ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อคุณภาพน้ำมันทอดไก่

Some Factors Affecting on the Quality of Chicken Fried Oil

สุนิสา วิชาชูเชิด

Sunisa Wichachuchoet

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Science in Food Science and Technology

Prince of Songkla University

2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อคุณภาพน้ำมันทอดไก่
ผู้เขียน นางสาวสุนิสา วิชาชูเชิด
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

...……..……..
(ดร.วรพงษ์ อัศวเกศมณี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

...……..……..
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์)

คณะกรรมการสอบ

……..…...ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก่องกาญจน์ กิจรุ่งโรจน์)

…….....กรรมการ
(ดร.วรพงษ์ อัศวเกศมณี)

…….....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์)

…….....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พอใจ ถามากร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

……
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อคุณภาพน้ำมันทอดไก่

ผู้เขียน นางสาวสุนิสา วิชาชูเชิด

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

การทอดอาหารแบบน้ำมันท่วม เมื่อน้ำมันทอดได้รับความร้อนต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการก่อตัวของผลิตภัณฑ์ที่ไม่สลายตัวในน้ำมัน ซึ่งในอำเภอหาดใหญ่ไก่ทอดจัดเป็นหนึ่งในอาหารที่ได้รับความนิยมมากต่อผู้มาเยี่ยมเยือน การเสื่อมคุณภาพของน้ำมันทอดไก่ระหว่างกระบวนการทอดจึงกลายมาเป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึงมากขึ้นเนื่องจากส่งผลกระทบถึงสุขภาพของผู้บริโภค การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าว โดยวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ ค่าพาราอะนิสิดีน ความหนืดและค่าสีของน้ำมัน ภายหลังให้ความร้อนเป็นเวลา 8 ชั่วโมงที่ อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองมีความคงทนต่อการเสื่อมคุณภาพโดยความร้อนมากกว่าน้ำมันรำข้าวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งน้ำมันปาล์มจะมีความคงทนต่อการเสื่อมคุณภาพโดยความร้อนมากกว่าน้ำมันถั่วเหลืองเมื่อทอดน่องไก่แบบน้ำมันท่วม การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาทอด โดยทอดน่องไก่ในน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15, 18 และ 21 นาทีและอัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณน่องไก่เป็น 10:1.0 ปริมาตรต่อน้ำหนัก วิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ ค่าพาราอะนิสิดีน ความหนืด ค่าสีของน้ำมัน ค่าสีผิวภายนอกของไก่และปริมาณไขมันรวมในหนังและเนื้อไก่ พบว่าค่าเพอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ ค่าพาราอะนิสิดีนและความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันและค่าสีผิวภายนอกของไก่ มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาทอดเพิ่มมากขึ้น การดูดซับน้ำมันในหนังไก่ทั้งสามอุณหภูมิที่ใช้ทอดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มมากขึ้นและการดูดซับน้ำมันในเนื้อไก่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ในขณะที่อุณหภูมิในการทอดเพิ่มมากขึ้น การศึกษาอัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณน่องไก่ (10:0.5, 10:1.0, 10:1.5, 10:2.0, 10:2.5 และ 10:3.0 ปริมาตรต่อน้ำหนัก) เมื่อทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 นาที จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพพบว่าการทอดไก่ที่อัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณไก่ที่ต่ำ (10:0.5) จะทำให้เกิดการเปลี่ยนคุณภาพของน้ำมันช้ากว่าการทอดไก่ที่อัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณที่สูงกว่า การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันทอดซ้ำเมื่อเปรียบเทียบการทอดซ้ำแบบ

30 ครั้งภายใน 1 วัน การทอดซ้ำแบบวันละ 10 ครั้งต่อวัน เป็นเวลา 4 วัน โดยมีการกรองน้ำมัน และการทอดซ้ำแบบวันละ 10 ครั้งต่อวัน เป็นเวลา 7 วัน โดยมีการกรองน้ำมันและเติมน้ำมันใหม่ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 นาที อัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณไก่ 10:3.0 ปริมาตรต่อน้ำหนัก ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมัน พบว่าการทอดซ้ำแบบวันละ 10 ครั้งต่อวัน เป็นเวลา 7 วัน โดยมีการกรองน้ำมันและเติมน้ำมันใหม่ น้ำมันจะมีคุณภาพดีกว่าการทอดซ้ำแบบอื่นที่ศึกษา

Thesis Title	Some factors affecting on the quality of chicken fried oil
Author	Miss Sunisa Wichachuchoet
Major Program	Food Science and Technology
Academic Year	2010

