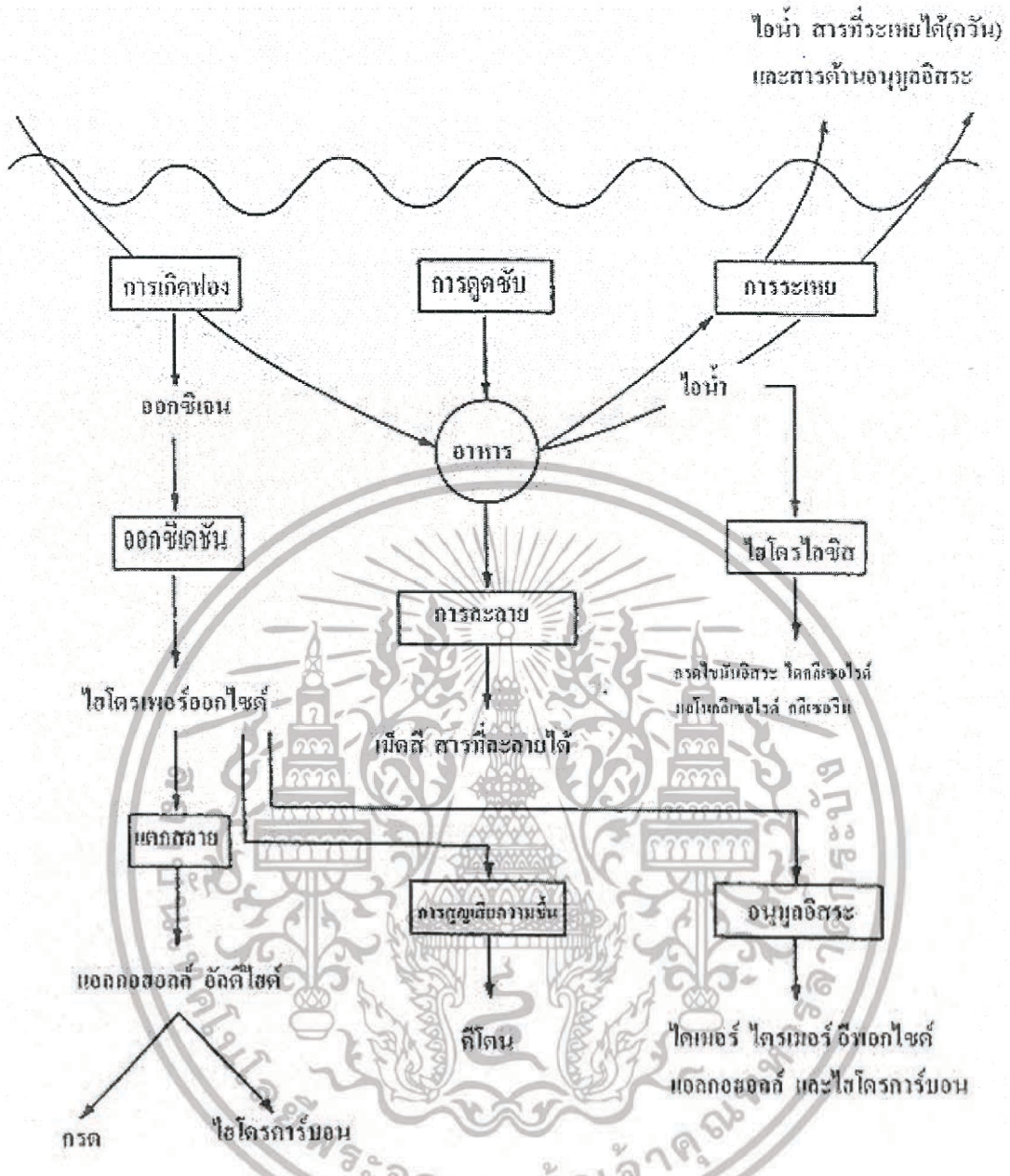
เป็นการเติมไฮโดรเจนเข้าไปยังคาร์บอน ณ ตำแหน่งที่ไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน ทำให้กรดไขมันเปลี่ยนจากชนิดที่ไม่อิ่มตัวมาเป็นชนิดที่อิ่มตัว ทำให้เปลี่ยนจากน้ำมันมาเป็นไขมันเนื่องจากเมื่อกรดไขมันอิ่มตัวมากขึ้นจุดหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้นจึงทำให้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง นิยมใช้ในการทำเนยขาวและเนยเทียม อย่างไรก็ตามระหว่างกระบวนการทำไฮโดรจีเนชันจะทำให้กรดไขมันจำนวนหนึ่งถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปทรานส์ไอโซเมอร์ การผลิตเนยขาวหรือเนยเทียมในระดับอุตสาหกรรมมีการผ่านกาซไฮโดรเจนที่ความดันสูงลงน้ำมันโดยใช้ไอออนของโลหะหนัก เช่น นิกเกิลหรือแพลตินัมเป็นสารเร่งปฏิกิริยา

2.4.4 ปฏิกิริยาฮาโลจีเนชัน (halogenation)

เป็นการเติมสารจำพวกฮาโลเจนเข้าไปยังคาร์บอน ณ ตำแหน่งที่ไม่อิ่มตัวของกรดไขมันจึงทำให้สามารถใช้ปฏิกิริยานี้ตรวจสอบหาระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน โดยการเติมไอโอดีนในสภาวะที่เป็นกรดและในที่ที่ไม่มีแสงสว่าง ทั้งนี้เพราะเมื่อมีแสงแทนที่ไอโอดีนจะถูกเติม ณ คาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว ไอโอดีนจะไปแทนที่ไฮโดรเจนในคาร์บอนที่อิ่มตัวมากกว่า การหาระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันโดยการเติมไอโอดีนทำให้ได้ค่าไอโอดีนดังกล่าวแล้วในหัวข้อสมบัติทางเคมีของไขมันและน้ำ

2.4.5 ปฏิกิริยาการสลายตัวของน้ำมันเนื่องจากความร้อนสูง

เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนสูง เช่น การทอดอาหารในน้ำมันที่อุณหภูมิสูง น้ำมันที่ใช้ในการทอดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ พร้อมกันคือ ไขมันสัมผัสกับอากาศจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็วจนในที่สุดได้กรดอินทรีย์และสารไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยง่ายและคีโตน ไตรเมอร์ อีพอกไซด์ แอลกอฮอล์ และไดเมอร์ภายใต้ความร้อนสูง ในขณะที่เดียวกันไอน้ำที่ระเหยออกจากอาหารจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร ทำให้ได้กรดไขมันอิสระ ไดกลีเซอไรด์ มอโนกลีเซอไรด์และกลีเซอริน นอกจากนี้อาหารที่ทอดจะละลายสารบางชนิดที่ละลายได้ในน้ำมันออกมาสู่น้ำมัน ปฏิกิริยาต่างๆ 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 และยังอาจจะเกิดพันธะขึ้นใหม่ภายในโมเลกุลของสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลหรือ คาร์บอนิล ได้เป็นอีพอกไซด์ หากได้รับความร้อนในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะที่ไม่มีอากาศจะรวมตัวกันได้ ไคโมเมอร์ พอลิเมอร์ หรือวงแหวน ตัวอย่างเช่น การให้ความร้อนแก่ส่วนผสมของกรดโอเลอิกและกรดลิโนเลนิก อัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง พบว่า เกิดเป็น ไคโมเมอร์ร้อยละ 83 พอลิเมอร์ร้อยละ 15 และมอนอเมอร์ร้อยละ 3 (นิธิยา รัตนาปนนท์. 2543)

เมื่อนำน้ำมันที่ผ่านความร้อนไปเลี้ยงสัตว์ทดลอง พบว่า ทำให้เกิดอาการเบื่ออาหาร ท้องร่วง ใต้ตับ และเนื้อเยื่อหลายชนิดมีลักษณะเปลี่ยนไป นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าไขมันที่ผ่านความร้อน อาจจะทำหน้าที่เป็นส่วนร่วมก่อมะเร็ง (co carcinogen) หรือสารเร่งการเกิดเนื้องอก (tumor promoter) ได้ ซึ่งได้มีการทดลองในสัตว์ทดลองโดยใช้ไขมันข้าวโพดที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง หรือน้ำมันที่เหลือจากการทอดมันฝรั่งเมื่อนำไปให้สัตว์ทดลองกินร่วมกับสารก่อมะเร็ง คือ อะซิทิลอามิโนฟลูออรีน (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 ที่บริโภคเข้าไปมีผลต่อการเกิด โรคเส้นเลือดหัวใจอุดตัน และ Liu et al. (2007) ได้พบว่า TFAS จะมีมากขึ้น ในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนน้ำมัน Bansal et al. (2009) พบว่า เมื่อนำวัตถุดิบที่มี TFAS ในองค์ประกอบจะสามารถแปรลงสู่น้ำมันที่ใช้ทอดได้ด้วย ปริมาณจะมากขึ้นขึ้นอยู่กับปริมาณเริ่มต้นที่มีอยู่ในอาหาร

2.6 ดัชนีที่ใช้ควบคุมคุณภาพของน้ำมันบริโภค

2.6.1 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

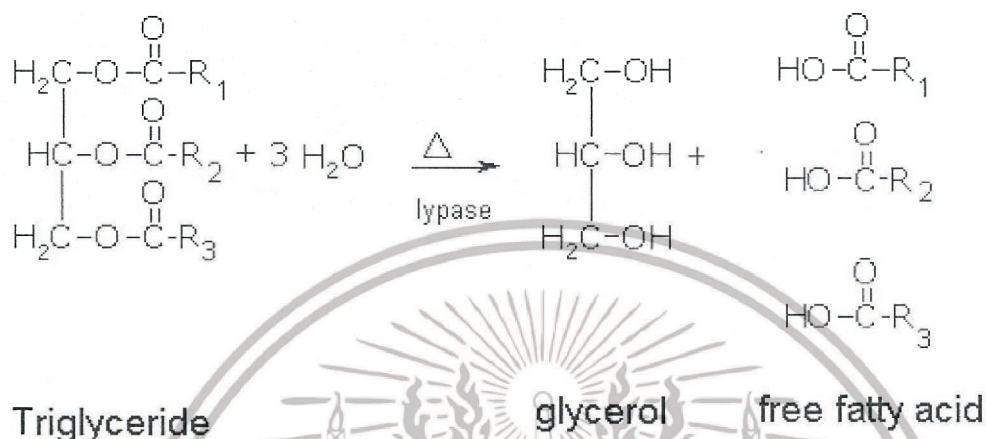
เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน (rancidity) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันและไขมันรวมทั้งอาหารที่มีไขมันสูง เช่น อาหารทอด ได้แก่ ถั่วปากอ้าทอด ถั่วทอดแผ่น (นิธิยา รัตนาปนนท์. 2543)

Peroxide value คือ ปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมันและไขมัน หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเป็นกรด (acid value) เป็นค่าที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำมันและไขมัน โดยเป็นค่าที่บ่งชี้ว่าไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ที่เป็นส่วนประกอบหลักในไขมันและน้ำมัน ถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) โดยมีเอนไซม์ไลเปส (lipase) และความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์คือกลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ ซึ่งทำให้น้ำมันและไขมันมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2543)



ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ค่าความเป็นกรดของไขมันหรือน้ำมัน คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ซึ่งค่าที่ได้สามารถนำมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ ได้ค่า acid value เป็นค่าที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันและไขมัน สำหรับทอด (frying oil) ระหว่างการทอด (frying) และคุณภาพของอาหารที่มีปริมาณไขมันสูง ได้แก่ อาหารทอด เช่น บะหมี่กึ่งสำเร็จรูประหว่างการเก็บรักษา หากค่าความเป็นกรดสูง แสดงว่าน้ำมันเสื่อมคุณภาพ มีจุดเกิดควัน (smoke point) ต่ำลง และเป็นสาเหตุเริ่มต้นของการเกิดกลิ่นหืน (rancidity) นอกจากนี้ยังมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (lipid oxidation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาถูกโซ่ ซึ่งทำให้เกิดการหืนอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2543)

2.6.3 ค่าพาราแอนิซีน (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 รัตนาปนนท์, 2543)

2.6.4 ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (polar compound) เช่น น้ำมัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบมีขั้วเกิดจากไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีขั้วในน้ำมันถูกไฮโดรไลซิส ออกซิไดซ์ และโพลีเมอร์ไรซ์ ได้สารประกอบมีขั้ว เช่น กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ออกซิไดส์ไตรกลีเซอไรด์ ไชคลิกโมโนเมอร์ ไดเมอร์และโพลีเมอร์ของไตรกลีเซอไรด์ ไดเมอร์และโพลีเมอร์ที่ถูกออกซิไดส์ ดังนั้นสารประกอบมีขั้วจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพและการยอมรับของน้ำมันใช้แล้วในทุกประเทศ หากมีสารประกอบมีขั้วมากในน้ำมันทอดจะมีผลต่อกลิ่นรส และคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารโดยทั่วไปจึงอนุญาตให้น้ำมันใช้แล้วมีปริมาณของสารประกอบมีขั้วไม่มากกว่าร้อยละ 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 aldehydeแล้วจะให้ 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 และวิธีการกำจัดสี โดยการฟอกสี น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะคุณภาพดีกว่า น้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม อาหารที่ทอดจะให้สารพวกฟอสเฟต และซัลเฟอร์ซึ่งสารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำมันทอดทำให้น้ำมันมีสีดำ และจะสะสมอยู่ในน้ำมันระหว่างการทอดอาหาร เมื่อน้ำมันดำขึ้นหลังจากการทอด อาหารที่ทอดในน้ำมันจะมีสีดำในอัตราที่รวดเร็วมากจนถึงจุดซึ่งอาหารที่ทอดจะดำทั้งที่ยังไม่สุกหมด

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภาคภูมิ อุณหเลขจิตร (2559) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระยะเวลาต่อการเกิดสาร โพลาร์ ใน น้ำมันที่ใช้ทอดอาหารประเภทเนื้อและแป้ง จากการตรวจสอบตัวอย่างน้ำมันทุก 3 ชั่วโมง ด้วยชุดทดสอบสาร โพลาร์ ผลการวิจัยพบว่าระยะเวลาและจำนวนครั้งของการทอด น้ำมัน 2 ชนิด ได้แก่ น้ำมัน เเอกสาร เป็นเเอกสารที่ส่งวนเวลาหรับการเข่งในเพอการศกษาเท่านั้น เมอนุญเตเห็นาไปเซประโยชน์ด้านกรการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปาล์ม และ น้ำมันถั่วเหลือง มีความสัมพันธ์ต่อการเพิ่มขึ้นของสารโพลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P -value < 0.001 ในขณะที่น้ำมันรำข้าวไม่มีความแตกต่าง จึงมีความเป็นไปได้ว่าน้ำมันรำข้าวเป็นทางเลือกของผู้ประกอบการ และส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ 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

เทศโก้โลตัส, ไทย

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol, C_2H_5OH)

Merck, เยอรมนี

3.1.2.2 สารละลายฟีนอล์ฟธาเลอิน (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 อุปกรณ์ชั่งตวงวัดการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว

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 เครื่องกรองสูญญากาศ

ABMGreifengerger, เยอรมนี

3.2.8 เครื่องระเหยสูญญากาศ รุ่น R-200

Buchi, ญี่ปุ่น

3.2.9 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง รุ่น ARC 120

Ohuau, 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 หม้อทอดขนาดความจุ 5 ลิตร

Princess, จีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
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 สร้างอุปกรณ์ยัดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว

โดยใช้หลักการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อนำมาทำให้เกิดฟองไอน้ำ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนกับน้ำมันทอดใช้แล้ว เพื่อให้ สารประกอบต่างๆที่ไม่ต้องการในน้ำมันทอดใช้แล้ว เช่น กรดไขมันอิสระ และสารประกอบที่มีขี้ ที่เกิดขึ้นกับน้ำมันทอดใช้แล้ว ในระหว่างการใช้งาน แพร่เข้าสู่ไอน้ำที่มีขนาดเล็ก และ ระเหย ออกจากน้ำมันทอดใช้แล้ว และควบแน่นภายนอก อุปกรณ์ยัดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว จะใช้วัสดุ ที่สามารถหาได้ง่ายภายในประเทศ ซึ่งง่ายต่อการสร้าง และสามารถติดตั้ง และ ถอดประกอบ ได้ง่าย ซ่อมแซมและดูแลรักษาได้ง่าย เคลื่อนย้ายสะดวก อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิ ในการจ่ายไอน้ำได้

3.3.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้

โดยนำตัวอย่างน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์จำนวน 4 ลิตร ไปทอดกับตัวอย่างมันฝรั่งแห้ง ทำการทอดแบบ deep fat frying ด้วยอัตราส่วนน้ำมันทอดต่อมันฝรั่งแห้ง 4:1 (w/w) ใช้เวลาทอด 10 นาที ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นพักน้ำมันทอดทิ้งไว้ในภาชนะสเตนเลสแบบเปิด เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากครบ 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างน้ำมันกลับมาทอดกับมันฝรั่งแห้งชุดใหม่ โดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ใส่ลงไป ทำการทอดซ้ำต่อเนื่อง เป็นเวลาทั้งหมด 4 วัน จากนั้นเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้ว โดยนำตัวอย่างน้ำมันมาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีดังนี้

3.3.2.1 ด้านกายภาพ

3.3.1.2.1 ค่าความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer, สหรัฐอเมริกา) ตามวิธีในภาคผนวก ก2

3.3.1.2.2 ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab Colorimeter, Minolta, สหรัฐอเมริกา) ตามวิธีใน ภาคผนวก 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 วิเคราะห์ค่าพาราแอนนิซีดีน (AOCS., 1998)

3.3.2.2.4 วิเคราะห์ค่าความเป็นขี้ โดยใช้เครื่อง Ebro™ electronic (FOM 310) วัดที่อุณหภูมิ 150±1 องศาเซลเซียส (Wei-an C. et al. 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม ในการให้ไอน้ำกับน้ำมันทอดใช้แล้วเพื่อให้ได้น้ำมันที่บริสุทธิ์มากขึ้น

นำตัวอย่างน้ำมันทอดใช้แล้วที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้จากข้อที่ 3.3.2 มาศึกษาหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม ในการให้ไอน้ำกับน้ำมันทอดใช้แล้วเพื่อให้ได้น้ำมันที่บริสุทธิ์มากขึ้น นำตัวอย่างน้ำมันทอดใช้แล้วที่เตรียมได้ไปผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้โดยปรับระดับอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 180 200 และ 240 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการให้ไอน้ำ 30 60 และ 90 นาที ตามลำดับ ด้วยความดันสุญญากาศ 0.7 บาร์ (ดัดแปลงวิธีจาก Crexi et al. 2009) จากนั้นเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ที่อุณหภูมิ 180 200 และ 240 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาการให้ไอน้ำ 30 60 และ 90 นาที ตามลำดับ ด้วยความดันสุญญากาศ 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 จากนั้นน้ำมันฝรั่งแท่งที่ได้ภายหลังการทอดมาตรวจวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบกับมันฝรั่งแท่งที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์มใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ดังนี้

3.3.4.1 วิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของน้ำมันที่ใช้ทอดแต่ละวันเปรียบเทียบกับน้ำมันใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบ โดยเก็บตัวอย่างน้ำมันหลังทอดเสร็จในแต่ละวัน จำนวน 100 มิลลิลิตรใส่ขวด PET เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านกายภาพและเคมี เช่นเดียวกับข้อ 3.3.2

3.3.4.2 วิเคราะห์คุณภาพของมันฝรั่งแท่งที่ได้ภายหลังการทอดและระหว่างการเก็บรักษา 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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.2.3 ทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างมันฝรั่งโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ให้คะแนนความชอบด้วยวิธี 7- point Hedonic scale scoring test (ไพโรจน์. 2547)