ABSTRACT

Continuous deep frying at high temperature for long period of time results in development of unpleasant decomposition product. Hat-Yai fried chicken is one of the most popular foods in Songkhla province. The quality deterioration of chicken frying oil during frying process has increasingly become a public health concern. The quality changes in palm oil, soybean oil and rice bran oil were analyzed periodically for their peroxide value (PV), free fatty acid (FFA), *p*-anisidine value (*p*-AV), viscosity and color during heating at 190°C for 8 h. The result showed that palm oil and soybean oil had higher heating stability than rice bran oil ($p < 0.05$). Palm oil was heating stability higher than soybean oil for deep frying of chicken drumsticks. To investigate the effect of frying temperature and frying time, chicken drumsticks were fried at 170°C, 180°C and 190°C for 15, 18, 21 min and ratio of palm oil to chicken was 10:1.0. Frying oil was analyzed for its peroxide value (PV), free fatty acid (FFA), *p*-anisidine value (*p*-AV), viscosity and color as well as surface color of fried chicken and total fat in skin and meat of fried chicken. It was found that PV, FFA, *p*-AV and viscosity increased significantly ($p < 0.05$) with frying time. The color of frying oil and surface color of fried chicken tended to increase with increasing frying temperature and time. The total fat in skin fried chicken of all temperature tended to increase with time of frying ($p < 0.05$) and total fat in meat fried chicken was not significant different ($p \geq 0.05$) when temperature increased. The ratios of oil to chicken drumsticks (10:0.5, 10:1.0, 10:1.5, 10:2.0, 10:2.5 and 10:3.0) frying at 180°C for 18 min on the quality changes of frying oil were studied. The results showed that frying with lower proportion of oil to chicken (10:0.5) could prolong the changes in frying oil quality when compared with higher proportion. Quality changes in repeated frying oil were compared between repeated frying 30 batches within 1 day, frying 10 batches/day for 4 consecutive days (filter) and frying 10 batches/day for 7 consecutive days (filter and turnover) at 180°C for 18 min and oil to chicken

ratio of 10:3.0 v/w were investigated. Results revealed that repeated frying for 10 batches/day for 7 consecutive days (filter and turnover) showed better oil quality than other repeated frying conditions.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีต้องขอบพระคุณ ดร.วรพงษ์ อัศวเกศมณี ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวคนธ์ วัฒนจันทร์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาร่วม เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำตลอดระยะเวลาที่ศึกษา การค้นคว้า การทำงานวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งการเสียสละเวลาให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก่องกาญจน์ กิจรุ่งโรจน์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พอใจ ถามากร กรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตรและคณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนในการค้นคว้าวิจัย ขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล ที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย และ ดร. สุนิสา ศิริพงศ์วุฒิกร ที่กรุณาให้คำแนะนำงานวิจัยในบางส่วน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่สนับสนุนการศึกษา พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ คณะอุตสาหกรรมเกษตรที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดจนทุกๆ ท่านที่มิได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

สุนิสา วิชาชูเชิด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ……..	(3)
ABSTRACT……	(5)
กิตติกรรมประกาศ……...	(7)
สารบัญ…….....	(8)
LIST OF TABLES……...…...	(9)
LIST OF FIGURES……..…..	(11)
LIST OF APPENDIX TABLE……...	(12)
บทที่	
1 บทนำ…….....	1
บทนำต้นเรื่อง……	1
การตรวจเอกสาร……	2
วัตถุประสงค์…….....	27
2 วิธีการวิจัย…….....	28
วัสดุและอุปกรณ์……	29
วิธีดำเนินการ…….....	30
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง…….....	35
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ…….....	68
เอกสารอ้างอิง……...	70
ภาคผนวก…….....	78
ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไก่……...	79
ข การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมัน……	83
ค การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของน้ำมัน……	89
ง การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของเนื้อไก่……	91
ง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ……	92
ประวัติผู้เขียน……...	96

LIST OF TABLES

Table		Page
1	Fatty acid found in foods……...	5
2	Fatty acid composition of some fats and oils…….……	7
3	Characteristics of palm oil…….…	11
4	Characteristics of soybean oil ……..…….	11
5	Characteristics of rice bran oil ……..	12
6	Fatty acid composition of palm olein oil, soybean oil and rice bran oil……	13
7	Methods to measure oxidation in oils and fat-containing foods……	20
8	Nutrient of 100 g edible portion fried chicken……..…….	26
9	Chemical and physical properties of palm olein oil, soybean oil and rice bran oil…...	36
10	The changes of oil color during heating the oil at 190 ± 2°C ……..……..	41
11	The changes in peroxide value, free fatty acid and *p*-anisidine value during deep-fat frying……..	44
12	Color of oil after frying at various temperatures and times……...…	49
13	Viscosity of oil after frying at various temperatures and times ……	49
14	Fat content of chicken drumsticks after frying at various temperatures and times …..	51
15	Color of chicken drumsticks after frying at various temperatures and times……	52
16	Peroxide value, free fatty acid and *p*-anisidine value of frying oil after frying at various ratio of oil to chicken drumsticks……..	54
17	Color and viscosity of oil after frying at various ratio of oil to chicken drumsticks….	54
18	The changes of fried chicken color during frying with various oil to chicken ratio at 180 ºC for 18 min……..	55
19	The changes of fat content in fried chicken color during frying with various oil to chicken ratio at 180 ºC for 18 min…….	56
20	The changes in peroxide value during repeated frying oil……	58
21	The changes in free fatty acid during repeated frying oil……..……	59

LIST OF TABLES (cont.)