3.3.5 ศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้

เก็บรักษาตัวอย่างน้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้จากข้อ 3.3.3 ไว้ในขวด PET ขนาด 300 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 15 วัน และตลอดอายุการเก็บรักษาจะนำตัวอย่างน้ำมันมาวิเคราะห์หาค่าทางเคมีทุกๆ 5 วัน โดยวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีต่างๆเช่นเดียวกับข้อ 3.3.2 (ยกเว้นการวิเคราะห์ค่าความเป็นขี้)

3.3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

รวบรวมข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ทางด้านกายภาพและทางด้านเคมี มาหาความแตกต่างของข้อมูล โดยในข้อ 3.3.2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยมีประเภทของน้ำมันปาล์มเป็นตัวแปรต้น และมีค่าความหนืด สี ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซีดิน และค่าความเป็นขี้เป็นตัวแปรตามและนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ 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 วางแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (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 และสารประกอบที่มีขี้ด้วย ใช้ไอน้ำ (deodorizer) ซึ่งอ้างอิงโดย Ceriane และ Meirelles (2007); Woerfel (1995); Verleyen et al. (2001); Crexi et al. (2009) และ Sampaio et.al. (2011) และเนื่องจากกระบวนการกำจัด สารประกอบต่างๆที่ไม่ต้องการในน้ำมันทอดใช้แล้ว เป็นการใช้น้ำเพียงอย่างเดียว ไม่ได้มีการใช้สารเคมี จึงมีความปลอดภัยในการใช้งาน และเนื่องจากน้ำที่จะนำมาใช้ในการผลิต ไอน้ำ มีราคาถูก จึงสามารถลดต้นทุนในการดำเนินงานได้



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

จากภาพที่ 4.1 แสดงภาพตัวถังของอุปกรณ์ยืดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว มีคุณสมบัติพื้นฐานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวถังผลิตจากสแตนเลส เบอร์ 304 หนา 2 มิลลิเมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ลึก 50 เซนติเมตร บริเวณก้นถังทำการปั๊มบุน เพื่อวัตถุประสงค์ให้ของเหลวที่อยู่ในถังสามารถนำออกสู่ภายนอก ผ่านวาล์วด้านล่างก้นถังได้โดยง่าย ซึ่งการทำปั๊มบุนลึกลงไปบริเวณก้นถังจะเป็นการรวบรวมของเหลว ลงสู่ท่อได้โดยง่าย

บริเวณปากถังมีปากกว้าง 6 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร เซาะร่องบริเวณกลางปากกว้าง 1 เซนติเมตร ลึก 2 มิลลิเมตร ซึ่งปากนี้จะเพิ่มความแข็งแรงให้กับตัวถัง และใช้เป็นที่ยึดและรับน้ำหนักฝาบนของเครื่อง ฝาถังทำจากสแตนเลส เบอร์ 304 หนา 2 มิลลิเมตร จำนวน 1 วาล์ว ฝาบนจะทำปั๊มบุน บริเวณด้านบนของ ฝาจะติดตั้ง วาล์วสแตนเลส เบอร์ 304 ขนาด 3/8 นิ้ว เพื่อใช้ในการควบคุมการปล่อยอากาศ ทำให้ภายใน ถังมีความดันเท่ากับบรรยากาศในกรณีต้องการเปิดฝาทิ้งอย่างรวดเร็ว และ ติดตั้งเกจวัดความดันแบบ สูญญากาศ เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ติดตามการเปลี่ยนแปลงความดันภายในถัง

บริเวณ โดยรอบถังระยะห่างจากบ่าลงมา 10 เซนติเมตร จะประกอบด้วยวาล์วสแตนเลสเบอร์ 304 ขนาด 3/8 นิ้ว จำนวน 2 วาล์ว โดยวาล์วแต่ละวาล์วอยู่ห่างกันในระยะที่เท่ากัน โดยวาล์วสแตนเลสเหล่านี้ จะทำหน้าที่เป็นทางออก และทางเข้าของสิ่งที่ต้องการส่งออกและนำเข้าตัวถัง และ บริเวณด้านล่างก้นถัง ที่ปั๊มบุนจะประกอบด้วยวาล์ว สแตนเลสขนาด 3/8 นิ้ว 1 วาล์ว และบริเวณวาล์วด้านล่างนี้จะต่อท่อสแตนเลสเพิ่มเติม เพื่อใช้เป็นทางไหลออกของน้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยไอน้ำแล้ว



ภาพที่ 4.2 ส่วนควมแน่นของอุปกรณ์ยึดอายุการใช้งานของน้ำมันทอดใช้แล้ว

ภาพที่ 4.2 เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ควมแน่นไอน้ำและสารประกอบต่างๆที่ไม่ต้องการในน้ำมันทอด ใช้แล้ว ที่เป็นไอระเหยความดันต่ำจากตัวถังของอุปกรณ์ เพื่อให้ไอระเหยที่ระเหยออกจากอุปกรณ์ถูก ลดอุณหภูมิและควมแน่นเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง เพื่อไม่ให้ไอระเหยหลุดลอดเข้าไปในปั๊มสูญญากาศ ซึ่งอุปกรณ์นี้ทำจากสแตนเลส เบอร์ 304 มีความยาว ไม่รวมข้อต่อต่างๆเท่ากับ 120 เซนติเมตร มี เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร บริเวณใจกลางอุปกรณ์มีท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นท่อ น้ำหล่อเย็นเข้าทางด้านล่าง ออกทางด้านบน ปลายท่อทั้งทางด้านน้ำหล่อเย็นเข้าและน้ำหล่อเย็นออกทำ ข้อต่อเป็นลักษณะหางปลาไหล เพื่อสะดวกในการต่อสายยางซิลิโคน ท่อหล่อเย็นนี้จะทำหน้าที่ แลกเปลี่ยนความร้อนจากไอระเหยที่ระเหยมาจากตัวถังของอุปกรณ์ เพื่อให้ไอระเหยมีอุณหภูมิลดต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือจำหน่าย การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนสามารถควบคุมแน่นเป็นของเหลว ซึ่งจะป้องกันการหลุดรอดเข้าไปในบีม์สุญญากาศได้ นอกจากนี้ อุปกรณ์ควบคุมแน่นไอระเหย ยังประกอบด้วย ท่อไอระเหยที่มาจาก ตัวถังของอุปกรณ์ และท่อไอระเหยที่ควบคุมแน่นแล้วออก ซึ่งท่อทั้งสองมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.25 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ซึ่งท่อไอระเหยจะอยู่ทางด้านล่าง สูงห่างจากฐานอุปกรณ์ควบคุมแน่นไอระเหย 15 เซนติเมตร ส่วนท่อไอระเหยออกจะอยู่ทางด้านบน สูงห่างจากขอบบนของอุปกรณ์ควบคุมแน่นไอระเหย 15 เซนติเมตร ปลายท่อทั้งทางด้านไอระเหยเข้าและไอระเหยออกทำข้อต่อเป็นลักษณะหางปลาไหล เพื่อสะดวกในการต่อสายยางซิลิโคน ท่อไอระเหยเข้านี้จะทำหน้าที่นำไอระเหย ที่ระเหยมาจาก ตัวถังของอุปกรณ์ ส่วนท่อไอระเหยออกจะทำหน้าที่นำอากาศหรืออากาศที่อาจมีไอระเหยอยู่น้อยที่หลุดรอดจากการควบคุมแน่นไปสู่ระบบบีม์สุญญากาศต่อไป สำหรับท่อตัวไอระเหยที่ควบคุมแน่นแล้ว ออก จะเชื่อมต่อบริเวณด้านล่างของ ฐานอุปกรณ์ควบคุมแน่นไอระเหย ซึ่งมีความยาว 20 เซนติเมตร ปลายท่อทำข้อต่อเป็นลักษณะหางปลาไหล เพื่อสะดวกในการต่อสายยางซิลิโคน ท่อไอระเหยออกนี้จะทำหน้าที่นำตัวไอระเหยที่ควบคุมแน่นเป็นของเหลวแล้ว ออกจากอุปกรณ์ควบคุมแน่นไอระเหย เพื่อนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นต่อไป



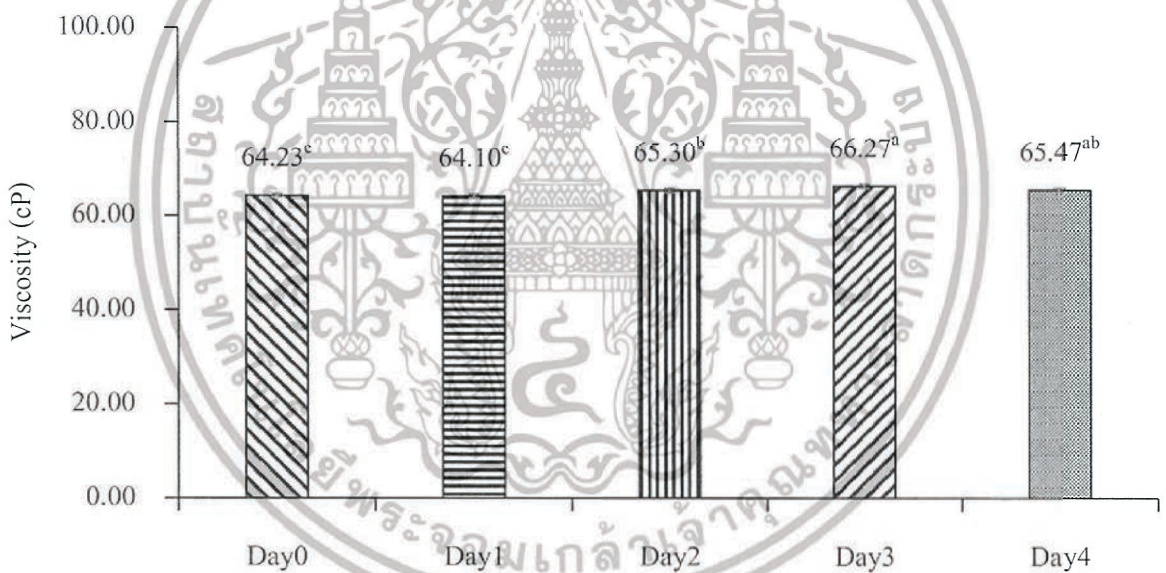
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเซนต์โยเซฟคอนเวนต์ มิฉะนั้นให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 โมเลกุลของน้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในสภาพไม่มีออกซิเจนและให้พอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลสูงหรือให้สารประกอบ ไซคลิกทำให้น้ำมันมีความหนืดสูงขึ้น (ถาวร อริยภุชชัย, 2550)



ภาพที่ 4.4 ค่าความหนืดของน้ำมันทอดแล้วเป็นเวลา 4 วัน

จากภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าค่าความหนืดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาทอดเพิ่มมากขึ้น โดยค่าความหนืดเริ่มต้น (วันที่ 0) อยู่ที่ 64.23 ± 0.67 cP และเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 65.47 ± 0.57 และ 66.27 ± 0.42 cP ในวันที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Razali and Badri (2003) ได้ศึกษาการทอดมันฝรั่งแท่ง (french fries) ที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 64-65 ในน้ำมันถั่วเหลืองที่มีกรดลิโนเลอิกร้อยละ 54 และ ลิโนเลนิกร้อยละ 9 หลังจากการทอดเป็นเวลา 5 วัน พบว่ามันฝรั่งแท่งเหลือความชื้นร้อยละ 32-35 ในขณะที่ปริมาณสารประกอบพอลิเมอร์ในน้ำมันเริ่มต้นเป็นร้อยละ 0.84 แต่เมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทอดเป็นเวลา 5 วัน ปริมาณสารประกอบโพลีเมอร์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 8.29 ส่งผลทำให้ความหนืดของน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น

4.2.1.2 สี

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.1 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มที่ถูกทอดต่อเนื่อง 4 วัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีในแต่ละวันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยค่าความสว่าง (L^*) มีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้นวันที่ 0 มีค่าเท่ากับ 98.80 ± 0.05 เมื่อทอดซ้ำต่อเนื่องโดยไม่เติมน้ำมันใหม่ผสมเป็นเวลา 4 วัน ค่าความสว่างลดลงเหลือ 82.58 ± 0.04 การเปลี่ยนค่าความสว่างของน้ำมันส่งผลทำให้น้ำมันทอดมีสีที่เข้มขึ้นพิจารณาได้จากค่าสีแดง (a^*) ที่มีค่าเพิ่มขึ้นจากวันที่ 1 เท่ากับ 6.01 ± 0.06 เมื่อทอดซ้ำ 4 วัน มีค่าเท่ากับ 6.85 ± 0.02 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเป็นผลมาจากการใช้ความร้อน ความร้อนจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และ พอลิเมอไรเซชัน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเหล่านี้จะทำให้ค่าสีของน้ำมันทอดเปลี่ยนไป โดยเฉพาะหากมีการทอดซ้ำยังเป็นตัวเร่งในการเกิดปฏิกิริยา (Andrali et al. 2010 ; Choe and Min. 2007) และอาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม กระบวนการไฮโดรจิเนชันบางส่วน (partial hydrogenation) ในน้ำมันบริโภคมีผลต่อการลดแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุของสีแดง เหลืองที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม และความกระจัดของสี (Mounts. 1981)

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำมันทอดเป็นเวลา 4 วัน

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

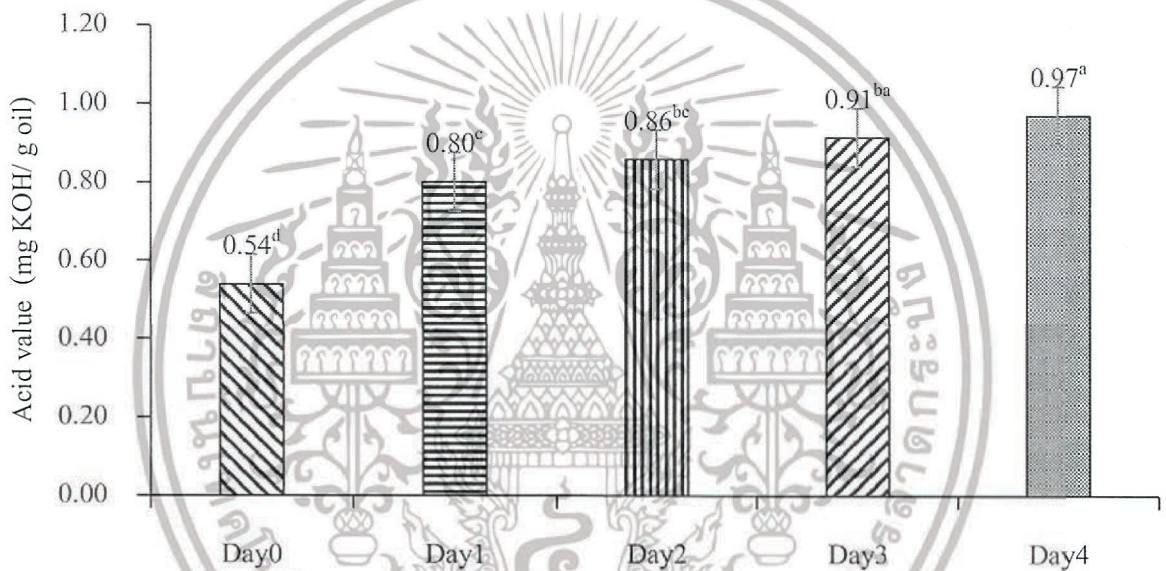
หมายเหตุ: ^{a-c} อักษรที่แตกต่างแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันทอดแล้วเป็นเวลา 4 วัน

4.2.2.1 ค่าความเป็นกรด

จากผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรดของน้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยค่าสูงสุดอยู่ที่ 0.97 ± 0.03 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัมไขมัน (ภาพที่ 4.5) จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ.2543 ว่าด้วยเรื่องน้ำมันและไขมัน กำหนดให้มีค่าความเป็นกรดค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัมสำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี ตัวอย่างน้ำมันปาล์มทอดที่นำมาวิเคราะห์มีค่าเกินมาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดนั้นถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสโดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตผลเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ เมื่อเกิดกรดไขมันอิสระมากจะทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำมันสูงขึ้น จากงานวิจัยของ Diop et al. (2014) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของการทอดแบบน้ำมันท่วมต่อคุณภาพทางเคมีของน้ำมันพืชในระดับครัวเรือน พบว่าค่าความเป็นกรดของน้ำมันก่อนทอดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.33 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัมไขมัน ภายหลังจากทอดปลา เนื้อ และมันฝรั่ง ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 1.08 0.73 และ 0.51 ตามลำดับ

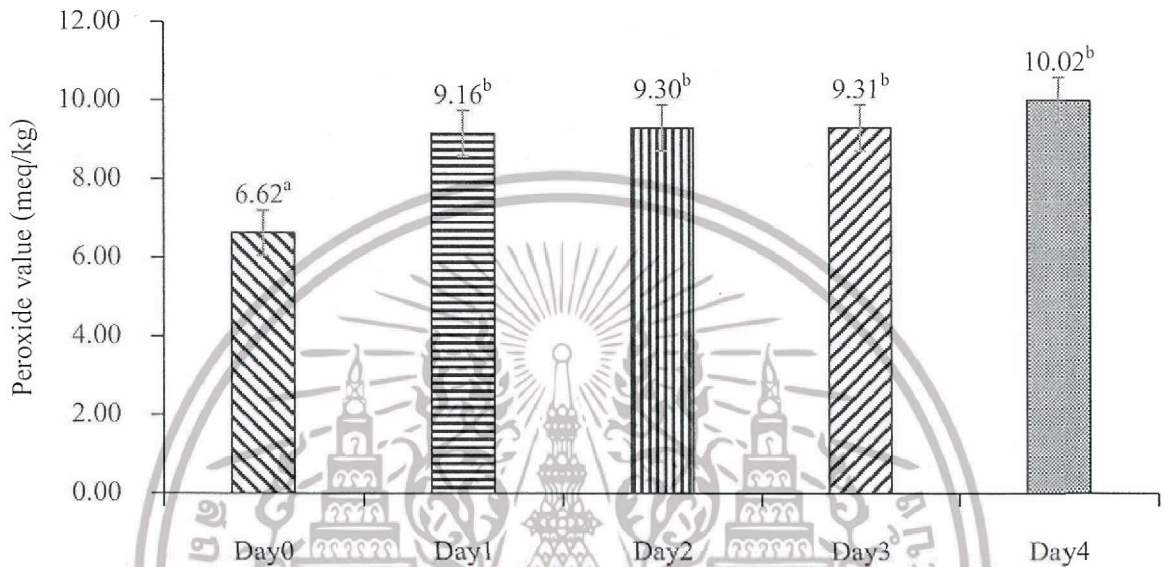


ภาพที่ 4.5 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดเป็นเวลา 4 วัน

4.2.2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน จากผลการทดลองตัวอย่างน้ำมันปาล์มทอดแล้วเป็นเวลา 4 วัน มีค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้น(วันที่ 0) มีค่าเท่ากับ 6.62 ± 0.42 มิลลิอิกวิวาเลนท์ต่อกิโลกรัม และสูงสุด (วันที่ 4) เท่ากับ 10.02 ± 0.91 มิลลิอิกวิวาเลนท์ต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 4.6) ซึ่งพบว่าเกินมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 205) พ.ศ.2543 ว่าด้วยเรื่องน้ำมันและไขมัน กำหนดให้มีค่าเปอร์ออกไซด์ได้ไม่เกิน 10 มิลลิอิกวิวาเลนท์ต่อกิโลกรัม การเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์เกิดจากการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ผลิตภัณฑ์ขั้นแรกของปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งสามารถสังเกตการสลายตัวได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามจะมีบางส่วนของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่ไม่สลายและระเหยออกจากระบบเนื่องจากมีน้ำหนักรวมมาก เช่น แอลดีไฮด์และคีโตน สารประกอบเหล่านี้จะก่อตัวกันเกิดเป็นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

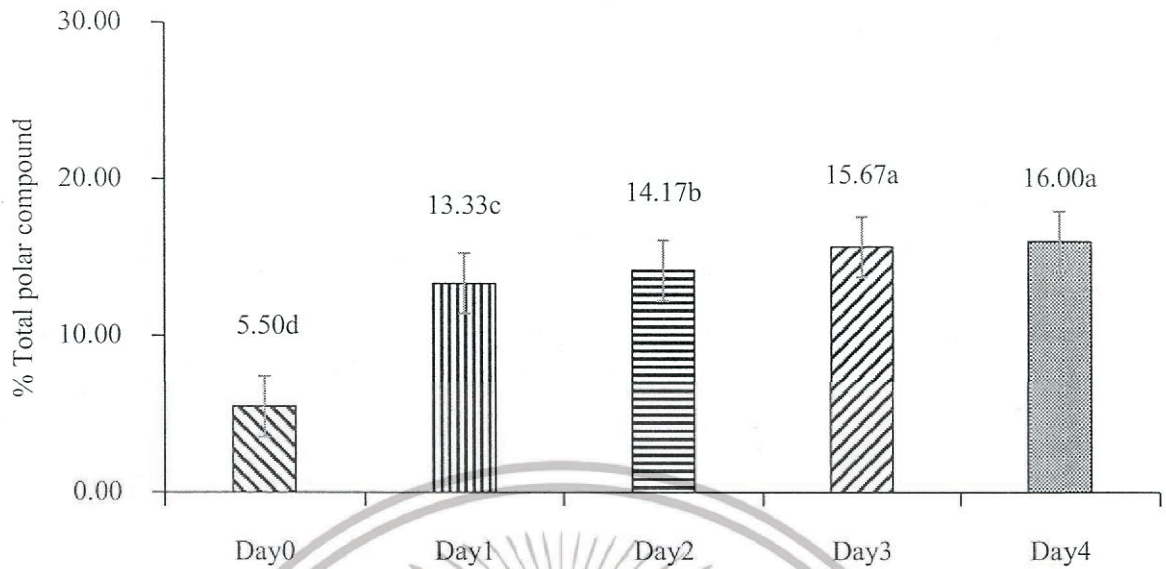


ภาพที่ 4.6 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดเป็นเวลา 4 วัน

4.2.2.3 ค่าความเป็นขี้

จากผลการทดลอง ภาพที่ 4.7 แสดงถึงผลของการวิเคราะห์ค่าความเป็นขี้ของน้ำมันทอดแล้วเป็นเวลา 4 วัน พบว่าแต่ละวันของการทอดซ้ำมีผลต่อค่าความเป็นขี้ของน้ำมัน โดยค่าเริ่มต้น (วันที่ 0) มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.5 ± 0.00 และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สูงสุด (วันที่ 4) อยู่ที่ร้อยละ 16 ± 0.00 ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283/2547 เรื่อง กำหนดปริมาณสาร โพลาร์ ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย กำหนดให้มีปริมาณสารประกอบมีขี้ไม่เกินร้อยละ 25 Che-Man et al. (1998) และ Abdel-Razek et al. (2012) ได้อธิบายไว้ว่า การก่อตัวเพิ่มขึ้นของสารประกอบเป็นขี้เกิดจากการสลายตัวของผลิตภัณฑ์ชั้นที่ 1 และ 2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 ค่าความเป็นขี้ของน้ำมันทอดแล้วเป็นเวลา 4 วัน

4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้อุณหภูมิกับน้ำมันทอดใช้แล้วเพื่อให้ได้น้ำมันที่บริสุทธิ์มากขึ้น

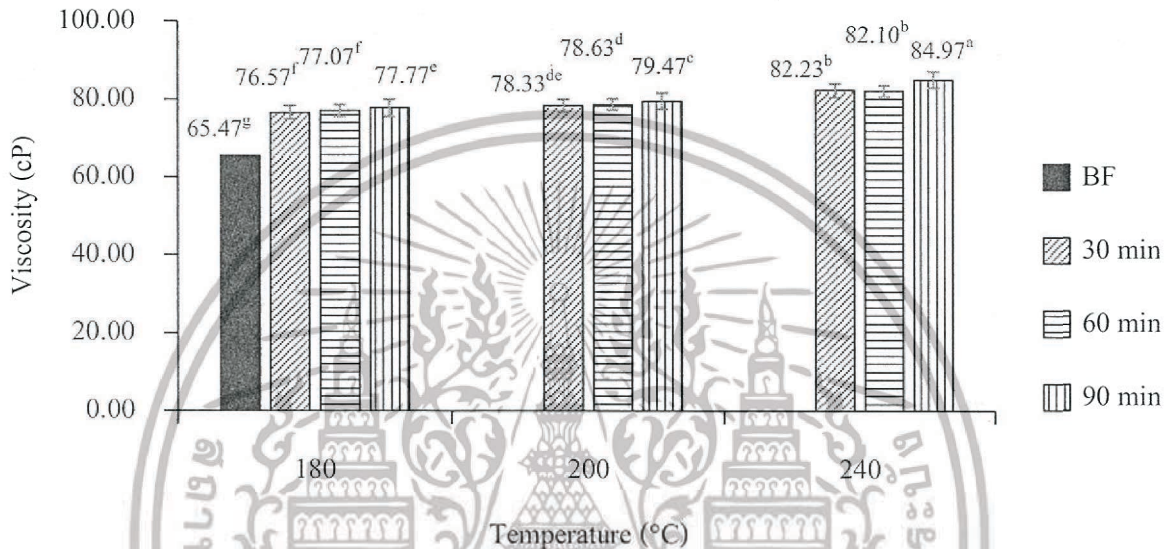
น้ำมันทอดที่ใช้ในศึกษาเป็นน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมและผ่านการทอดต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วันโดยไม่มีการผสมน้ำมันใหม่ลงไป ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนและหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ที่ระดับอุณหภูมิ 180 200 และ 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที ตามลำดับ ที่ความดันสูญญากาศ 0.7 บาร์ โดยมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.3.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้

4.3.1.1 ค่าความหนืด

จากภาพที่ 4.8 แสดงถึงผลของค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างๆ พบว่าทั้งอุณหภูมิและเวลาที่ให้อุณหภูมิกับกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้มีผลทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยค่าความหนืดที่ได้อยู่ในช่วง 76.57 ± 0.32 ถึง 84.97 ± 0.05 cP ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ (BF) พบว่า ค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการมีค่าเท่ากับ 65.47 ± 0.57 cP ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าความหนืดหลังผ่านกระบวนการแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและเวลาในการให้อุณหภูมิกับกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้มีผลต่อความหนืดทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น จากงานวิจัย Lang et al. (1992) และไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Noureddini et al. (1992) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ (refined, bleached and deodorized: RBD) ค่าความหนืดของน้ำมันคาโนลาและน้ำมันพืชชนิดอื่นๆพบว่า อุณหภูมิในช่วง 24-110 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำมันเรพสีดมีค่าความหนืดสูงชันกว่า น้ำมันคาโนลา น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันถั่วเหลือง เป็นผลมาจากโครงสร้างเป็นกรดไขมันอิ่มตัวมากขึ้นมีการกำจัดสิ่งปลอมปนออกไปบางส่วน



ภาพที่ 4.8 ค่าความหนืดของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วภายใต้สภาวะสูญญากาศ 0.7 บาร์ (BF คือ น้ำมันทอดแล้วก่อนผ่านกระบวนการ)

4.3.1.2 สี

การเปลี่ยนแปลงของสีเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายคุณภาพของน้ำมัน จากตารางที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ว จากผลการวิเคราะห์พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ระดับต่างๆที่ให้ไอน้ำกับกระบวนการมีผลต่อค่าสีของน้ำมันทอดใช้แล้วจะเห็นได้ว่าค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) มีค่าอยู่ในช่วง 86.55 ± 0.02 ถึง 75.45 ± 0.01 4.12 ± 0.01 ถึง 15.91 ± 0.02 และ 75.42 ± 0.03 ถึง 89.10 ± 0.04 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าสีของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการพบว่า ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ค่า a^* และ b^* มีค่าต่ำสุดคือ 0.19 ± 0.02 และ 72.26 ± 0.07 ตามลำดับและมีค่าความสว่าง (L^*) สูงที่สุดเท่ากับ 91.95 ± 0.01 EsKin (1979) ได้อธิบายไว้ว่าแคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุของสีแดง เหลืองที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม สารกลุ่มนี้จะมีปฏิกิริยาไวต่อความร้อนจึงเกิดการสลายตัวได้ง่ายส่งผลทำให้ค่าสีแดง (a^*) ของน้ำมันไม่สว่างสดใส ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปาล์มใช้แล้วมีค่าลดลงจึงมีผลทำให้ค่าความสว่าง (L^*) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิสูงสุด 240 องศาเซลเซียส ค่าสีแดงกลับมีแนวโน้มเพิ่มสูง การเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง (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 ^d	4.12±0.01 ^d	75.42±0.03 ^f
	60	89.10±0.05 ^c	3.08±0.00 ^e	75.03±0.05 ^e
	90	86.38±0.02 ^e	4.01±0.77 ^c	77.94±0.04 ^d
200	30	91.87±0.02 ^b	0.58±0.02 ^h	73.51±0.06 ^h
	60	91.95±0.01 ^a	0.19±0.02 ⁱ	72.26±0.07 ⁱ
	90	85.75±0.01 ^f	3.86±0.01 ^f	75.84±0.10 ^c
240	30	81.15±0.00 ^h	10.13±0.02 ^b	84.60±0.18 ^b
	60	82.31±0.00 ^g	8.93±0.04 ^c	82.36±0.01 ^c
	90	75.45±0.01 ⁱ	15.91±0.02 ^a	89.10±0.04 ^a

หมายเหตุ: ^{a-i} อักษรที่แตกต่างแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันทอดใช้แล้วผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้

4.3.2.1 ค่าความเป็นกรด

ค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.97 ± 0.03 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัมไขมัน (ภาพที่ 4.5) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.3 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทุกระดับอุณหภูมิและเวลา ผลที่ได้สอดคล้องกับเนื้อหาในหนังสือของ Bockish (1993) ได้กล่าวไว้ว่าอาจเป็นผลจากองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มทอดใช้แล้ว เพราะองค์ประกอบบางส่วนเป็นสารระเหยที่ระเหยยาก กรดไขมันอิสระจึงไม่สามารถระเหยออกจากระบบได้ด้วยความดันที่ต่ำ ดังนั้นอุณหภูมิและเวลาจึงไม่มีผลต่อค่ากรดไขมันอิสระ แต่ผลการทดลองตรงข้ามกับงานวิจัยของ Che et al. (1999) ได้ทำการศึกษาค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบและในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Refined-Bleached-Deodorized: RBD) พบว่า กระบวนการทำให้ไขมันบริสุทธิ์สามารถลดค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มดิบจากร้อยละ 3.0–6.5 ลดลงเหลือร้อยละ 0.07–0.6 ซึ่ง Crexi et al. (2009) ได้ทำการศึกษากระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งของน้ำมันปลาจวด ที่สภาวะ 180 และ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 และ 120 นาที พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดของกระบวนการคือใช้อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 นาที และใช้ไอน้ำไส่งในน้ำมันร้อยละ 5 เมื่อเทียบจากมวลของน้ำมัน น้ำมันที่ได้เหลือปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.09 จากเดิมร้อยละ 3.02 ทั้งนี้เนื่องจากการวิจัยของ Crexi et al. (2009) เป็นการกำจัดกรดไขมันอิสระหลายกลไกในกระบวนการจึงสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงได้

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งภายใต้สภาวะสูญญากาศ 0.7 บาร์

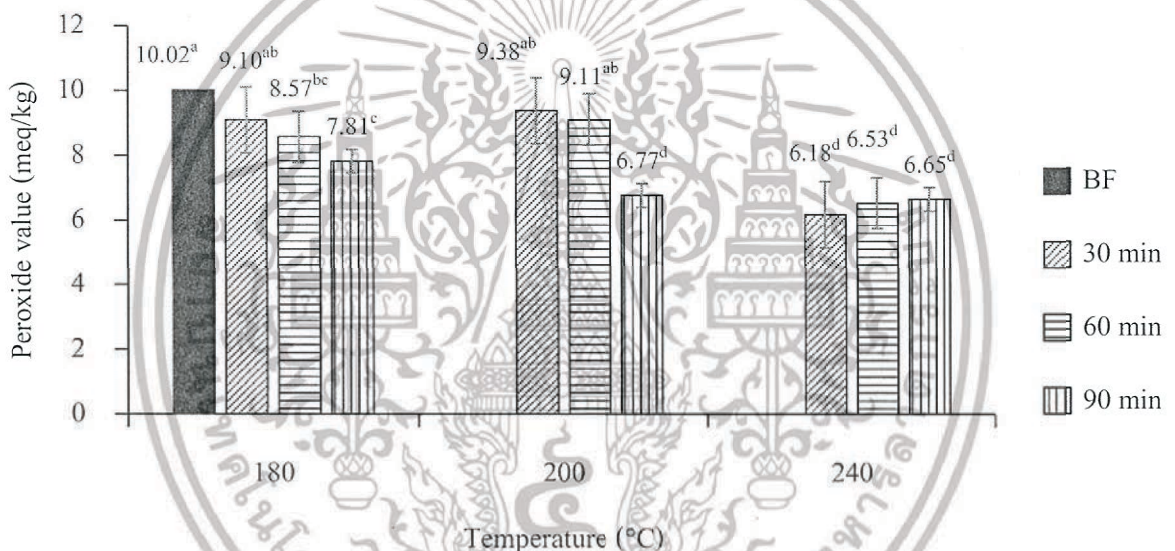
อุณหภูมิ (°C)	สภาวะ		ค่าความเป็นกรด
	เวลา (นาที)		mg KOH/ g oil
180	30		1.12±0.00 ^{ab}
	60		1.06±0.00 ^{bcd}
	90		1.04±0.07 ^{cd}
200	30		1.10±0.03 ^{bc}
	60		1.06±0.00 ^{bcd}
	90		1.01±0.04 ^{dc}
240	30		1.17±0.06 ^a
	60		1.01±0.00 ^{dc}
	90		0.97±0.03 ^c

หมายเหตุ: ^{a-c} อักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.3.2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

จากผลการทดลองภาพที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันและสารประกอบมีขี้ผึ้ง ที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาต่างๆ พบว่า อุณหภูมิและเวลาที่ให้ไอน้ำกับกระบวนการมีผลต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอด จะเห็นได้ว่า น้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้ง มีค่าเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 10.02 ± 0.91 มิลลิอิกวิวาเลนท์ต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นว่าภายหลังจากผ่านกระบวนการน้ำมันทอดใช้แล้วมีค่าเปอร์ออกไซด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง 6.18 ± 0.20 ถึง 9.38 ± 1.09 มิลลิอิกวิวาเลนท์ต่อกิโลกรัม เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลนที่ต่อกิโลกรัม และจะสังเกตได้ว่าที่ระดับการให้อุณหภูมิกับกระบวนการที่อุณหภูมิสูงสุด 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ได้มากที่สุดเหลือ 6.18 ± 0.20 มิลลิอิกวิวาเลนที่ต่อกิโลกรัม ซึ่ง Tsiadi et al. (2001) ได้อธิบายไว้ว่า การสลายตัวของเปอร์ออกไซด์จะสามารถสังเกตการสลายตัวได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส ไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นแรกจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะถูกสลายและระเหยออกจากระบบ แต่อย่างไรก็ตามจะมีบางส่วนของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่ไม่สลายและระเหยออกจากระบบเนื่องจากมีน้ำหนักมาก เช่น แอลดีไฮด์และคีโตน สารประกอบเหล่านี้จะก่อตัวกันเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพื่อความชัดเจนของผลการทดลองจึงได้เพิ่มการวิเคราะห์ค่าแอนนิซิทินเพื่อทดสอบคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้

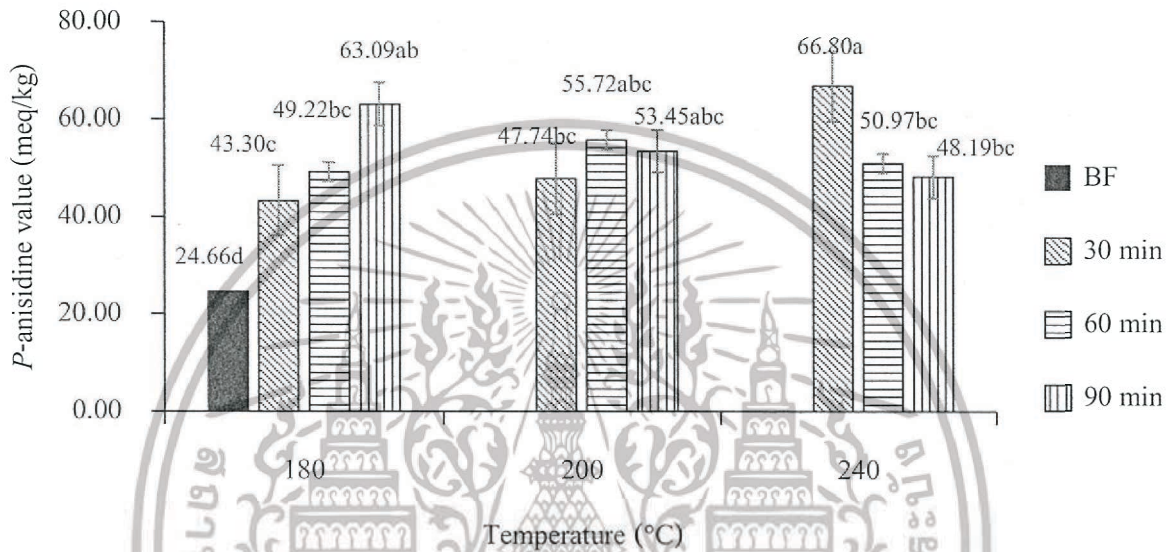


ภาพที่ 4.9 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ภายใต้สภาวะสูญญากาศ 0.7 บาร์ (BF คือ น้ำมันทอดแล้วก่อนผ่านกระบวนการ)

4.3.2.3 ค่าแอนนิซิทิน

การวิเคราะห์ค่าแอนนิซิทินเป็นการวัดการเกิดผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่สลายตัวจากสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดใช้แล้วกลายเป็นสารประกอบพวกแอลดีไฮด์และคีโตน จากภาพที่ 4.10 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าแอนนิซิทินของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนและหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้พบว่า ค่าแอนนิซิทินหลังผ่านกระบวนการไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ต่อการให้อุณหภูมิที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างๆ กล่าวคือที่ระดับอุณหภูมิและเวลาต่างๆของการให้อุณหภูมิกับกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขั้วยังไม่สามารถลดค่าแอนนิซิดินซึ่งเป็นค่าการวัดการเกิดผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน อาจเป็นเพราะผลผลิตภัณฑ์ขั้นที่หนึ่งของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันถูกกำจัดไม่หมดในระบบ จึงเกิดการสะสมเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่สอง ทำให้ที่สภาวะระดับอุณหภูมิและเวลาในการให้ออกซิเจนกับกระบวนการของการทดลองไม่สามารถกำจัดผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้