Table		Page
22	The changes in *p*-anisidine value during repeated frying oil……	61
23	The changes in *L** value during repeated frying oil……..……	62
24	The changes in *a** value during repeated frying oil……..……	63
25	The changes in *b** value during repeated frying oil……..……	64
26	The changes in ΔE value during repeated frying oil……...……..……	65
27	The changes in viscosity value during repeated frying oil……	66
28	The changes in total polar component during repeated frying oil…….	67

LIST OF FIGURES

Figure		Page
1	Esterification reaction in fats and oils……...……	9
2	Physical and chemical changes of oil during deep-fat frying……...	14
3	Formation of Volatile and Nonvolatile decomposition products in frying oil……..	15
4	Hydrolysis reactions in frying oils……..…….	16
5	Effect of time deep frying on % FFA of olive, corn and soybean oils ……	17
6	Polymerization reaction in frying oils……...	19
7	Effect of time deep frying on PV of olive, corn and soybean oils ……...	21
8	Effect of time deep frying on *p*-AV of olive, corn and soybean oils …….……..	21
9	*cis* and *trans* isomers……	23
10	The changes in peroxide value during heating the oil at 190 ± 2°C……..	37
11	The changes in free fatty acid during heating the oil at 190 ± 2°C …….…….	37
12	The changes in *p*-anisidine value during heating the oil at 190 ± 2°C …….	39
13	The changes in ΔE during heating the oil at 190 ± 2°C ……...…….	42
14	The changes in viscosity value during heating the oil at 190 ± 2°C …….	42
15	Peroxide value in frying oil after frying at various temperature and time……	45
16	Free fatty acid in frying oil after frying at various temperature and time…….	46
17	*p*-Anisidine in frying oil after frying at various temperature and time…….	47

LIST OF APPENDIX TABLES

Table		Page
B1	Appropriate sample weight for peroxide value analysis……	84
E1	Univariate analysis of variance of peroxide value, free fatty acid and *p*-anisidine value in oil after frying various temperatures and times……...	92
E2	Univariate analysis of variance of color in oil after frying various temperatures and times……..	93
E3	Univariate analysis of variance of viscosity value in oil and fat content in meat and skin chicken drumsticks after frying various temperatures and times……...	94
E4	Univariate analysis of variance of chicken drumstick color after frying various temperatures and times……..	95

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

การทอดเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมมากในการเตรียมอาหารซึ่งเป็นการปรุงอาหารในน้ำมันที่ร้อน การทอดมีผลทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) การถ่ายเทมวล (mass transfer) รวมถึงการเกิดอันตรกิริยาที่ซับซ้อนระหว่างอาหารและน้ำมันทอด การทอดมีอิทธิพลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ได้แก่ กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส อายุการเก็บรักษาและคุณค่าทางโภชนาการ (Sanibal and Mancini-Filho, 2004; Dunford, 2004) การทอดอาหารมีทั้งการทอดแบบน้ำมันตื้น (shallow frying) ซึ่งเป็นการทอดโดยใช้น้ำมันน้อย เหมาะสำหรับการทอดในครัวเรือนหรือการทอดอาหารบางชนิดที่ไม่ต้องการความสม่ำเสมอของสี เช่น โรตี เนื้อเบอร์เกอร์ และการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep-fat frying) เป็นการทอดอาหารที่นิยมใช้ในร้านจำหน่ายอาหารทอดและอุตสาหกรรม โดยการทอดจะใช้น้ำมันที่มีปริมาณมากเพียงพอที่จะท่วมอาหารทั้งชิ้น การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นทั้งการพาความร้อนในน้ำมันและการนำความร้อนในชิ้นอาหาร ทำให้อาหารได้รับความร้อนจากน้ำมันในทุกๆด้าน ดังนั้นสีและลักษณะปรากฏของชิ้นอาหารจะมีความสม่ำเสมอ การทอดแบบนี้จึงเหมาะกับการทอดอาหารทุกรูปทรง (Fellows, 2000) คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทอดขึ้นกับชนิดของน้ำมันที่ใช้ ซึ่งน้ำมันจะต้องมีคุณภาพที่เหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันที่ใช้ทอดเป็นตัวกลางที่ถ่ายเทความร้อนให้อาหาร และทำให้อาหารสุกแล้วยังช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดกับภาชนะที่ทอด ช่วยในเรื่องสีและเพิ่มรสชาติให้กับอาหาร ระหว่างการทอดไม่เพียงแต่เกิดการระเหยของน้ำในอาหารแต่ยังเกิดสารประกอบอื่นๆจากอาหารไปยังน้ำมัน ซึ่งเมื่อให้ความร้อนสูงจึงทำให้น้ำมันทอดเกิดการเสื่อมสภาพได้ (Balavi Natural Health center, 2005; Mellema, 2003) โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีพื้นฐานในน้ำมันทอดจะทำให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้และไม่ระเหย โดยที่สารประกอบที่ระเหยได้ส่วนใหญ่จะระเหยไปในบรรยากาศพร้อมไอน้ำและยังคงมีสารประกอบที่ระเหยได้บางส่วนในน้ำมัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่อไปหรือถูกดูดซับในอาหารทอด ส่วนสารประกอบที่ไม่ระเหยในน้ำมันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีในน้ำมันและอาหารทอด โดยที่สารประกอบที่ไม่ระเหยจะมีผลต่อความคงตัวของกลิ่นรสและคุณภาพ รวมถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารทอดระหว่างการเก็บรักษา การทอดแบบน้ำมัน