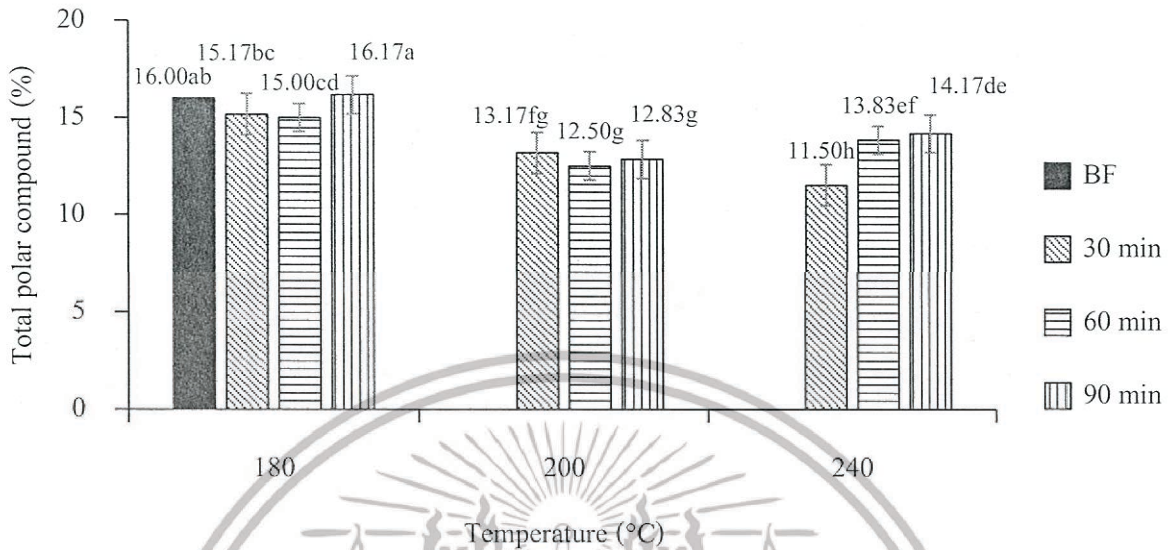
ภาพที่ 4.10 ค่าแอนนิซิดินของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังจากผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขั้วภายใต้สภาวะสูญญากาศ 0.7 บาร์ (BF คือ น้ำมันทอดแล้วก่อนผ่านกระบวนการ)

4.3.2.4 ค่าความเป็นขั้ว

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นขั้วของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังจากผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขั้ว (ภาพที่ 4.11) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและเวลาที่ระดับต่างๆที่ใช้ให้ออกซิเจนกับกระบวนการมีผลต่อค่าความเป็นขั้วของน้ำมันทอดใช้แล้วซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 11.50±0.00 ถึง 16.17±0.29 เมื่อพิจารณาผลการทดลองจะพบว่าที่ระดับอุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาทีสามารถลดค่าความเป็นขั้วได้ถึงร้อยละ 11.50 จากร้อยละ 16 ก่อนการผ่านกระบวนการ Edwin (2012) ได้อธิบายไว้ว่าหลังกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขั้ว ค่าความเป็นขั้วจะมีค่าลดลง เนื่องจากส่วนประกอบหลักสำคัญที่ถูกออกซิไดส์ได้ง่ายสุดในไตรกลีเซอไรด์คือสารประกอบมีขั้ว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gomes et al. (2003) ได้ทำการศึกษาผลของกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขั้วของน้ำมันพืชชนิดต่างๆต่อการสลายตัวของปฏิกิริยาออกซิเดชันพบว่า น้ำมันถั่วเหลืองดิบ น้ำมันดอกทานตะวันดิบ และน้ำมันข้าวโพดดิบ

เอ็กสตรานเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนผ่านกระบวนการมีค่าความเป็นขี้วเท่ากับร้อยละ 5.33 4.16 และ 6.76 ตามลำดับเมื่อผ่านกระบวนการ ค่าความเป็นขี้วลดลงเหลือร้อยละ 3.78 2.62 และ 4.18 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.11 ค่าความเป็นขี้วของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์ (BF คือ น้ำมันทอดก่อนผ่านกระบวนการ)

4.4 ผลการศึกษาการนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วกลับไปใช้ใหม่

น้ำมันที่ใช้ศึกษาจะเลือกจากน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้วที่สภาวะเหมาะสมที่สุดในการให้อุณหภูมิกับกระบวนการซึ่งพิจารณาจากอุณหภูมิและระยะเวลาที่สามารถปรับปรุงคุณภาพ สี ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าความเป็นขี้วของน้ำมันทอดใช้แล้วให้ดีที่สุด (ค่าความหนืด ความเป็นกรด และแอนนิซิติน ไม่ได้นำมาพิจารณาเนื่องจากค่าที่ได้ยังไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วให้ดีขึ้น) สภาวะที่ได้คืออุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์ ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพสีให้น้ำมันทอดใช้แล้วมีค่าความสว่าง (L^*) มากที่สุดเท่ากับ 91.95 ± 0.01 ลดค่าเปอร์ออกไซด์ได้เท่ากับ 9.11 ± 0.41 มิลลิอิกวิวาเลนต์ต่อกิโลกรัม และลดค่าความเป็นขี้วได้เท่ากับร้อยละ 12.50 ± 0.87 โดยนำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกลับไปทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมใหม่ด้วยอัตราส่วนน้ำมันที่ผ่านกระบวนการต่อมันฝรั่งแท่ง 4:1 (w/w) ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นทำการกรองและพักน้ำมันทอดทิ้งไว้ในภาชนะแอสแตนเลสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากครบ 24 ชั่วโมงทำการทอดกับมันฝรั่งแท่งชุดใหม่ โดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ได้ลงไป ทอดซ้ำต่อเนื่องทั้งหมด 4 วันพบว่าคุณภาพทั้งทางกายภาพและเคมีของน้ำมันที่ผ่านกระบวนการแล้วนำกลับมาใช้ใหม่มีค่าลดลงตามระยะเวลาที่ทอด และทำการเก็บตัวอย่างมันฝรั่งแท่งภายหลังจากทอดแยกส่วนเป็นเอกสารที่ส่งวันเวลาหรับการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่เปรียบเทียบคุณภาพสี ปริมาณน้ำมันในมันฝรั่งแห้ง และลักษณะความชอบโดยรวมทางประสาทสัมผัสกับตัวอย่างมันฝรั่งแห้งที่ทอดกับน้ำมันก่อนผ่านกระบวนการ พบว่า จากตารางที่ 4.4 ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งค่าสีและร้อยละของการดูดซับน้ำมันในมันฝรั่งแห้งทอดมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กล่าวคือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ทำให้ลักษณะทางกายภาพคือ สี และการดูดซับน้ำมันของมันฝรั่งแห้งทอดเปลี่ยนไป ค่าความสว่างของสีมันฝรั่งแห้งทอด (L^*) ที่ทอดด้วยน้ำมันไม่ผ่านกระบวนการอยู่ที่ 67.62 ± 0.02 ถึง 59.77 ± 0.01 ในขณะที่ทอดด้วยน้ำมันที่ผ่านกระบวนการมีค่าอยู่ที่ 66.79 ± 0.02 ถึง 59.57 ± 0.01 อาจเป็นเพราะผลของอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ให้ไอน้ำกับกระบวนการที่สภาวะ 200 องศาเซลเซียส 30 นาที สามารถปรับปรุงคุณภาพสีน้ำมันทอดใช้แล้วให้มีค่าความสว่างมากที่สุด (ตารางที่ 4.2)

การดูดซับน้ำมันของมันฝรั่งแห้งทอดที่ทอดด้วยน้ำมันที่ไม่ผ่านกระบวนการมีค่าเท่ากับร้อยละ 25.28 ± 1.04 ถึง 28.80 ± 0.59 ในขณะที่ทอดด้วยน้ำมันที่ผ่านกระบวนการมีค่าเท่ากับร้อยละ 21.87 ± 0.47 ถึง 31.15 ± 3.15 ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Aguilera and Gloria (2000) ที่ได้ทำการศึกษาการดูดซับน้ำมันระหว่างการทอดมันฝรั่งแช่แข็ง โดยได้ทำการทอดมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 วินาที ในน้ำมัน โคซา และน้ำมันมะพร้าว พบว่ามันฝรั่งที่ทอดด้วยน้ำมัน โคซามีค่าการดูดซับน้ำมันอยู่ในช่วงร้อยละ 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 อีกทั้งมันฝรั่งแห้งที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทอดมีคุณสมบัติในการเกิดเจลที่อุณหภูมิสูงหรือมีการเกิดพันธะเชื่อมข้ามทำให้เกิดเป็นสารเคลือบผิว ช่วยลดการดูดซับของน้ำมัน และการที่ผลของการดูดซับน้ำมันของมันฝรั่งแห้งของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกัน อาจเป็นเพราะองค์ประกอบของน้ำทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส 60 นาที สามารถปรับปรุงคุณภาพลดค่าเปอร์ออกไซด์ได้เท่ากับ 9.11 ± 0.41 มิลลิอิกวาเลนต์ต่อกิโลกรัม และลดค่าความเป็นขี้วได้เท่ากับร้อยละ 12.50 ± 0.87 (ภาพที่ 4.6 และ 4.8)

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

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมันฝรั่งแห้งทอดระหว่างที่ใช้ไขมันก่อนและหลังผ่านกระบวนการ โดยผ่านการทอดซ้ำเป็นเวลา 4 วัน

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

หมายเหตุ: ^{a-h} อักษรที่แตกต่างในแนวนอนของน้ำมันแต่ละชนิดแสดงถึงคุณภาพของมันฝรั่งแห้งที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.5 ลักษณะความชอบโดยรวมทางประสาทสัมผัสของผู้ชิมทั้ง 30 คนต่อมันฝรั่งแห้งที่ทอดด้วยน้ำมันก่อนและหลังผ่านกระบวนการ เป็นเวลา 4 วัน

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

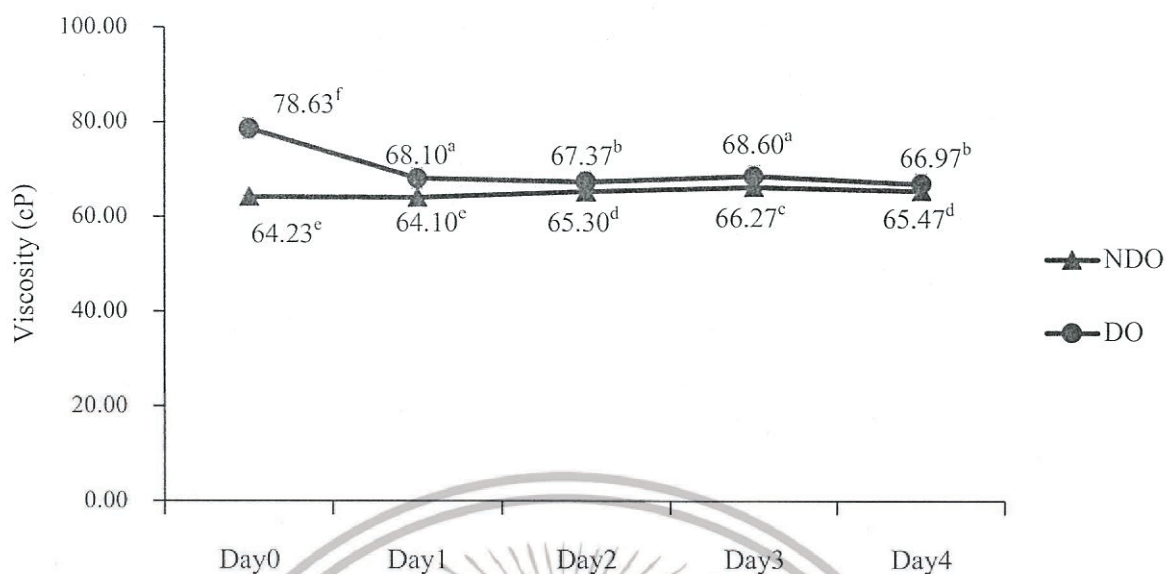
หมายเหตุ: ^a อักษรที่ไม่ต่างกันในแนวนอนของน้ำมันแต่ละชนิดแสดงถึงการใช้น้ำมันก่อนและหลังผ่านกระบวนการไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันกลับมาใช้ใหม่

4.4.1.1 ค่าความหนืด

หลังจากได้นำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการ (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 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในระหว่างกระบวนการทอดไม่ว่าจะเป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หรือปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ล้วนทำให้เกิดการสลายตัวของน้ำมันเกิดสารที่ลดแรงตึงผิวขึ้นในน้ำมันจึงทำให้น้ำมันมีคุณสมบัติที่หนืดขึ้นและส่งผลกระทบต่อรสชาติของอาหารมากยิ่งขึ้น (Pinthus and Saguy, 1994)

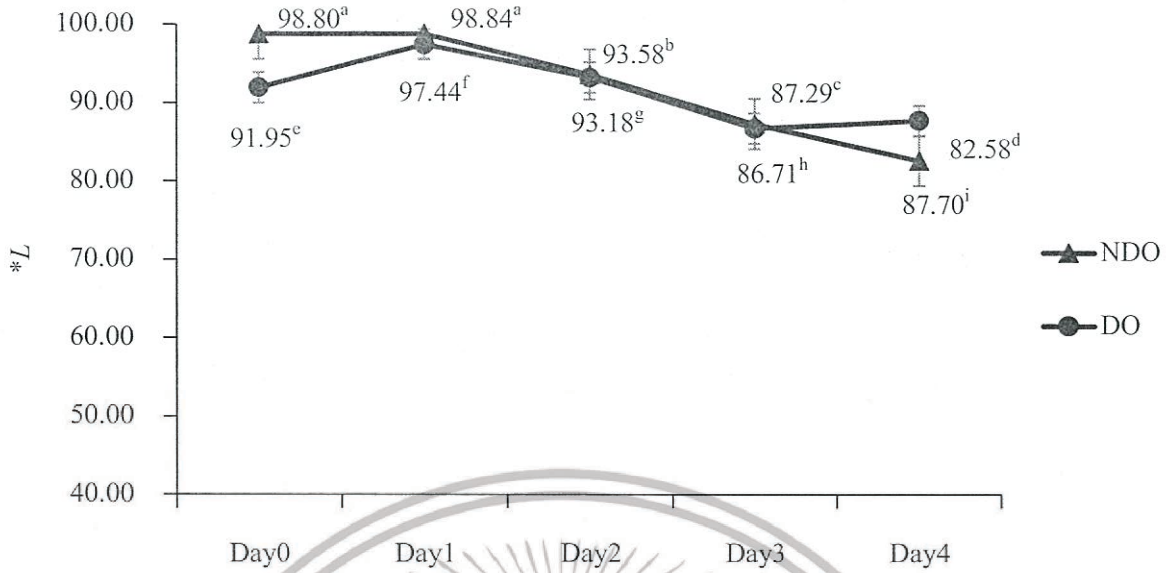
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

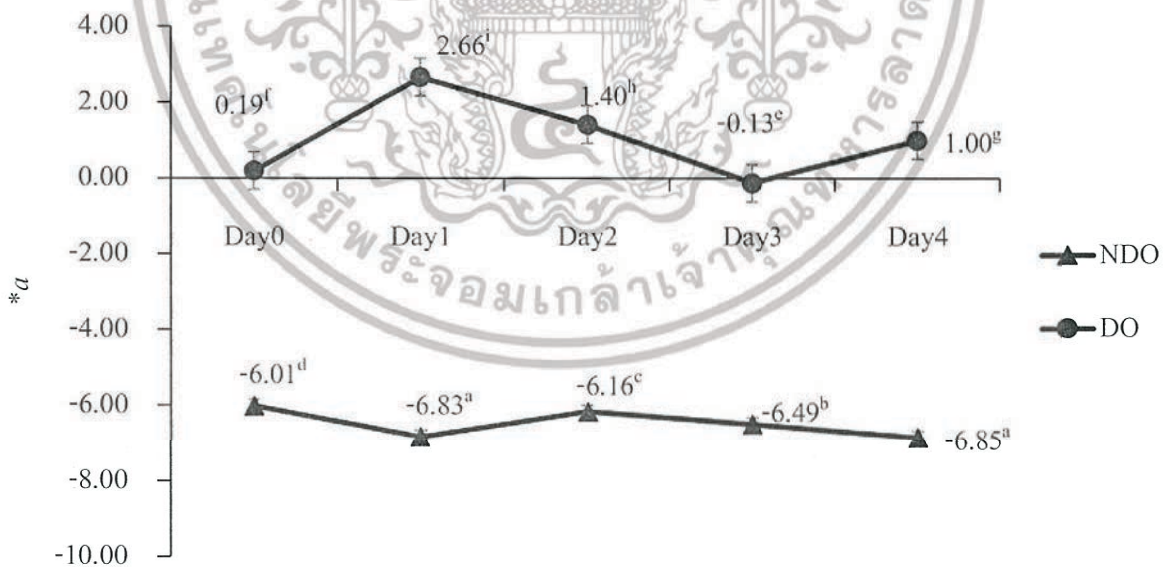
4.4.1.2 สี

จากภาพที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 แสดงค่าสีความสว่าง (L^*), ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน โดยค่าที่ได้อยู่ในช่วง 97.44 ± 0.02 ถึง 87.70 ± 0.01 , -0.33 ถึง 2.66 และ 77.44 ถึง 91.62 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการมีค่าความสว่างของน้ำมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการ การเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันทอดเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและ โอลิโกเมอไรเซชันในระหว่างกระบวนการทอด ซึ่งสารประกอบจำพวกพอลิเมอร์และ โอลิโกเมอร์จะทำให้เกิดสิ่งสกปรกตกค้างภายในหม้อเกิดเป็นคราบดำลดการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำมันกับอาหารและทำให้น้ำมันมีสีคล้ำลง (Lawson, 1995 ; Moreira et al. 1999 ; Orthoefer and List. 2006b)



ภาพที่ 4.13 ค่าสี L^* ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน

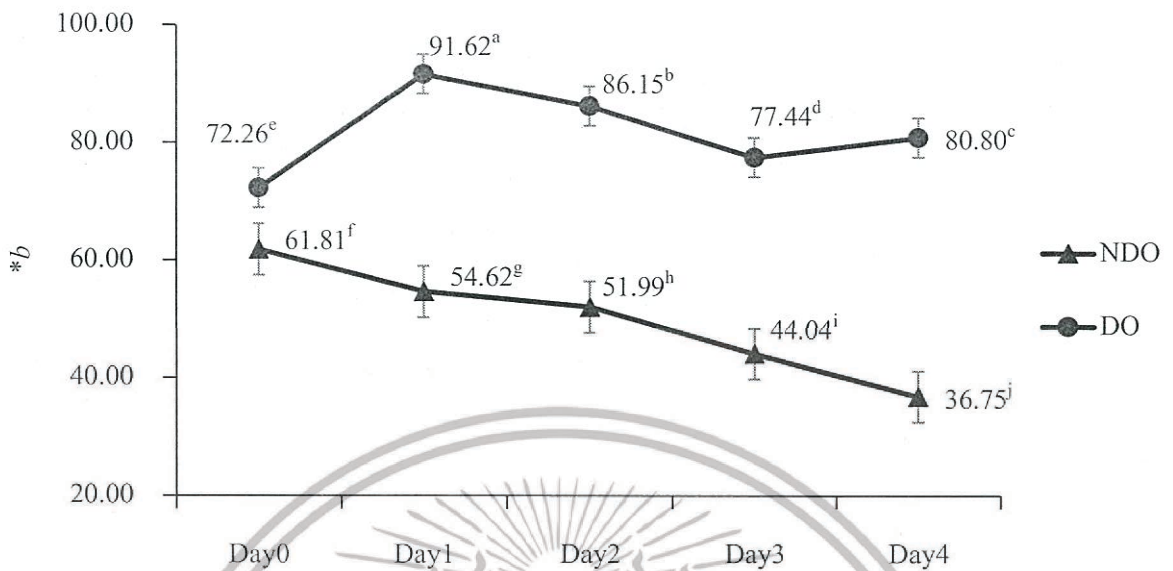
(NDO คือ น้ำมันทอดแล้วไม่ผ่านกระบวนการ และ DO คือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์)



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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

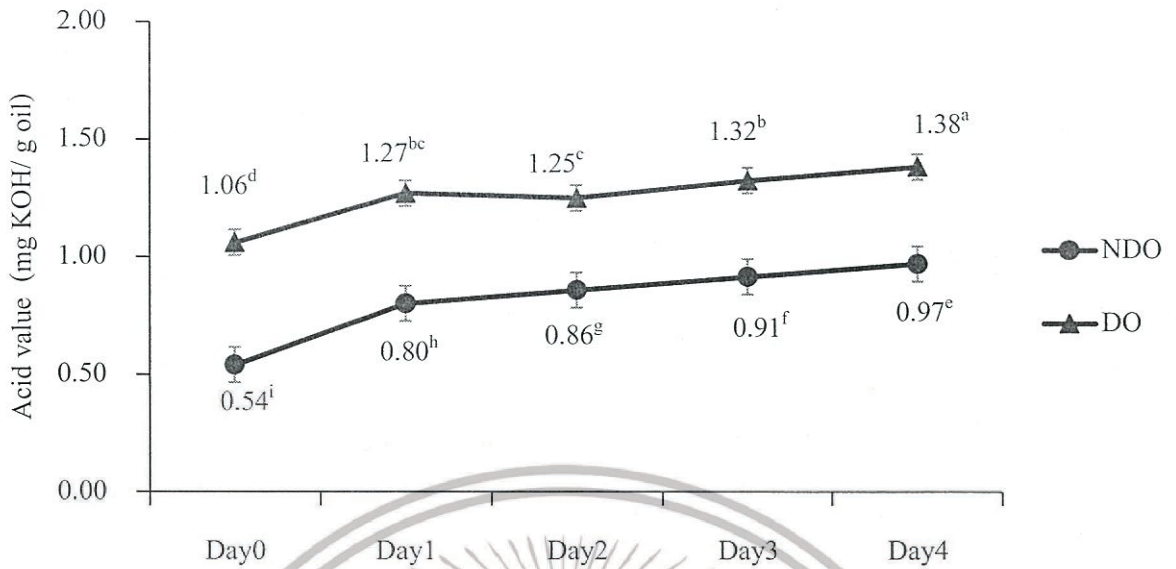


ภาพที่ 4.15 ค่าสี b^* ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน (NDO คือ น้ำมันทอดแล้วไม่ผ่านกระบวนการ และ DO คือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สถานะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สถานะสูญญากาศ 0.7 บาร์)

4.4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันกลับมาใช้ใหม่

4.4.2.1 ค่าความเป็นกรด

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดระหว่างน้ำมันก่อนผ่านกระบวนการและน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน จากภาพที่ 4.16 พบว่าค่าความเป็นกรดของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 1.27 ± 0.03 ถึง 1.38 ± 0.03 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัม น้ำมัน ซึ่งหากพิจารณาจากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 จะพบว่าค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการที่สถานะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีค่าเท่ากับ 1.06 ± 0.00 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัม น้ำมัน ซึ่งค่าความเป็นกรดไม่สามารถลดลงได้หลังผ่านกระบวนการจึงทำให้ค่าความเป็นกรดของน้ำมันกลับมาใช้ใหม่มีค่าสูงขึ้น และหากดูความชันของกราฟจะพบว่าทั้งน้ำมันที่ผ่านกระบวนการและน้ำมันที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการมีแนวโน้มค่าความเป็นกรดสูงขึ้นตามจำนวนวันที่ทอดมันฝรั่งแช่

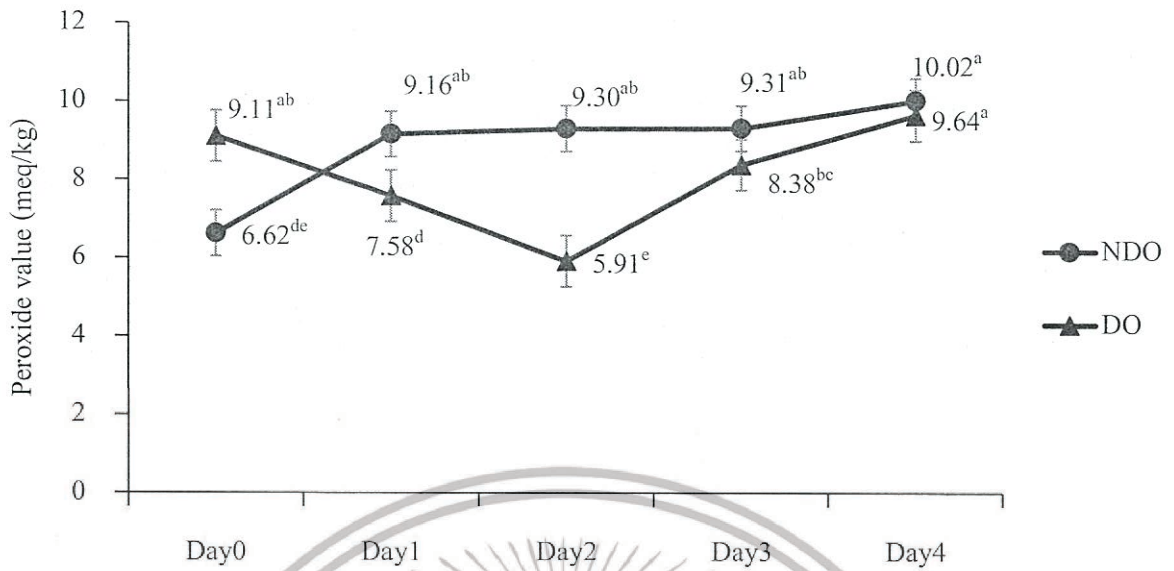


ภาพที่ 4.16 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน (NDO คือ น้ำมันทอดแล้วไม่ผ่านกระบวนการ และ DO คือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์)

4.4.2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

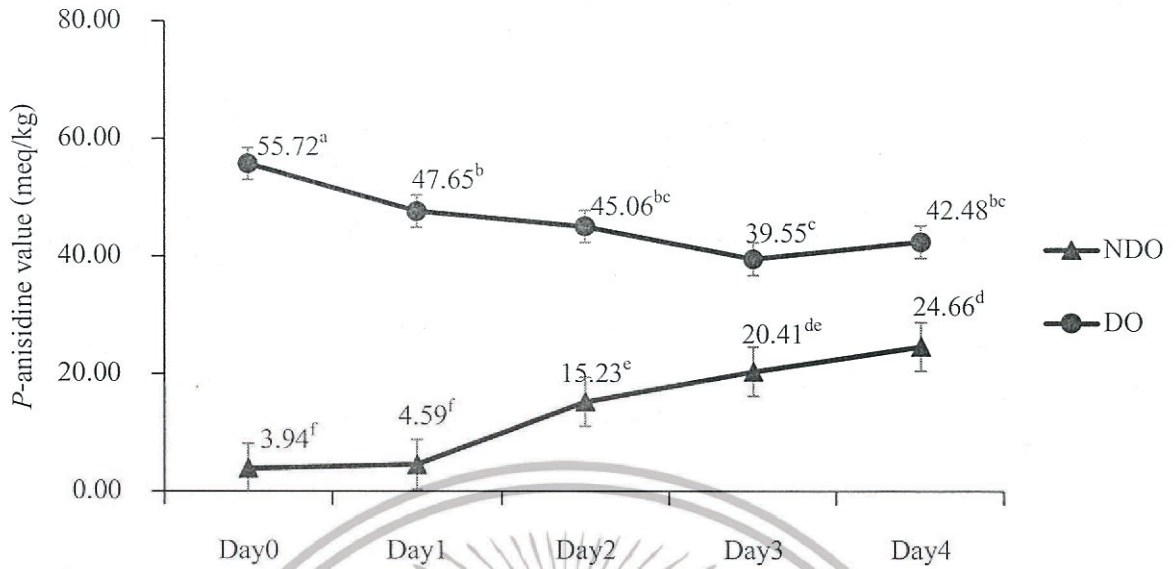


ภาพที่ 4.17 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน

(NDO คือ น้ำมันทอดแล้วไม่ผ่านกระบวนการ และ DO คือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สถานะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์)

4.4.2.3 ค่าแอนิซิดิน

จากภาพที่ 4.18 แสดงค่าแอนิซิดินของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน โดยค่าที่ได้มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 47.65 ± 1.84 มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อกิโลกรัม ซึ่งมากกว่าน้ำมันที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการที่มีค่าเท่ากับ 4.59 ± 1.06 มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อกิโลกรัม ซึ่งหากพิจารณาจากผลการทดลองในภาพที่ 4.10 จะพบว่าค่าแอนิซิดินของน้ำมันทอดใช้แล้วหลังผ่านกระบวนการที่สถานะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีค่าเท่ากับ 55.72 ± 10.44 มิลลิอิกวิวาเลนซ์ต่อกิโลกรัม ซึ่งค่าแอนิซิดินไม่สามารถลดลงได้หลังผ่านกระบวนการจึงทำให้ค่าแอนิซิดินของน้ำมันกลับมาใช้ใหม่มีค่าสูงขึ้น และหากดูความชันของกราฟจะพบว่าทั้งน้ำมันที่ผ่านกระบวนการและน้ำมันที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการมีแนวโน้มค่าแอนิซิดินสูงขึ้นตามจำนวนวันที่ทอดมันฝรั่งแช่

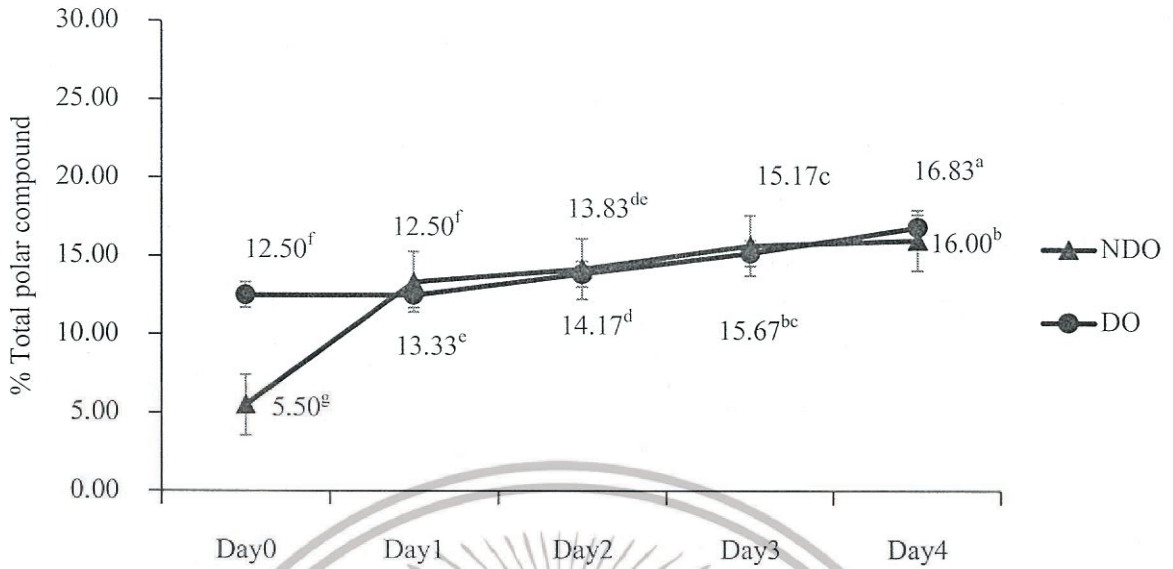


ภาพที่ 4.18 ค่าแอนนิซิดีนของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วัน

(NDO คือ น้ำมันทอดแล้วไม่ผ่านกระบวนการ และ DO คือ น้ำมันที่ผ่านกระบวนการที่สถานะ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ภายใต้สถานะสุญญากาศ 0.7 บาร์)

4.4.2.4 ค่าความเป็นขี้ว

ค่าความเป็นขี้ว โดยมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283/2547 เรื่อง กำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อกำหนดให้มีปริมาณสารประกอบมีขี้วไม่เกินร้อยละ 25 จากผลการวิเคราะห์ภาพที่ 4.19 แสดงค่าความเป็นขี้วของน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ต่อเนื่อง 4 วันพบว่า ค่าความเป็นขี้วในช่วงระยะทอดซ้ำ 4 วัน ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานค่าที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 12.50 ± 0.50 ถึง 16.83 ± 0.76 โดยเมื่อพิจารณาค่าความเป็นขี้วทั้งน้ำมันที่ยังไม่ผ่านกระบวนการและน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกลับมาใช้ใหม่ มีแนวโน้มสูงขึ้นตามจำนวนวันที่ทอด



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 นาทีโดยเก็บตัวอย่างน้ำมันเป็นระยะเวลา 15 วัน และตลอดอายุการเก็บรักษาจะนำตัวอย่างน้ำมันมาวิเคราะห์ค่าทางเคมีและกายภาพต่างๆ 5 วัน

4.5.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมัน

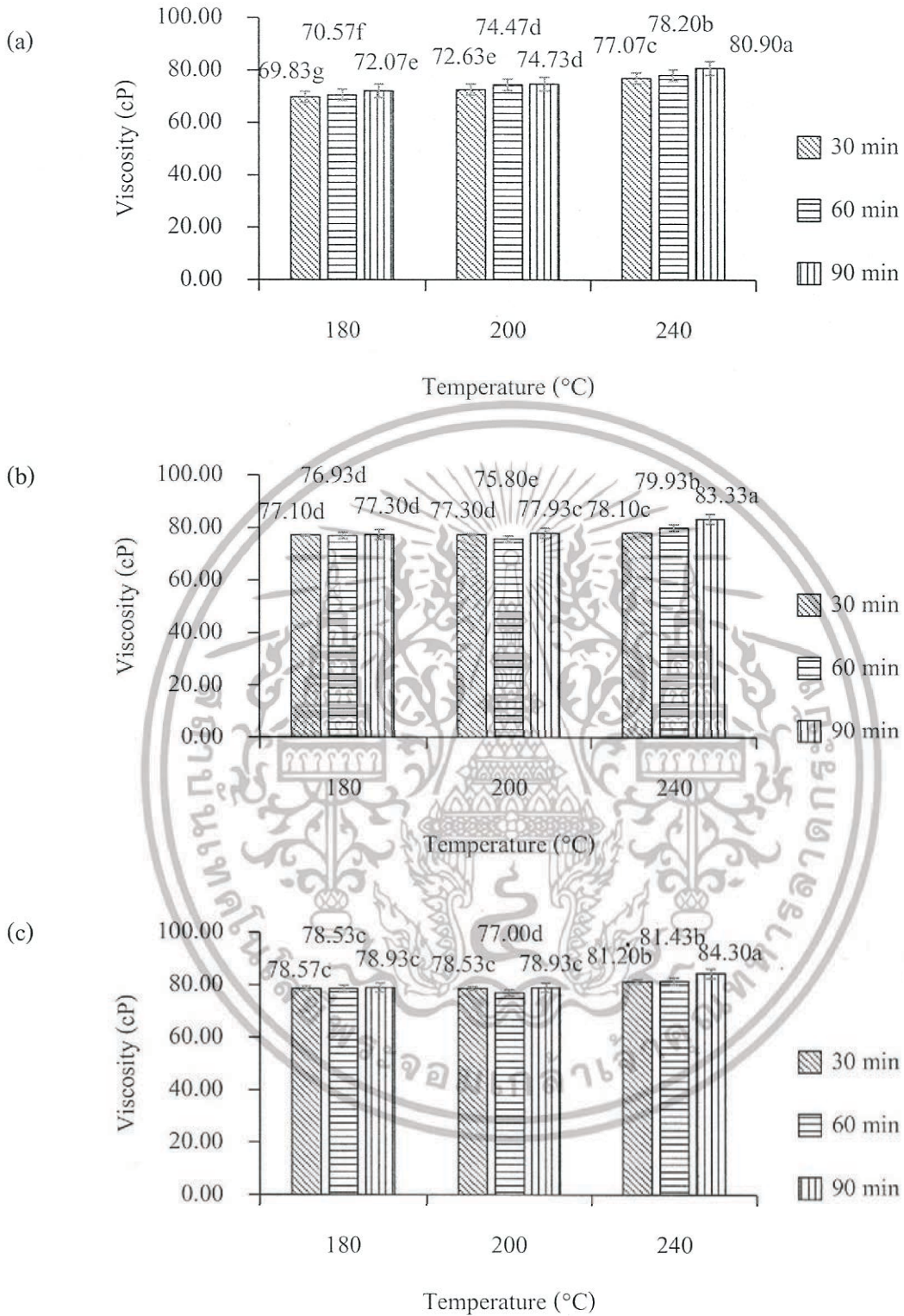
อิสระและสารประกอบมีขี้

จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วันมีผลต่อค่าความหนืดและสีของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) จากภาพที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาหรือจำนวนวันในการเก็บเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนืดของน้ำมันทุกสภาวะการทดลองก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยที่น้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นสูงสุดค่าที่ได้อยู่ที่ 69.83 ± 0.49 , 77.10 ± 0.20 และ 78.57 ± 0.32 cP ในวันที่ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะอุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ค่าความหนืดจะเพิ่มเร็วสุดค่าที่ได้อยู่ที่ 80.90 ± 0.50 , 83.33 ± 0.49 และ 86.83 ± 0.49 cP ในวันที่ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าความขี้ของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ค่าความขี้จะเพิ่มขึ้นสูงสุดค่าที่ได้อยู่ที่ 0.15 ± 0.01 , 0.18 ± 0.01 และ 0.21 ± 0.01 g/100g ในวันที่ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการที่สภาวะอุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ค่าความขี้จะเพิ่มเร็วสุดค่าที่ได้อยู่ที่ 0.25 ± 0.01 , 0.28 ± 0.01 และ 0.31 ± 0.01 g/100g ในวันที่ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ

84.30±0.26 cP ในวันที่ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ ส่วนค่าสีของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการ จากตารางที่ 4.6 แสดงค่าสี (L^* , b^* และ a^*) ของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการต่ออายุการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 5, 10 และ 15 วัน พบว่า ค่า L^* และ a^* ไม่มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อช่วงอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วัน ส่วนค่า b^* มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงวันที่ 15 ของน้ำมันที่สภาวะอุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส การที่ค่าสีของน้ำมันไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอาจเนื่องมาจากสภาวะในการเก็บรักษาเก็บในที่มืดจึงลดการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำมัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