ท่วมจะทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันลดลง ในขณะที่น้ำมันจะมีฟอง สี ความหนืด ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ปริมาณของกรดไขมันอิสระ สารประกอบมีขั้วและสารประกอบพอลิเมอริกเพิ่มขึ้น (Choe and Min, 2007) ดังนั้นการทอดซ้ำสามารถทำให้เกิดส่วนประกอบที่ไม่เพียงแต่มีผลกระทบต่อคุณภาพของอาหารแต่ยังส่งเสริมให้เกิดสารประกอบที่ส่งผลเสียต่ออาหารและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ (Sanibal and Mancini-Filho, 2004)

อาหารทอดเป็นอาหารที่นิยมรับประทานของผู้บริโภคอย่างกว้างขวาง เนื่องจากความพึงพอใจในรสชาติ กลิ่นรส ความหอม เนื้อสัมผัสที่มีความกรอบและฉ่ำด้วยน้ำภายในชิ้นอาหาร (Saguy and Dana, 2003) ในอำเภอหาดใหญ่ผลิตภัณฑ์ไก่ทอดเป็นที่นิยมบริโภคมากสำหรับคนท้องถิ่นและผู้เยี่ยมเยือน อย่างไรก็ตาม การทอดไก่เพื่อการจำหน่าย ผู้ค้ามักจะใช้น้ำมันทอดเดิมในการทอดไก่ ทำให้คุณภาพของน้ำมันเกิดการเสื่อมสภาพมากยิ่งขึ้นตามจำนวนครั้งของการใช้งาน ซึ่งส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ รวมทั้งอาจส่งผลถึงสุขภาพของผู้บริโภคในระยะยาว ทำให้เกิดความห่วงใยในสุขภาพของผู้บริโภค จึงนำมาสู่การศึกษาปัจจัยบางประการที่มีต่อคุณภาพของน้ำมันทอดไก่

การตรวจเอกสาร

1. การทอดแบบน้ำมันท่วม (deep-fat frying)

การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นวิธีพื้นฐานของการเตรียมอาหารทำให้เกิดคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสที่ต้องการ ได้แก่ ด้านกลิ่นรส สีน้ำตาลทองและลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบของอาหารทอด (Warner, 1998) โดย Mellema (2003) ได้อธิบายถึงกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วมว่าเมื่อใส่อาหารในน้ำมันที่ร้อน อุณหภูมิที่ผิวของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำที่ผิวของอาหารเริ่มเดือดโดยทันที น้ำมันบริเวณรอบๆผิวอาหารจะลดอุณหภูมิลง โดยใช้ความเร็วพอๆกันกับการพาความร้อน เมื่อเริ่มเดือดการพาความร้อนจะเพิ่มขึ้นมาก โดยเกิดการระเหยของไอน้ำออกจากอาหาร จึงทำให้ผิวอาหารแห้งและทำให้อาหารทอดเกิดการหดตัว เกิดรูพรุนและทำให้เกิดความหยาบที่ผิวอาหาร โดยเฉพาะการระเหยอย่างรุนแรงสามารถทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่และอุณหภูมิที่ผิวอาหารสามารถเพิ่มได้ถึงจุดเดือดของน้ำ (100 ºC) ระหว่างการทอดไม่เพียงแต่จะเกิดการระเหยของไอน้ำแต่ยังเกิดสารประกอบอื่นๆจากอาหารไปยังน้ำมันและเมื่อให้อุณหภูมิสูงๆเป็นเวลานานจะทำให้น้ำมันทอดเกิดการเสื่อมเสียได้

1.1 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทอดอาหาร (Singh, 1995; Blumenthal, 1991)

กระบวนการทอดอาหารทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารในลักษณะต่างๆ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วง ดังนี้

1.1.1 ช่วงแรกของการให้ความร้อน (initial heating) เป็นช่วงที่ทำให้อุณหภูมิบริเวณผิวของอาหารเพิ่มขึ้นจนมีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดของน้ำ การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบธรรมชาติที่ยังไม่มีการระเหยของน้ำ