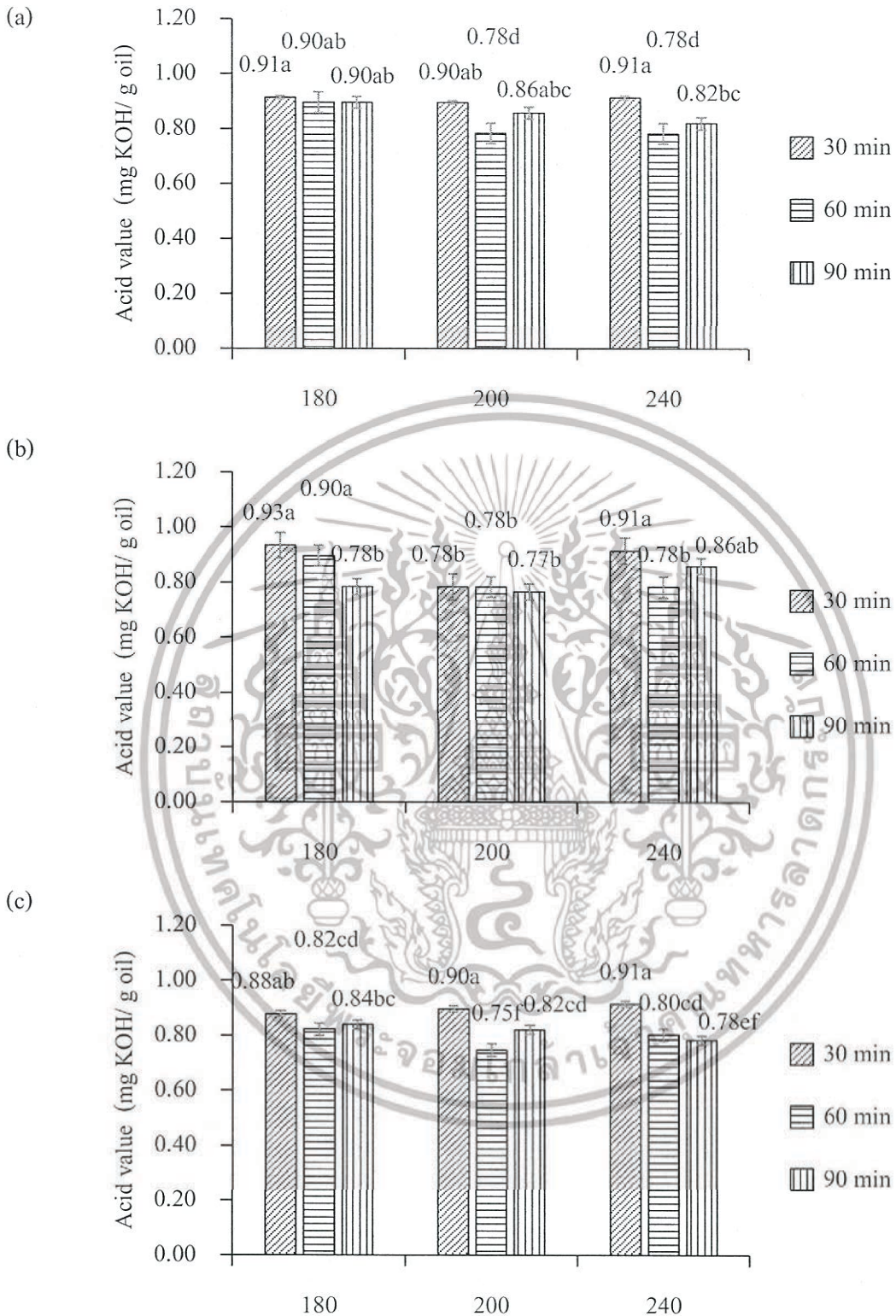
Day	Temp. (°C)	Time (min)	L^*	a^*	b^*
5	180	30	83.89±0.01 ^a	3.54±0.02 ^a	71.44±0.06 ^c
		60	86.85±0.01 ^b	0.01±0.03 ^b	66.67±0.09 ^b
		90	85.26±0.01 ^c	2.42±0.04 ^c	71.32±0.06 ^c
	200	30	87.71±0.01 ^d	0.42±0.01 ^d	67.75±0.04 ^c
		60	87.13±0.01 ^c	-0.96±0.01 ^c	61.83±0.04 ^a
		90	85.38±0.01 ^f	3.08±0.04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

หมายเหตุ: ^{a-i} อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.5.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมัน

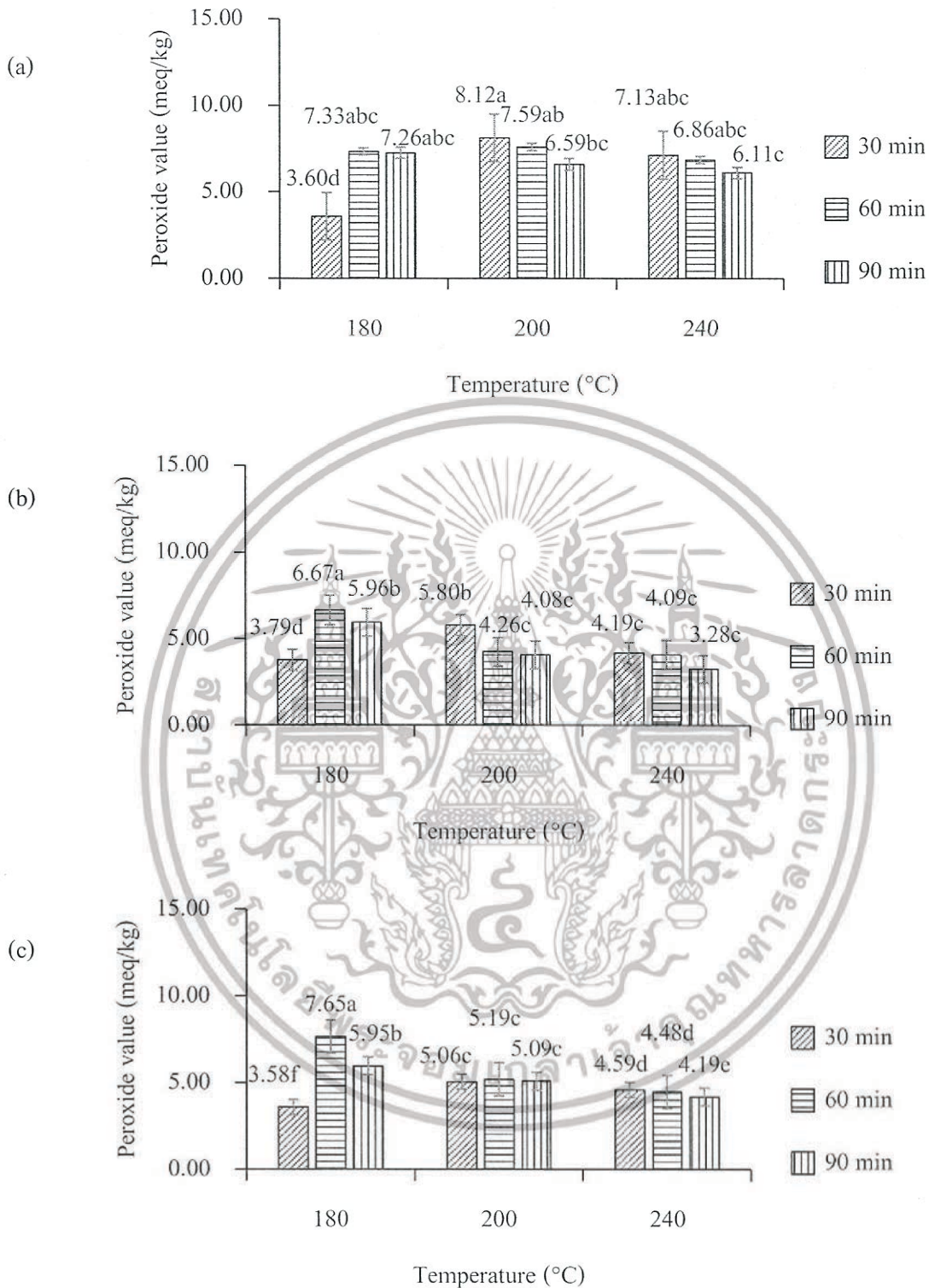
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าแอนนิซิดีนพบว่า อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 15 วันมีผลต่อค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าแอนนิซิดีน 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 มิลลิกรัมวิตามินเอต่อกิโลกรัม จากภาพที่ 4.21 และ 4.22 พบว่าค่าความเป็นกรดเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ตั้งแต่ 5 วันแรกในการเก็บรักษา ในขณะที่ค่าเปอร์ออกไซด์ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในด้านค่าแอนนิซิดีนจากภาพที่ 4.23 พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าแอนนิซิดีนจะมีค่าเพิ่มขึ้นใน 10 วันแรกและจะมีค่าลดลงในวันที่ 15 การลดลงของค่าแอนนิซิดีน อาจเป็นผลจากการสลายตัวของผลิตภัณฑ์ขั้นที่ 2 (secondary product) ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีผลทำให้คุณภาพของน้ำมันมีค่าต่ำลง เช่น การเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดในน้ำมัน



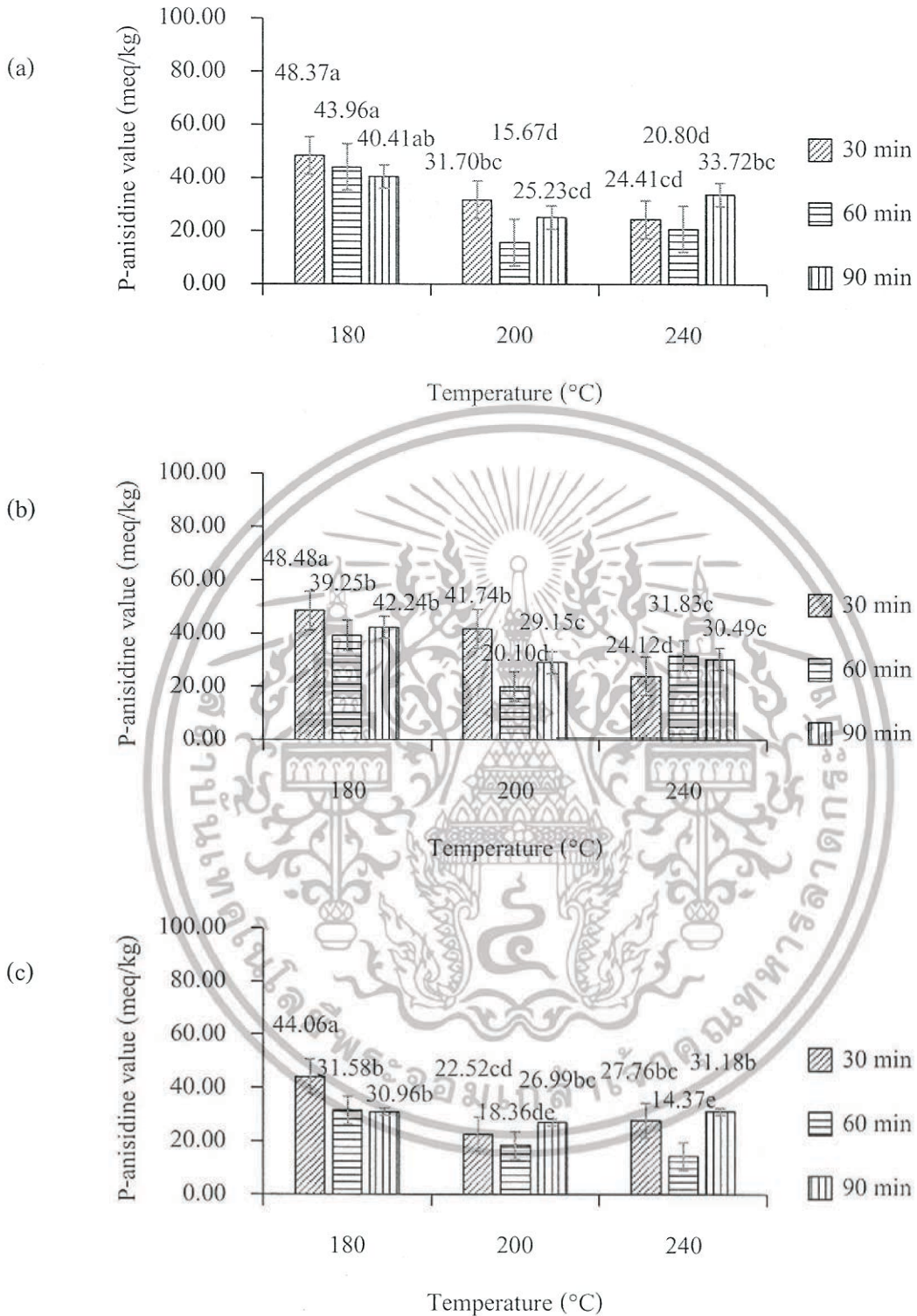
ภาพที่ 4.21 ค่าความเป็นกรดของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์ ต่ออายุการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 5, 10 และ 15 วัน (a, b และ c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.23 ค่าแอนนิซิดีนของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการภายใต้สภาวะสุญญากาศ 0.7 บาร์ ต่ออายุการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 5, 10 และ 10 (a, b และ c) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มใช้แล้วโดยใช้กระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้ง โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วก่อนผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้ง (non-deodorized oil: NDO) พบว่า น้ำมันปาล์มทอดใช้แล้วที่ใช้ทอดตัวอย่างมันฝรั่งแช่ดองเป็นเวลา 4 วัน โดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ใส่ลงมีการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านคุณภาพทางเคมีและคุณภาพทางกายภาพอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยทางด้านเคมีคือ ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าความเป็นขี้ผึ้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่ทอดสูงสุดอยู่ที่วันที่ 4 ส่วนทางด้านกายภาพคือค่าสี มีค่าความสว่าง (L^*) ของลดลงตามจำนวนวันที่ทอด และค่าหนืดของน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่ทอดเช่นเดียวกัน

การศึกษาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ไอน้ำกับน้ำมันทอดใช้แล้วเพื่อให้ได้น้ำมันที่บริสุทธิ์มากขึ้น โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับสถานะการให้ไอน้ำกับกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 180, 200 และ 240 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ พบว่าหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งของน้ำมันทอดใช้แล้ว (deodorized oil: DO) กระบวนการสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มใช้แล้วให้ดีขึ้น โดยสามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์, ค่าความเป็นขี้ผึ้ง และอีกยังทั้งช่วยเพิ่มความสว่างของสีให้แก่ น้ำมันปาล์มใช้แล้ว สถานะอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการของตัวอย่างน้ำมันปาล์มใช้แล้วคืออุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพสีให้น้ำมันทอดใช้แล้วมีค่าความสว่าง (L^*) มากที่สุดเท่ากับ 91.95 ± 0.01 ลดค่าเปอร์ออกไซด์ได้เท่ากับ 9.11 ± 0.41 มิลลิอิควิวเลนที่ต่อกิโลกรัม และลดค่าความเป็นขี้ผึ้งได้เท่ากับร้อยละ 12.50 ± 0.87 ถึงแม้ทุกสถานะจะไม่สามารถลดค่าความเป็นกรดลงได้ แต่ถ้าหากเพิ่มอุณหภูมิหรือระยะเวลาในกระบวนการดีโอดไรเซชันอาจช่วยลดค่าความเป็นกรดลงได้

การศึกษานำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งกลับไปใช้ใหม่เปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำมันและตัวอย่างมันฝรั่งที่ยังไม่ผ่านกระบวนการ โดยเลือกน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งที่สถานะอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มาศึกษาพบว่า การทอดมันฝรั่งแช่ดองเป็นเวลา 4 วัน ทำให้คุณภาพของน้ำมันมีการเสื่อมเสียเพิ่มขึ้น ซึ่งการเสื่อมเสียของคุณภาพของน้ำมันทั้งที่ไม่ผ่านกระบวนการและผ่านกระบวนการที่ใช้ทอดมันฝรั่งแช่ดองไม่มีความแตกต่างกัน

ศึกษาอายุการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้ผึ้งโดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันเป็นเวลา 15 วัน ทำการตรวจเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ค่าสี ค่าความหนืด ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าแอนนิซิติน พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาผ่านไปคุณภาพของน้ำมันทั้งด้านกายภาพและเคมีมีการเสื่อมเสียต่อเนื่องตามจำนวนวันที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าความสว่างสีของน้ำมันลดลง และมีค่าความหนืด ค่าความเป็นกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าแอนนิซิติน เพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

การใช้น้ำมันทอดใช้แล้วที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและสารประกอบมีขี้พบว่าคุณภาพของน้ำมันมีความแตกต่างกับน้ำมันที่ยังไม่ผ่านกระบวนการ โดยค่าที่สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันและเห็นผลชัดเจนคือ ค่าสี ค่าเปอร์ออกไซด์และค่าความเป็นขี้ ส่วนค่าที่ยังไม่เห็นผลชัดเจนคือค่าความเป็นกรด แต่หากจะนำไปใช้ทอดซ้ำยังไม่แนะนำให้ใช้น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการโดยตรงก่อน อาจจะต้องมีการทดสอบปรับสภาวะอุณหภูมิ เวลา และความดัน การให้ออกซิเจนกับกระบวนการให้เหมาะสมก่อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของน้ำมัน ชนิดองค์ประกอบภายในอาหารที่ใช้ทอด อุณหภูมิและเวลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลผลิตงานวิจัย

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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ถาวร อริยภุชชัย. 2550. แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกล้วยหอมที่ผ่านการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นิธิยา รัตนปนนท์. 2543. ลิพิด เคมีอาหาร. เชียงใหม่: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิธิยา รัตนปนนท์ และวิบูลย์ รัตนปนนท์. 2543. สารพิษในอาหาร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

แพรวพรรณ สุริวงส์. 2559. 1 กุมภาพันธ์ “เลือกน้ำมันให้เหมาะสมสร้างสุขภาพที่ดี.” มติชนออนไลน์.

ไพโรจน์ วิริยจารี. 2547. การวางแผนและการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ภาคภูมิ อุณหเลขจิตร์. 2559. “การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาต่อการเกิดสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดอาหารประเภทเนื้อและแป้ง”. ใน การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 3. นครราชสีมา: วิทยาลัยนครราชสีมา.

วิภาวรรณ ศรีमुख. 2545. “น้ำมันพืชสำหรับบริโภค.” กรมวิทยาศาสตร์. 50(160): 9-12.

วิไล รังสาตทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศิริกานต์ สัตถวิชัยพิชญ์. 2558. “เทคโนโลยีการกลั่นน้ำมันปาล์มบริโภค”. 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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.
- 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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.
- 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

ก1. การวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab (Color Quest XE)

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องทดสอบและโปรแกรมการทดสอบในคอมพิวเตอร์ ในการตรวจสีของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่าง ใช้ค่า สีระบบ CIE $L^* a^* b^*$ โดยการปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) ด้วยการตั้งค่าต่างๆ ดังนี้ Mode เลือก TTRAN (Total transmission) ใช้วัดสีวัตถุโปร่งแสง โดยจะรวมแสงที่ทะลุผ่านทั้งหมด และแสงที่กระเจิง และเลือก Illuminant/ObsERVER เลือก D65/10°

2. ทำการ Calibration เครื่องก่อนการวัดครั้งแรกด้วยชุด Calibration โดยทำตามขั้นตอนที่โปรแกรม กำหนดดังนี้

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
5. กด read แล้วรอให้เครื่องอ่านค่า
6. บันทึกค่าสีที่ได้จากเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำความสะอาด cell โดยเทตัวอย่างทิ้ง ล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วเช็ดให้แห้ง
8. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง ในของเหลวชนิดเดิมแล้วหาค่าเฉลี่ย X Y Z และ $L^* a^* b^*$ สำหรับ ตัวอย่าง นั้น ๆ
9. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนตัวอย่างของเหลว

ก2. การวิเคราะห์ค่าความหนืด (viscosity)

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาการทำงานของเครื่อง ข้อจำกัด ช่วงการใช้งาน และข้อควรระวังอย่างละเอียด และเตรียมพร้อม อุปกรณ์ทดสอบ
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 และซับน้ำด้วยทิชชูเบาๆ ทุกครั้งที่เปลี่ยนตัวอย่างในการทดสอบ

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

1. อบขวดก้นกลมสำหรับหาปริมาณน้ำมันซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร ในตู้อบไฟฟ้า และทิ้งให้เย็น
ในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก ถ้าตัวอย่างมีปริมาณน้ำมันที่มากให้ชั่ง 1-2 กรัม แต่ถ้าเป็นตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำมันน้อยให้ชั่ง 3-5 กรัม ห่อให้มีมิดชิดแล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในชอคเลต
4. เติมตัวทำละลายเฮกเซนลงในขวดหาปริมาณน้ำมันประมาณ 150 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตาร้อน
5. ประกอบชุดอุปกรณ์สกัดน้ำมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ความแน่นและเปิดสวิทซ์ให้ความร้อน
6. ใช้เวลาในการสกัดนาน 14 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ความแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที
7. เมื่อครบ 14 ชั่วโมง นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากชอคเลต ทิ้งให้ตัวทำละลายไหลจากชอคเลตลงใน ขวดก้นกลมจนหมด
8. ระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ
9. นำขวดหาปริมาณน้ำมันอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส จนแห้งใช้เวลาประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
10. ชั่งน้ำหนัก แล้วอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

คำนวณหาปริมาณน้ำมันจากสูตร

ปริมาณน้ำมันคิดเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก = $\frac{\text{น้ำหนักน้ำมันหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$

น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น



ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์ทางเคมี

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

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักน้ำมันตัวอย่าง 10 ± 0.2 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายผสมของ Isopropyl alcohol: toluene ที่อัตราส่วน 1:1 v/v ปริมาตร 25 มิลลิลิตรลงในตัวอย่าง
 2. หยดสารละลายฟีนอล์ฟธาลินร้อยละ 0.1 ใช้เป็นอินดิเคเตอร์ 3-5 หยด เขย่ารวมกันในขวดรูปชมพู่
 3. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N ใส่ในบิวเรท เปิดโล่อากาศพร้อมทำการไทเตรท
 4. ค่อยๆหยดสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จากบิวเรท ลงในขวดรูปชมพู่ พร้อมเขย่าให้เข้ากัน
 5. ไทเตรทสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ลงจนกว่าจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู (ทิ้งให้คงตัว 30 วินาที)
 6. บันทึกปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการไทเตรท
- คำนวณค่าความเป็นกรด

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

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

ข2. การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5 ± 0.05 กรัม (ทราบน้ำหนักแน่นอน) ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายผสมอะซิติก: คลอโรฟอร์ม (3:2) 30 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว 0.5 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เขย่าสารละลายเป็นเวลา 1 นาที ในที่มีด และเติมน้ำกลั่นทันที 30 มิลลิลิตร
5. ไตเตรทด้วยสารละลาย โซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อนและเติมสารละลายน้ำแข็งความเข้มข้นร้อยละ 1 จำนวน 2 มิลลิลิตร และไตเตรทต่อจนสีน้ำเงินจางหาย
6. บันทึกปริมาตรสารละลาย โซเดียมไทโอซัลเฟต ที่ใช้ในการไตเตรท
7. ทำ blank ตามวิธีเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น แต่ไม่ใส่ตัวอย่างน้ำมัน
คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์

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

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 ± 0.1 กรัม ใส่ในขวดปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายไอโซออกเทน เขย่าให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร
3. ทำ blank โดยใช้สารละลายไอโซออกเทน
4. นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร
5. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากขวดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ออกมาจำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
6. ปิเปตสารละลาย blank จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองอีกหลอดหนึ่ง
7. เติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
8. นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร

คำนวณค่าพาราแอนนิซิดีน

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

Mass of sample, g

เมื่อ A_s = ค่าการดูดกลืนแสงหลังเติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน

A_b = ค่าการดูดกลืนแสงก่อนเติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน

ข4. การวิเคราะห์ค่าความเป็นขี้ด้วยเครื่อง Ebro™ electronic (FOM 310) ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ 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 ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
แบบฟอร์มทดสอบลักษณะประสาทสัมผัส

แบบทดสอบ

มันฝรั่งแช่ทอด

ชื่อ.....วันที่.....ชุดที่.....

ข้อเสนอแนะ : ทดสอบรสชาติและลักษณะของตัวอย่างที่ให้และตรวจสอบว่าท่านชอบ/ไม่ชอบมาก
เพียงไรในผลิตภัณฑ์ 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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The effect of temperature and time during deodorization on the quality of used palm oil

Numpetch Aksorntip^{1*} and Pramoun Srikalong²

¹Department of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

Tel.: +66901082816, E-mail: numpetch61@gmail.com

*Corresponding author. E-mail: numpetch61@gmail.com

²Department of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

E-mail: pramoun.jr@kmitl.ac.th

ABSTRACT: The consumption of fried foods, especially were repeated frying oil increased risk of cancer and heart disease. Deodorization is vapor distillation process that removes odor material from the edible oil at high temperature and high vacuum conditions. The objective of this study was to determine the effect of temperature and time during deodorization on the quality of used palm oil. The used palm oils were deodorized at different temperature (180, 200 and 240 °C) for 30, 60, 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) and color changes. Results showed that deodorization process all treatments could decreased peroxide value (PV), *p*-anisidine value (*p*-AV) and total polar components (TPC). Considering deodorized used palm oil quality at 240°C for 30 min was recommended to improvement used palm oil with low PV (6.18 meg/kg) and the lowest TPC reduction level was 11.50 %. However, the highest temperature (240 °C) decreased lightness (L*) of deodorized used palm oil.

Keyword: Fried food, Deodorization, Repeated frying oil, Fatty acid

INTRODUCTION

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. There changes that lead to alteration of chemical reactions are induced in the oil, such as hydrolysis, oxidation, cyclization and polymerization. Most of them are non-volatile but they were collected in the oil causing modifications of the physical and chemical characteristics such as viscosity, color, fatty acid (FA) composition, peroxide

value and total polar compound (TPC) [9]. These reaction products exert cytotoxic and genotoxic effect [7] that repeated consumption of oxidized fat in the diet could pose a chronic threat to health. Nowadays, the several method can eliminate or reduce these products such as degumming, bleaching, silicate films [12], solution of alkali and deodorization.

Deodorization process is one of refining stage with an important effect on the quality of refined oil since it is usually the last refining process step. This method is the removal of undesired volatile odoriferous components in oils, aldehydes and free fatty acids. Among them the heavier free fatty acids have the lowest vapor pressure, and therefore they are

the least volatile components [3].

In a normal deodorization process (within a complete refining process) high temperatures is used ($>180\text{ }^{\circ}\text{C}$) [10], [17]. The deodorization, where high temperatures are used, some chemical modification of the native oil allows the detection of this thermal process. That is the case of polymeric glycerides that can be detected in deodorized oils treated at high temperature [10], [13]. However, these drastic processing conditions lead to the occurrence of important chemical degradation reactions that influence the final oil quality [2] [4]. Therefore, the purpose of this study were to determine the effect of temperature and time during deodorization on the quality of used palm oil.

MATERIAL AND METHODS

2.1 Materials

Palm oil and potato sticks were purchased from a local market in Thailand. All chemicals and solvent for analyses were of analytical grades.

2.2 Methods

Used palm oil was used for this study. It was prepared from deep fry potato sticks at $150\text{-}160\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 10 min by the palm oil per potato sticks (4:1 w/w), then used palm oil was kept on stainless steel open around one day. After one day, it was fried again with the same ratio (four day duplicate). Deep fry potato sticks experiments were conducted in duplicate using an electric deep fryer (Fritel, China).

In the deodorization process, 4 kg of used palm oil was carried out by batch scale laboratory deodorizer: the used oil sample was contained in vacuum pot (0.7 bars) using water as stripping gas. This vacuum pot was heated on the gas stove. The internal temperature vacuum pot was controlled by digital control (JCS-33 A) mode of PT100 temperature

sensor. The vacuum pot was also used to connect the vacuum tube to the outlet connected to a condenser, in order that the odor material was removed from the system (maximum operative works of the pump at 1.5 m bar, Vacuubrand pump, Wertheim, Germany). This vacuum tube also controlled a steam input, obtained from a boiling steam of vacuum pot.

The deodorization experiments were operated at 180, 200 and $240\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 30, 60 and 90 mins respectively. After that, the deodorized used palm oil was left for cool down to room temperature and stored in dark bottles in a refrigerator at $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ until the chemical and physical changes were analyzed. An experimental factorial design (3×3) with three levels of temperature (180, 200 and $240\text{ }^{\circ}\text{C}$) and three levels of time (30, 60 and 90 mins) were carried out. Experiments were carried out in duplicate.

2.3 Determination of acid value (AV)

The determination of fatty acid was carried by titration with potassium hydroxide solution of the used oil sample, properly diluted with an ethyl alcohol-ethyl ether mix and using phenolphthalein as the indicator [1]. Results are expressed acid value.

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

a = volume of potassium hydroxide solution used for sample

b = volume of potassium hydroxide solution used for blank

N = normality of sodium thiosulfate solution

w = weight of sample in gram

2.4 Determination of peroxide value (PV)

Peroxide value method was used, based on titration with sodium thiosulfate solution of the used oil sample, properly diluted with a chloroform/acetic acid (3:2) mix and then treated with potassium iodide using the starch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

solution as the indicator [1]. Results are expressed as milliequivalents per kg of oil.

$$PV \text{ (meq/kg)} = [(a-b) \times N \times 1000] / w$$

a = volume of sodium thiosulfate solution used for sample

b = volume of sodium thiosulfate solution used for blank

N = normality of sodium thiosulfate solution

w = weight of the sample in gram

2.5 Determination of *p*-anisidine value (*p*-AV)

The determination of *p*-anisidine value was carried by the AOCS Cd 18-90 method [1] using 0.5 g samples, glacial acetic acid, isooctane, 99% *p*-anisidine (Sigma-A88255, Aldrich) and a quartz cuvette. A blank and the samples were read in ranges 350 nm by UV-Vis spectrophotometer (Shimadzu, uv-1601, Japan). Results are expressed *p*-anisidine value

$$p\text{-anisidine value} = 25(1.2A_s - A_b) / m$$

A_s = absorption value after reacting with *p*-anisidine solution

A_b = absorption value before reacting with *p*-anisidine solution

m = mass of the sample

2.6 Determination of total polar compounds (TPC)

The determination of total polar components was used electronic equipment (Ebro TM electronic, FOM 310, Germany). The head sensor of electronic equipment was dipped (5 seconds) into the sample at 150-160 °C [18]. Results are expressed as percentage of total polar components.

2.7 Color

The sample color was determined by using a Hunter Lab Scan XE colorimeter (Hunter Lab, Color Quest XE, USA). The illuminant used was D65 and the standard observer was

set at 10°. The color results were expressed in Hunter Lab units.

2.8 Statistics

Analysis of data was carried using SPSS statistical software version 16. In order to indicate significance level (α) differences between temperature and time deodorizing of the used oil sample, analysis of variance (ANOVA) tested by Duncan's multiple ranges at level 95% of significance.

RESULT AND DISCUSSION

3.1 Content of acid value in deodorized used palm oil

Table 1 Acid values of used palm oil after deodorization process

Condition		AV changes mg KOH/ g oil
Temp. (°C)	Time (min)	
180	30	1.12±0.00 ^a
180	60	1.06±0.00 ^a
180	90	1.04±0.07 ^a
200	30	1.10±0.03 ^a
200	60	1.06±0.00 ^a
200	90	1.01±0.04 ^a
240	30	1.17±0.06 ^a
240	60	1.01±0.00 ^a
240	90	0.97±0.03 ^a

Different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$).

Mean value ± standard error (in duplicate).

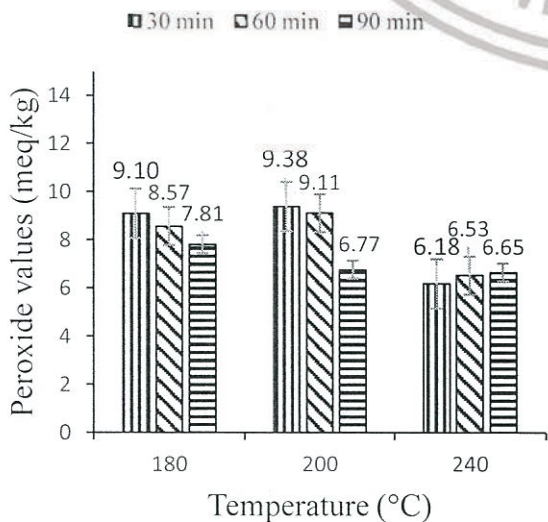
Table 1 present the acid values for the deodorized used palm oil at different temperature and time levels. The result indicated that the acid values were measured after deodorization process did not significant differences among the treatments. Deodorization at 180, 200 and 240 °C for 30, 60 and 90 mins respectively not could reduce all acid values (AV of non-deodorized used palm oil was 0.97±0.03 mg KOH/g oil). On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

the other hand, the acid values inclined to increase after deodorization. Concentration of deodorized used palm oil effect on the acid values because of volatilization of parts of components. Among the volatile components, the heavier free fatty acids have the lowest vapor pressure. Accordingly, these are the least volatile components [3]. Temperature and time for deodorization did not significantly affect the AV. Therefore, it may be required temperatures and time higher than 240 °C for 90 min.

3.2 Content of peroxide in deodorized used palm oil

Peroxide values after deodorization process of used palm oil on each treatment were expressed in Figure 1. The Figure 1 show peroxide values decreased significantly after deodorization process (PV of non-deodorized used palm oil about 9.16 meq/kg). The lowest reduction observed of deodorized used palm oil at 240 °C about 6.18 meq/kg. At 180 and 200 °C, on deodorization time peroxide values were significantly different for 30, 60 and 90 mins respectively while 240 °C did not significant differences. Tsiadi et al. [16] reported that decomposition of PV occurred at more than 100 °C. Hydroperoxide as a primer oxidation product will be decomposed to volatile and non-volatile lower molecular weight components such as aldehyde and

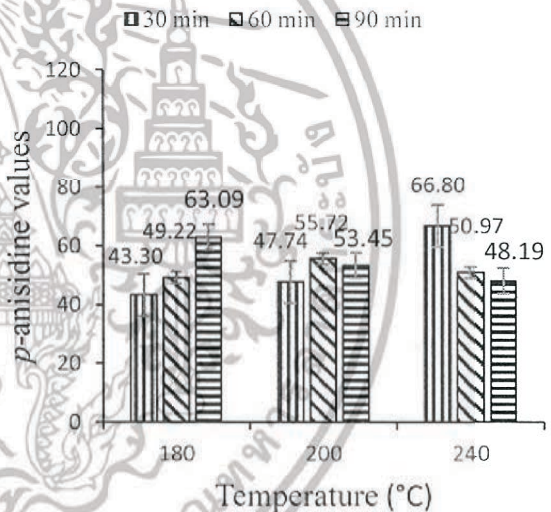


ketone.

Figure 1 Reduction of peroxide values after deodorization.

3.3 Content of *p*-anisidine values in deodorized used palm oil

The *p*-anisidine values assessment encouraged the quality of oil more clearly that were appended as one of the tests determining secondary lipid oxidation (Figure 2). After performing the analysis of variance for each treatment, significant differences were found among the values of *p*-anisidine. At 180 °C, the lowest reduction content of *p*-anisidine value was 43.30. Consistency with the data is shown in Figure 1. The content secondary



products (*p*-AV) lower than the primary products (PV). Figure 2 The *p*-anisidine values after deodorization.

3.4 Total polar compounds

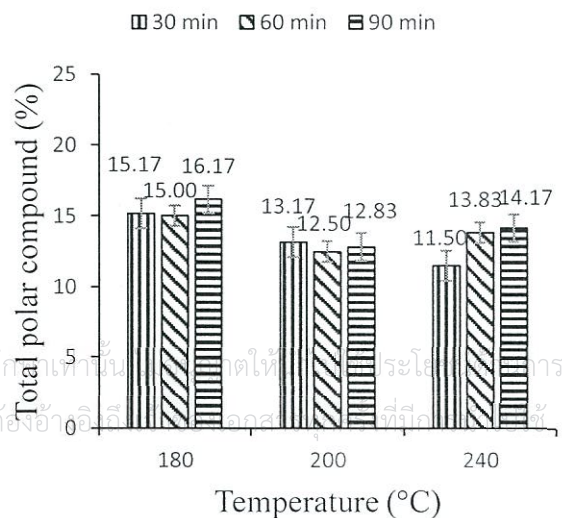


Figure 3 Reduction of the content of total polar compounds after deodorization.

Figure 3 present the results of the alteration content of total polar compounds after deodorization (TPC of non-deodorized used palm oil was 16%). These were consequence between temperature and time during deodorization process. This results explained that only treatment could significantly different reduce the content of total polar compounds 240 °C for 30 min. No significant differences on total polar compounds reduction were observed for the other treatment. After deodorization, the decrease observed in polar compounds because oxidized triglycerides constitute the major components of total polar compounds [5].

3.5 Color changes

The alteration of color is one of the parameter which was explained oil quality. Color changes of used palm oil after deodorization are given in Table 2. The red color (a*) level of used palm oil reduced significantly (P<0.05) after deodorization compares to the used palm oil before

deodorization L*, a* and b* (82.58±0.04, 6.85±0.02 and 36.76±0.16) respectively. The carotenoids are the major source of red/yellow color of the palm oil and there are susceptible to heat destruction which effected to the reduction of red color [6]. However, at 240 °C trend of red color (a*) increase. The increment of the red (a*) deodorized used palm oil could be from using the high frying temperature that was catalyst on non-enzymatic browning reaction such as maillard reaction and caramelization [11].

Since all results aforementioned, at 240 °C for 30 min was recommended to deodorize used palm from frying potato sticks. It was principally selected based on low peroxide value of about 6.18 meg/kg and giving the lowest total polar compound reduction level about 11.50%. Although this treatment not could reduce acid values (1.17±0.06 KOH/g oil), considering the requirements in Table 3 still quantity limit. By the way, the color of used palm oil after deodorization was obtained the value of about brightness (L*) 81.15±0.00, red (a*) 10.13±0.02 and yellow (b*) 84.60±0.18.

Table 2 Color changes after deodorization process

Condition		Color changes		
Temp. (°C)	Time (min)	L*	a*	b*
180	30	86.55±0.02 ^d	4.12±0.01 ^d	75.42±0.03 ^f
180	60	89.10±0.05 ^c	3.08±0.00 ^g	75.03±0.05 ^g
180	90	86.38±0.02 ^e	4.01±0.77 ^e	77.94±0.04 ^d
200	30	91.87±0.02 ^b	0.58±0.02 ^h	73.51±0.06 ^h
200	60	91.95±0.01 ^a	0.19±0.02 ⁱ	72.26±0.07 ⁱ
200	90	85.75±0.01 ^f	3.86±0.01 ^f	75.84±0.10 ^e
240	30	81.15±0.00 ^h	10.13±0.02 ^b	84.60±0.18 ^b
240	60	82.31±0.00 ^g	8.93±0.04 ^c	82.36±0.01 ^c
240	90	75.45±0.01 ⁱ	15.91±0.02 ^a	89.10±0.04 ^a

Different superscript letters are significantly different (P<0.05).

Mean value ± standard error (in duplicate).

Table 3 Requirements of used oil on frying process in each country

Parameter	Quantity limit	Country	Reference
PV	< 10.0 meq peroxide/kg oil	-	Perkins and Michael [14]
AV	< 2.5 mg KOH/1 g oil	Austria	Rossell [15]
AV	< 2.0 mg KOH/1 g oil	Germany	Rossell [15]
AV	< 2.5 mg KOH/1 g oil	Japan	Rossell [15]
AV	< 4.5 mg KOH/1 g oil	Netherland	Rossell [15]
FFA	< 0.05%	-	Perkins and Michael [14]
TPC	< 25%	Thailand	Firestone [8]

CONCLUSIONS

Deodorization process at 180, 200 and 240 °C for 30, 60 and 90 mins, respectively could, improve the better qualities of used palm oil than non-deodorized used palm oil. The qualities aforementioned were reduced peroxide values, *p*-anisidine, total polar compound and increased lightness (L^*) color. The treatment was recommended to be carried out at 240 °C for 30 min based on good PV reduction level of about 6.18 meq/kg and the lowest TPC reduction level was 11.50%. Although total treatment could not reduce AV, increase temperature or time on deodorization may help AV reduction. In general, the deodorization process was utilized on refining step for edible oil. On the other hand, this process was applied to frequently reused oil improving the quality of used oil or one of choice prolong shelf life of frying oil. It could increase the number of times on frying oil. However, all was mentioned depend on temperature and time of deodorization, type of initiate frying for foods and oils.

REFERENCES

[1] AOCS. (2003). Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. Fifth edition. AOCS. Illinois.

[2] Berdeaux, O., Fournier, V., Lambelet, P., Dionisi, F., Sebedio, J. L., and Destailats, F. (2007). Isolation and structural analysis of the cyclic fatty acid monomers formed from eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids during fish oil deodorization. *Journal of Chromatography A*. 1138: 216–224.