1.1.2 ช่วงการเดือดของน้ำที่บริเวณผิวอาหาร (surface boiling) น้ำที่ผิวของอาหารจะระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าเริ่มแห้งกลายเป็นเปลือกแข็ง การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบบังคับ

1.1.3 ช่วงอัตราการระเหยลดลง (falling rate) เป็นช่วงที่อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำจากภายในชิ้นอาหาร และอัตราการระเหยน้ำเริ่มช้าลง อาหารเริ่มสุกและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพ เช่น เกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง

1.1.4 จุดยุติการเกิดฟอง (bubble end-point) จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารถูกทอดเป็นเวลานานน้ำจะระเหยได้ช้าทำให้ปริมาณฟองของไอน้ำที่ออกจากผิวอาหารลดลง

2. ไขมัน (lipids)

ไขมันโดยทั่วไปแล้วจะไม่ละลายในน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำลายอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้ว (apolar) เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซิน เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์และชนิดที่มีขั้วเล็กน้อย (slightly polar) เช่น แอลกอฮอล์ อะซิโตน ไขมันให้พลังงานมากกว่าโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตถึง 2 เท่า คือให้พลังงานประมาณ 9 แคลอรีต่อกรัมในส่วนประกอบของอาหาร ไขมันที่เป็นแหล่งสะสมพลังงานของร่างกายนั้นจะเก็บสะสมไว้ในรูปเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) รวมอยู่กับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์ ด้วยเหตุนี้จึงพบไขมันได้ในเซลล์ทุกชนิดทั้งในพืชและสัตว์ (Fuller, 1978; Nawar, 1996)

น้ำมันและไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารนั้นมีความแตกต่างของจุดหลอมเหลวโดยธรรมชาติ โดยน้ำมันจะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ส่วนมากแล้วน้ำมันจะมาจากทั้งพืชและสัตว์น้ำ ส่วนไขมันจะเป็นของแข็งหรือกึ่งของแข็งที่อุณหภูมิปกติและพบในเนื้อเยื่อของสัตว์ คุณลักษณะด้านกายภาพของไขมันและน้ำมันนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่าไขมันจะประกอบไปด้วยกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acid) ในขณะที่น้ำมันซึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนมาก และจะมีกรด

ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ มักจะเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) (Fuller, 1978)

ไขมันที่อยู่ในอาหารที่คนเราบริโภคจะอยู่ในรูปแบบของไขมันที่มองเห็นได้ด้วยตาสามารถแยกออกมาจากพืชและสัตว์ได้ เช่น เนย น้ำมันหมูและเนยขาว หรือจากส่วนประกอบของอาหาร เช่น นม ชีสและเนื้อสัตว์ แหล่งใหญ่ของน้ำมันพืชที่มาจากเมล็ด ได้แก่ ถั่วเหลือง ฝ้าย และถั่วลิสง จากผล ได้แก่ ปาล์ม มะพร้าวและมะกอก (Nawar, 1996)

ไขมันในอาหารยังมีความสำคัญในด้านโภชนาการ ไขมันประกอบไปด้วยแคลอรีสารอาหารที่พลังงานและกรดไขมันที่จำเป็นแก่ร่างกาย ไขมันยังมีหน้าที่ช่วยละลายวิตามินบางชนิด ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความน่ารับประทานให้กับอาหาร (Nawar, 1996)

2.1 กรดไขมัน (fatty acid)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์สายตรงที่มีหมู่คาร์บอกซิล 1 หมู่ (straight chain aliphatic monocarboxylic acid) ในธรรมชาติจะพบกรดไขมันเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในไขมัน น้ำมันและฟอสโฟกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ ที่พบในรูปของกรดไขมันอิสระมีน้อยมาก การสังเคราะห์กรดไขมันในร่างกายจะมีสารเริ่มต้นเป็นหมู่อะซิติล (acetyl group) ซึ่งมีคาร์บอนในโมเลกุล 2 อะตอมมาต่อกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น ทำให้มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเป็นเลขคู่เสมอ พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมัน มีทั้งที่เป็นพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ กรดไขมันที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมดเรียกว่ากรดไขมันชนิดอิ่มตัว (saturated fatty acids) ส่วนกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 พันธะหรือมากกว่าเรียกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) กรดไขมันที่พบในอาหารจะมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 4-26 อะตอม กรดไขมันที่พบมากในร่างกายมีจำนวนคาร์บอน 16-20 อะตอม (Gaman and Sherrington,1990; Dugan, 1976) ชนิดของกรดไขมันที่พบในอาหารและพบอยู่ในน้ำมันและไขมันบางชนิดดังแสดงใน Table 1 และ Table 2 ตามลำดับ (Fuller, 1978)

Table 1. Fatty acid found in foods

No. Carbon Atoms	Systematic Name	Common Name	Melting Point (°C)	Common Sources
	Saturated Fatty Acids			
2	Ethanoic	Acetic	16.7	Vinegar
4	Butanoic	Butyric	-5.3	Milk fats
6	Haxanoic	Caproic	-3.2	Milk fats
8	Octanoic	Caprylic	16.5	Milk fats and palm seed oil
10	Decanoic	Capric	31.6	Sheep and goat's milk
12	Dodecanoic	Lauric	44.8	Coconut oil
14	Tetradecanoic	Myristic[1]	54.4	Palm and coconut oil
16	Hexadecanoic	Palmitic[1]	62.9	Animal fats
18	Octadecanoice	Stearic[1]	70.1	Animal fats
20	Eicosanoic	Arachidic	76.1	Some animal fats
22	Docosanoic	Behenic	80.0	Seed oils
24	Tatracosanoic	Lignoceric	84.2	Minor amounts in some seed oils
26	Hexacosanoic	Cerotic	87.8	Plant waxes
28	Octacosanoic	Montanic	90.9	Beeswax
30	Triacontanoic	Melissic	93.6	Beeswax

[1] Major components of fats and oils in food products.

Source : Fuller (1978)

Table 1. (continue)

No. Carbon Atoms	Systematic Name	Common Name	Melting Point (°C)	Common Sources
	Monoenoic Fatty Acids			
16	9-Hexadecenoic	Palmitoleic	-0.5 to 0.5	Many fats and marine oils
18	6-Octadecenoic	Petroselenic	30 to 33	Parsley seed oil
18	9-Octadecenoic	Oleic[1]	16.3	Almost all oils and fats
22	13-Docosenoic	Erucic	33.5	Rapeseed oil
	Polyenoic Fatty Acids			
18	9,12-Octadecadienoic	Linoleic[1]	-5	Many vegetable oils
18	9,12,15-Octadecatrienoic	Linolenic[1]	-11	Linseed oil
20	5,8,11,14-Eicosatetraenoic	Arachidonic	-49.5	Animal fats

[1] Major components of fats and oils in food products.

Source : Fuller (1978)

Table 2. Fatty acid composition of some fats and oils[1]

Source	Fatty Acids (%)						
	12 : 0	14 : 0	16 : 0	18 : 0	18 : 1	18 : 2	Others
Soybean oil		0.1	10.5	3.2	22.3	54.5	9.4 [2]
Cottonseed oil		1.0	25.0	2.8	17.1	52.7	1.4
Corn oil			11.5	2.2	26.6	58.7	1.0
Peanut oil			11.0	2.3	51.0	30.9	4.8
Safflower oil		0.1	6.7	2.7	12.9	77.5	0.1
Safflower oil (high oleic)			5.4	1.7	80.7	12.2	
Sunflower oil [3]			7.0	3.3	14.3	75.4	
Olive oil			6.9	2.3	84.4	4.6	1.8
Rapeseed oil		0.1	4.0	1.3	17.4	12.7	64.5 [4]
Coconut oil		16.6	8.0	3.8	5.0	2.5	15.9
Palm kernel oil	48.2	18.4	8.7	1.9	14.6	1.2	4.3
Palm oil	50.9	1.2	46.8	3.8	37.6	10.0	0.5
Lard	0.1	1.0	27.0	14.0	43.0	10.0	5.0
Tallow		3.0	30.0	19.0	44.0		4.0

[1] Composition in somewhat variable. These are average values.

[2] Soybean oil contains approximately 8% linolenic (18 : 3) acid.

[3] Grown in colder climates. In the southern United States, sunflower oil may contain more than 50% oleic acid and as little as 35% linoleic acid.

[4] Ordinary rapeseed oil contains 45-46% erucic (22 : 1) acid. Other varieties now in production have higher oleic acid contents and little or no erucic acid.

Source : Fuller (1978)

2.1.1 กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Gaman and Sherrington,1990; Dugan, 1976)

กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีสูตรทั่วไปเป็น $C_nH_{2n}O_2$ เป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวและไม่สามารถรับไฮโดรเจนได้อีก กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุด ได้แก่ กรดแอซิติก (acetic acid, คาร์บอน 2 อะตอม) และกรดบิวทีริก (butyric acid, คาร์บอน 4 อะตอม) เป็นกรดไขมันที่ละลายได้ดีในน้ำและระเหยได้ง่าย กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 6-10 อะตอม ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอมขึ้นไปไม่ละลายน้ำ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลต่ำกว่า 10 อะตอม จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 อะตอมขึ้นไป จะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง

2.1.2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว(Gaman and Sherrington,1990; Dugan, 1976)

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลบางตำแหน่งเป็นพันธะคู่ ทำให้สามารถเติมไฮโดรเจนเข้าไปในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวได้อีกแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตามจำนวนพันธะคู่ดังนี้