[3] Bockisch, M. (1993). *Fats and Oils*, Handbook AOCS press. Illinois. 6: 547.

[4] Ceriane, R. and Meirelles, J. A. (2007). Formation of trans PUFA during deodorization of canola oil: A study through computational simulation. *Chemical Engineering and Processing*. 46: 375–385.

[5] Edwin N. Frankel. (2012). *Lipid oxidation on second edition*. California: University of California Davis, USA.

[6] Eskin. (1979). *Plant Pigment, Flavor and Texture*. Academic Press. New York.

[7] Esterbauer, H. (1993). Cytotoxicity and genotoxicity of lipid-oxidation products. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 57: 779S–865S.

[8] Firestone, D. (2007). 21-Regulation of frying fat and oil. *Deep Frying*:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Chemistry, Nutrition and Practical Applications – 2nd Edition. 373-385.

[9] Gertz, C. (2000). Chemical and physical parameters as quality indicators of used frying fats. *European Journal of Lipid Science and Technology* 102 (8-9), 566-572.

[10] Gomes, T., Caponio, F., Paradiso, V. M., Durante, V., Summo, C., and Pasqualone, A. (2014). Does the increase of deodorisation temperature improve the oxidative stability of refined olive oils?. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 116: 825-831.

[11] 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.

[12] Kalapathy, U. and Proctor, A. (2000). New method for free fatty acid reduction in frying oil using silicate films produced from rice hull ash. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 77(6): 593-598.

[13] Mariani, C., Venturini, S., Gasparoli, A., Tagliabue, S., and Bondioli, P. (2000). Considerazioni preliminari relative agli oli lampanti deodorati. *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*. 77: 49-59.

[14] Perkins, E. G. and Michael, D. E. (1996). *Deep Frying: Chemistry, Nutrition and Practical Applications*. AOCS Press. Illinois. 357.

[15] Rossell, J. B. (2001). *Frying Improving Quality*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England. 369.

[16] 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.

[17] Vaisali, C., Charanyaa, S., Belur, P. D., and Regupathi, I. (2015). Refining of edible oils: A critical appraisal of current and potential technologies. *International Journal of Food Science and Technology*. 50: 13-23.





ภาคผนวก จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
สรุปการใช้จ่ายเงิน

งบประมาณที่ได้	664,800.00	บาท
ค่าใช้จ่ายแยกตามหมวด		
- ค่าจ้างชั่วคราว	116,800.00	บาท
- ค่าใช้สอย	170,000.00	บาท
- ค่าวัสดุ	164,082.47	บาท
- ค่าครุภัณฑ์	196,570.00	บาท
รวมค่าใช้จ่ายจริงทั้งหมด	654,946.52	บาท
คืนเงินงบประมาณ	1,203.48	บาท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) : นาย ประมวล ศรีกาหลง

(ภาษาอังกฤษ) : Mr. Pramoun Srikalong

ตำแหน่งปัจจุบัน (ทางวิชาการ/ราชการ) : ผศ.ดร.

สถานที่ติดต่อ (ที่ทำงาน) : เลขที่ 1 ซ. นลองกรุง 1 ถ. นลองกรุง แขวง ลาดกระบัง เขต ลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 02-3298526

โทรสาร 02-3298527

โทรศัพท์มือถือ 086-3356156

E-mail : amam60@hotmail.com

สถานที่ติดต่อ (ที่บ้าน) : 1201/5 ถ. ประชาพัฒนา แขวง ทับยาว เขต ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ประวัติการศึกษา (ปริญญาตรี-เอก ; สาขา และสถาบัน)

- ปริญญาตรี ชีววิทยาประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ปริญญาโท วิทยาศาสตร์การอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ปริญญาเอก วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ภาระงานในปัจจุบัน (งานประจำที่รับผิดชอบ)

ภาระงานสอน เช่น เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความเย็น เทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความร้อน วิศวกรรมแปรรูปอาหาร 1 หลักวิศวกรรมอาหาร การประเมินอายุการเก็บรักษาอาหาร การเขียนแบบทางวิศวกรรม ภาระงานอื่นๆ เช่น ประธานสาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร และงานต่างๆที่ได้รับมอบหมาย

งานวิจัยที่รับผิดชอบ (กำลังดำเนินงาน) (ชื่อโครงการ แหล่งทุน และระยะเวลาดำเนินการ)

ก. แหล่งทุนจาก สกว.

ข. แหล่งทุนอื่น

ทุนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 1 ทุน เรื่อง นวัตกรรม การแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารเนื้อนุ่มสำหรับผู้สูงอายุโดยใช้การชูวีด้วยความดัน

ผลงานที่ผ่านมา

ก. ผลงานวิจัยตีพิมพ์ (ระดับชาติ และระดับนานาชาติ) (ชื่อผลงาน ชื่อวารสาร แหล่งทุน ปีที่พิมพ์)

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อโครงการวิจัย อุปกรณ์สาธิตแปรรูปอาหารด้วยความเย็น ได้รับทุนจากเงินรายได้คณะ ประจำปี 2551
2. ชื่อโครงการวิจัย การออกแบบอุปกรณ์ผลิตไบโอดีเซลแบบพกพา ได้รับทุนจากเงินรายได้คณะ ประจำปี 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชื่อโครงการวิจัย การใช้เตาพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับการผลิตปลาหมึกแห้ง เพื่อลดการใช้พลังงานจากเตาอบ ก๊าซธรรมชาติบางส่วน ได้รับทุนจาก งบประมาณแผ่นดิน (วช.) ประจำปี พ.ศ. 2552
4. ชื่อโครงการวิจัย บทบาทการมีส่วนร่วมของชุมชนในการพัฒนากระบวนการก่อน และ หลังการเก็บเกี่ยว ปุ๋ยทะเลเพื่อเพิ่มมูลค่าและมาตรฐานการผลิต และการถ่ายทอด เทคโนโลยีสู่ชุมชนในจังหวัดจันทบุรี ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจาก วช. ประจำปี พ.ศ. 2552
5. ชื่อโครงการวิจัย การปรับปรุงเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตมะม่วงดิบแผ่นอบแห้ง ได้รับทุนจาก เงินรายได้คณะ ประจำปี 2553
6. ชื่อโครงการวิจัย การเพิ่มมูลค่ามะม่วงสุกด้วยการพัฒนากระบวนการแปรรูปใหม่เป็นมะม่วงแผ่นขึ้นรูปชนิดความเหนียวต่ำ ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจาก IRPUS3 สกว. ประจำปี 2553
7. ชื่อโครงการวิจัย Effect of Ohmic Heating on Increasing Guava Juice Yield นำเสนอผลงานวิจัย (Notification of Acceptance of the ICBFS 2011) Presentation ในการประชุม 2011 2nd International Conference on Biotechnology and Food Science (ICBFS 2011) ณ เกาะบาหลี ประเทศอินโดนีเซีย ระหว่างวันที่ 1-3 เมษายน 2554 ตีพิมพ์ใน Conference Proceeding ภายใต้ Thomson ISI, EiCompendex and IEEE Xplore
8. ชื่อโครงการวิจัยการพัฒนาเครื่องปอกหัวด้วยเทคนิคการตัดผิว ได้รับทุนจาก เงินรายได้คณะ ประจำปี พ.ศ. 2554
9. ชื่อโครงการวิจัยการพัฒนาเครื่องปอกหัวแบบประหยัดน้ำด้วยเทคนิคการตัดผิว ได้รับทุนจากวช. ประจำปี พ.ศ. 2555
10. ชื่อโครงการวิจัย การประยุกต์ใช้เทคนิคโอห์มมิกในกระบวนการแปรรูปมะละกอสุกแช่อบแห้ง ได้รับทุนจาก เงินรายได้คณะ ปี 2555
11. ชื่อโครงการวิจัย การพัฒนากระบวนการ โอห์มมิก เพื่อเร่งการดูดซึมน้ำตาล ในกระบวนการผลิตมะม่วงสุกแช่อบแห้ง ได้รับทุนจาก งบประมาณแผ่นดิน ปี 2556
12. ชื่อโครงการวิจัย การพัฒนาเครื่องคัดแยก โลหะปนเปื้อนในวัตถุดิบเมล็ดพริกไทย ได้รับทุนจาก เงินรายได้คณะ ประจำปี พ.ศ. 2556

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อโครงการวิจัย เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ ได้รับทุนจาก สกว. (ผู้ถือสิทธิคือ สกว. ร่วมกับนักวิจัย) ปี 2548-2550 ได้รับสิทธิบัตรแล้ว เลขที่ 26220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชื่อโครงการวิจัย การสกัดวิตามินอีจาก Distillate ของน้ำมันปาล์ม โดยใช้ตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลา 1 ปี ได้รับทุนจาก สกว. ประจำปี พ.ศ. 2549
3. ชื่อโครงการวิจัย การออกแบบ สร้าง และ การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผสมเกลือไอโอดีนชนิดรีบบอนต้นแบบ ระยะเวลา 6 เดือน ได้รับทุนจาก องค์การยูนิเซฟ, พ.ศ. 2553
4. ชื่อโครงการวิจัย การพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากผลไม้ในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่น เพื่อเพิ่มผลผลิตและมูลค่า และการถ่ายทอดเทคโนโลยี ระยะเวลา 1 ปี ทุนวิจัยร่วมกับมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ได้รับทุนจาก วช. ประจำปี พ.ศ. 2554
5. ชื่อโครงการวิจัย ศึกษาการเก็บรักษาข้าวคั่วสมุนไพร ในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่นเพื่อเพิ่มมูลค่าและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนในจังหวัดเชียงใหม่ ระยะเวลา 1 ปี ทุนวิจัยร่วมกับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ได้รับทุนจาก วช. ประจำปี พ.ศ. 2554
6. ชื่อโครงการวิจัย โครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตหมูชะมวงแช่เยือกแข็งจากภูมิปัญญาท้องถิ่นของจันทบุรีสู่การเป็นสินค้าเศรษฐกิจชุมชน ระยะเวลา 1ปี ทุนวิจัยร่วมกับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลภาคตะวันออก วิทยาเขต จันทบุรี ได้รับทุนจาก วช.ประจำปี พ.ศ. 2554
7. ชื่อโครงการวิจัย การวิจัยและพัฒนาเครื่องมือทดสอบความแก่อ่อนของทุเรียนแบบไม่ทำลาย ระยะเวลา 1 ปี ทุนวิจัยร่วมกับ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ได้รับทุนจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ.2554 และ ฯลฯ อีกจำนวนหนึ่ง

งานวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่ : หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย: อุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทอดให้แล้ว โดยใช้เทคนิคการกำจัดกรดไขมันอิสระ และสารประกอบมีข้าวด้วยระบบไอน้ำ ได้รับทุนจาก วช. ประจำปี พ.ศ. 2558 ดำเนินการได้ร้อยละ 99

งานวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่ : ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย : นวัตกรรมเพิ่มมูลค่าสาระสำคัญในข้าวไร่ เพื่อใช้เป็นอาหารกลุ่มฟังก์ชันนอล ระยะเวลา 3 ปี กองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปี 2556 ดำเนินการได้ร้อยละ 99

งานวิจัยที่เผยแพร่

1. ประมวล ศรีกาหลง กัณธรัตน์ กฤษณาชัยทิพย์ และ อรรถยา ว่องวิบูลย์พร. 2542. การลดการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นมันฝรั่งทอด. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 1 คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง :371-379.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ประมวล ศรีกาหลง บุญทวี แสงพรหม และ อมรพรรณ ลิงขโรทัย. 2552. ผลของปัจจัยทางกายภาพที่มีต่อค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาหารเหลวที่มีความหนืดสูงและความหนืดต่ำ. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 27(2):1-10.
3. ประมวล ศรีกาหลง เกรียงไกร พรหมมา และ อัสวิน จตุรงค์พลาธิปัด. 2543. ผลของการฉายรังสีต่อคุณภาพของมันฝรั่งและมันฝรั่งแผ่นทอด. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ :229-236
4. ประมวล ศรีกาหลง และ วริชชนม์ นิลนนท์. 2553. บทบาทการมีส่วนร่วมของชุมชนในการพัฒนากระบวนการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวทุเรียนเพื่อเพิ่มมูลค่าและมาตรฐานการผลิตและการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนในจังหวัดจันทบุรี. การประชุมวิชาการระดับชาติ เครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ ประจำปี 2553:413-418.
5. Pramoun Srikalong, Thanit Makrudin, Pongpat Sampavamontri and Ekarin Kovitthaya. 2011. Effect of Ohmic heating on Increasing Guava Juice Yield. Proceeding of ๒๐๑๑ International Conference on Biotechnology and Food Science. April 1-3, 2011, Bali Island, Indonesia.122-125.
6. ประมวล ศรีกาหลง. 2552. บทความวิชาการตีพิมพ์: กระบวนการให้ความร้อนแบบ Ohmic Heating. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 27(1):96-102.
7. รัชดา พวงจันทร์แดง ประมวล ศรีกาหลง และ วริทธิ์ อารีกุล. 2555. การประเมินประสิทธิภาพเครื่องดันแบบในการผสมเกลือเสริมไอโอดีนชนิดรีบบินแบบหัวคิดสเปรย์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 30(3):59-67.
8. สุกัญญา พวงพิกุล และ ประมวล ศรีกาหลง. 2555. ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้า และความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลต่อคุณภาพของมะละกอแช่หมักแห้ง โดยวิธีการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1. 291-296.
9. ณัฐพล ประเทงจิตต์ และ ประมวล ศรีกาหลง. 2555. ผลของกระบวนการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรงต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล และลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในมะม่วงน้ำดอกไม้ตัดแต่งพร้อมบริโภค. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1. 94-100.
10. จักรกฤษ งามวิชา และ ประมวล ศรีกาหลง. 2555. การศึกษาการปนเปื้อนสารเมลามีนในปลาป่นและการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปคโทรสโกปีในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณเมลามีนในปลาป่น. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1. 432-439.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เบญจภรณ์ สว่างดี พรพิมล พูยง และ ประมวล ศรีกาหลง. 2556. การพัฒนากระบวนการโอห้มมิก เพื่อเร่งการดูดซึมน้ำตาลในกระบวนการผลิตมะม่วงสุกแช่เย็นแช่อบแห้ง. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 2. 218-224
12. ณัชนลิน เจริญจิตร ประมวล ศรีกาหลง และ วรพัทธ์ อารีกุล. 2556. การกระจายตัวในการผสมเกลือไอโอดีนของเครื่องผสมแบบรียบบอนุด้วยการหยด. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 2. 191-196.
13. นิธิวัจน์ กลิพร้อม ประมวล ศรีกาหลง และ วรพัทธ์ อารีกุล. 2556. ปัจจัยในการผสมที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ด. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 31(3):33-38.
14. สุรศักดิ์ จันทรานิมิตร และ ประมวล ศรีกาหลง. 2558. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมจีนทอดปรุงร่งแต่งหน้าเพื่อการยอมรับของผู้บริโภค. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 32(3):59-66.
15. Pattama Supaphon, Siriporn Kaewsard, Yuporn Peuchkamut, Sontisuk Teerachaichayut, Pramou Srikalong and SorayaKerdpiboon. 2012. Correlation Determination between Morphology, Chemical Compositions and Physical Properties of Sirioin Beef Steak. Kasetsart University Annual Conference, 52nd. 201-207.
16. RonnakornSroynak, Pramoun Srikalong and PatcharinRaviyan. 2013. Radical Scavenging Capaccity and Antioxidant Activity of the Vitamin E Extracted from Palm Fatty Acid Distillate by sequential Cooling Hexane. Journal of Agricultural Science. Vol.5. No.4. 2013.
17. สืบตระกูล วานิชศรี และ ประมวล ศรีกาหลง. 2560. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในรำข้าวที่ผ่านการสกัดไขมัน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 35 (1): 44-50.
18. Aksorntip, N. and Srikalong, P. 2017. The effect of temperature and time during deodorization on the quality of used palm oil. Proc. The 19th Food Innovation Asia Conference 2017 (FIAC 2017). 15-17 June 2017.
19. Pathumanont, N. and Srikalong, P. 2017. Spray drying conditions on properties of ginger (Zingiber officinale Roscoe) extract powder. Proc. The 19th Food Innovation Asia Conference 2017 (FIAC 2017). 15-17 June 2017.

ข. ผลงานวิจัยที่นำไปใช้ประโยชน์ (ต่อสาธารณณะ, ชุมชน, กลุ่มเกษตรกร ฯลฯ)

- การเปิดอบรม การผลิตไบโอดีเซลเพื่อชุมชน สำหรับบุคคลทั่วไป ทุกปี ปีละ 15-25 คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบพกพา ตัวอย่างการนำไปใช้งาน โรงแรมเบิร์ดแอนดบี จังหวัด ชลบุรี โดยคุณ มีชัย วีระไวทยะ จำนวน 6 เครื่อง ส่งเป็นอุปกรณ์สอนนักเรียนใน โรงเรียนเครือข่าย โดยเงินทุน เซฟรอน
- เครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบพกพา ตัวอย่างการนำไปใช้งาน ร้านค้าหมูทอด ในจังหวัดสุโขทัย จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบพกพา ตัวอย่างการนำไปใช้งาน ชุมชนบึงบัว เขต ลาดกระบัง กรุงเทพฯ จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบพกพา ตัวอย่างการนำไปใช้งาน โรงเรียนเครือข่าย ในจังหวัด นครศรีธรรมราช จำนวน 6 เครื่อง โดยเงินทุน เซฟรอน
- เครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบพกพา ตัวอย่างการนำไปใช้งาน ศูนย์วิทยาศาสตร์ ในจังหวัด นครศรีธรรมราช จำนวน 1 เครื่อง
- เครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบพกพา ตัวอย่างการนำไปใช้งาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จำนวน 1 เครื่อง โดย ศาสตราจารย์.ดร. วีระ เอกสมทราเมษฐ์
- เครื่องผสมเกลือ ไอโอดีนชนิดรีบบอน จำนวน 4 เครื่อง งบประมาณจาก องค์การอาหาร และ ยา ร่วมกับ ยูนิเซฟ เพื่อนำไปไว้ในแหล่งผลิตเกลือต่างๆ เช่น ชุมชนบ่อเกลือ จังหวัดน่าน นอกจากนี้แบบพิมพ์เขียวของเครื่อง ได้ทำการถวายสมเด็จพระเทพฯ และ ยูนิเซฟ ประเทศไทย ได้ส่งแบบพิมพ์เขียวนี้ไปใช้ในประเทศอื่นๆทั่วโลก และ องค์การอาหาร และ ยา ร่วมกับ ยูนิเซฟ ได้ลงนามความร่วมมือ กับ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อผลิต เครื่องให้รัฐบาลอีกจำนวนมาก
- เครื่องคั่วข้าวคั่วสมุนไพร ตัวอย่างการนำไปใช้งาน มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ส่งเสริม และ สาธิต ในชุมชนเมืองแกน จังหวัดเชียงใหม่ โดย ดร. วิสนีย์ สุประดิษฐ์อรุณ
- ในช่วงเวลานี้ กำลังผลิตอีก 1 เครื่อง เพื่อให้กับ โรงเรียนราชประชานุเคราะห์ 51 จังหวัดบุรีรัมย์ และ ฯลฯ อีกจำนวนหนึ่ง

ค. ผลงานอื่น ๆ เช่น บทความ หนังสือ สิทธิบัตร ฯลฯ

ชื่อโครงการวิจัย เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ ได้รับทุนจาก สกว. (ผู้ถือสิทธิคือ สกว. ร่วมกับนักวิจัย) ปี 2548-2550 ได้รับสิทธิบัตรแล้ว เลขที่ 26220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้