2.1.2.1 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเพียง 1 พันธะ (monounsaturated acid) มีสูตรทั่วๆไปเป็น $C_nH_{2n-1}COOH$ เช่น กรดโอเลอิก (oleic acid, CH_3-$(CH_2)_7$-CH=CH-$(CH_2)_7$-COOH) กรดปาล์มิโตเลอิก (palmitoleic acid, CH_3-$(CH_2)_5$-CH=CH-$(CH_2)_7$-COOH) กรดไขมันทั้งสองชนิดนี้พบได้ในไขมันและน้ำมันทั่วไป

2.1.2.2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลมากกว่า 1 พันธะ (polyunsaturated acid) กรดไขมันกลุ่มนี้ส่วนใหญ่มีคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 18-22 อะตอมและมีพันธะคู่ 2-6 อัน

2.2 ไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerols)

ไตรเอซิลกลีเซอรอลหรือไตรกลีเซอไรด์หรือไขมัน (neutral fat) เป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน 3 โมเลกุล ปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอริฟิเคชันของกลีเซอรอลและกรดไขมันได้ปีนไตรเอซิลกลีเซอรอลดังแสดงใน Figure 1. (Gaman and Sherrington,1990)

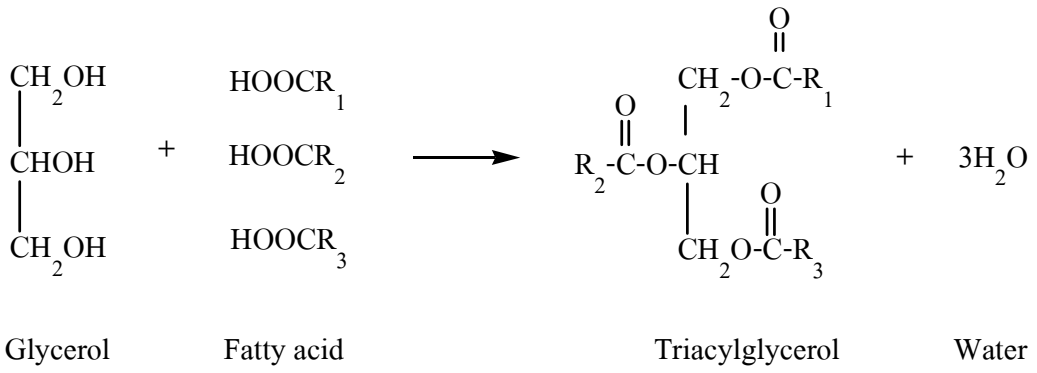

Figure 1. Esterification reaction in fats and oils

Source : Gaman และ Sherrington (1990)

เนื่องจากโมเลกุลของกลีเซอรอลมีตำแหน่งที่กรดไขมันจะเข้าไปเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันได้ถึง 3 ตำแหน่ง ทำให้ได้ไตรเอซิลกลีเซอรอลหลายชนิด ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีโมเลกุลประกอบไปด้วยกรดไขมันชนิดเดียวกันทั้ง 3 โมเลกุลเรียกว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิดเดียว (simple triacylglycerols) ถ้าประกอบด้วยกรดไขมันต่างชนิดกันเรียกว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิดผสม (mixed triacylglycerols) ในธรรมชาติไขมันที่ประกอบไปด้วยกรดไขมันชนิดเดียวกันทั้งหมดพบน้อยมาก ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันต่างชนิดกัน ทำให้ได้ไตรเอซิลกลีเซอรอลต่างชนิดกันด้วย ซึ่งไขมันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันและผันแปรไปตามชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุล (Gaman and Sherrington,1990)

3. น้ำมันทอด

น้ำมันทอดเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนให้กับอาหาร นอกจากจะทำให้อาหารสุกแล้วยังช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดกับภาชนะที่ใช้ทอดและช่วยในเรื่องสีและเพิ่มรสชาติให้กับอาหารด้วย การเลือกน้ำมันที่ใช้ทอดมักจะพิจารณาจากการยอมรับในผลิตภัณฑ์อาหารที่ทอดจากผู้บริโภค (Balavi Natural Health center, 2005) แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันทอดที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้ (Lawson, 1985)

- ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดีในอาหาร
- มีอายุการใช้งานในการทอดได้นานเสื่อมสลายช้า
- เมื่อใช้ในการทอดต้องให้ลักษณะสีน้ำตาลทองแก่อาหารทอด และไม่ทำให้เกิดการเยิ้มมันบริเวณผิวหน้าของชิ้นอาหาร
- ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่ดี แน่น กรอบ

- ทนต่อการเกิดการหืน
- ไม่ก่อให้เกิดคราบหนืดที่จะเกาะตัวบริเวณผิวเครื่องทอด
- คงคุณภาพความเป็นน้ำมันทอดได้นาน

น้ำมันที่ผลิตทั่วโลกส่วนใหญ่ ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันคาโนลา น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันมะกอก น้ำมันรำข้าว การเลือกใช้น้ำมันในการทอดนั้นจะเป็นไปตามความนิยมของผู้บริโภคที่แตกต่างกัน

จากการสำรวจพฤติกรรมการใช้น้ำมันทอดของร้านไก่ทอดตามแผงลอยริมถนนและบริเวณชุมชนในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่าชนิดของน้ำมันที่ร้านส่วนใหญ่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำมันปาล์มและน้ำมันชนิดอื่น ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าวและน้ำมันหมู (เบ็ญจ-รัก วายุภาพ และคณะ, 2551)

3.1 น้ำมันปาล์ม (palm oil)

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacp.) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว อยู่ในวงศ์ Palmae และวงศ์ย่อย Cocoinae เป็นหนึ่งในแหล่งผลิตน้ำมันบริโภคที่มีความสำคัญ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเมืองร้อนเติบโตในแถบทวีปแอฟริกา เอเชีย อเมริกากลางและอเมริกาใต้ น้ำมันที่ได้จากผลปาล์มมี 2 ชนิด คือ น้ำมันจากเปลือก (mesocarp) และจากเมล็ดใน (kernel) ของผลปาล์ม โดยปริมาณที่ได้จากเปลือกและจากเมล็ดปาล์มคิดเป็น 20 และ 4% ตามลำดับของน้ำหนักทลาย โดยน้ำมันปาล์มนั้นจัดได้ว่าเป็นน้ำมันที่ใช้บริโภคมากที่สุดชนิดหนึ่งในโลก ส่วนมากน้ำมันปาล์มจะใช้ในอุตสาหกรรมการทำเนยขาว มาการีนและน้ำมันทอด ในส่วนที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์อาหารจะใช้ในอุตสาหกรรมสบู่และเทียน เป็นต้น (Salunkhe *et al*., 1992)

น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้องจะมีลักษณะแยกเป็นสองส่วนคือน้ำมันส่วนใสหรือโอเลอิน (Olein) ซึ่งมีอยู่ประมาณ 65-70% และน้ำมันส่วนข้นหรือสเตียริน (Stearin) ซึ่งมีประมาณ 30-35% น้ำมันปาล์มที่ใช้ปรุงอาหารจะผ่านกระบวนการแยกส่วนเอาน้ำมันส่วนใสมาใช้บริโภค น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่ดีสำหรับการทอดแบบน้ำมันท่วม เนื่องจากมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูง (50%) กรดไขมันชนิดอิ่มตัวในน้ำมันปาล์มส่วนมากคือกรดปาลมิติก (88%) มีแอนติออกซิ-แดนท์ตามธรรมชาติและมีปริมาณวิตามินอีสูง (โทโคฟีรอลและโทโคทรินอล) อีกทั้งให้กลิ่นรสที่ดี (Mackay, 2000) สมบัติตามมาตรฐานของน้ำมันปาล์มตามมอก.288 (2535) ดังแสดงใน Table 3.

Table 3. Characteristics of palm oil

Characteristic	Content
Specific gravity (40/25 °C)	0.900-0.907
Iodine value (Wijs)	45-60
Sponification value	190-209
Unsponifiable matter (%)	15-20
Refractive index (40 °C)	1.45-1.46

Source : มอก.288 (2535)

3.2 น้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil)

น้ำมันถั่วเหลืองสกัดได้มาจากเมล็ดถั่วเหลือง (*Glycine max* (L.) Merr) อยู่ในวงศ์ Leguminosae โดยเจริญเติบโตได้หลายเมืองทั่วโลกและมีต้นกำเนิดมาจากเอเชียตะวันออกกลาง (Salunkhe *et al*., 1982; Wolf and Cowan, 1971) น้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งในปริมาณมาก (polyunsaturated fatty acid) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันลิโนเลอิคและลิโนเลนิค (linoleic and linolenic fatty acid) (Smith and Circle, 1972) น้ำมันถั่วเหลืองยังมีปริมาณโทโคฟีรอล ประมาณ 1300 ppm ในน้ำมันที่ยังไม่กลั่น (crude oil) และมี omega-6 และ omega-3 ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (O'Brien, 2009) สมบัติตามมาตรฐานของน้ำมันถั่วเหลืองตามมอก.176 (2533) ดังแสดงใน Table 4.

Table 4. Characteristics of soybean oil

Characteristic	Content
Specific gravity (25 °C)	0.917-0.921
Iodine value (Wijs)	120-141
Sponification value	189-195
Unsponifiable matter (%)	< 1.5
Refractive index (25 °C)	1.470-1.476

Source : มอก.176 (2533)

3.3 น้ำมันรำข้าว (rice bran oil)

ข้าวที่เป็นวัตถุดิบเมื่อผ่านกระบวนการสีข้าวแยกส่วนที่เป็นรำข้าวและเมล็ดข้าวแล้ว พบว่ามีปริมาณน้ำมัน 17-20% ของปริมาณข้าวที่ผ่านการสี น้ำมันรำข้าวมีส่วนประกอบของกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ ฟอสฟอลิพิด ไกลโคลิพิด สเตอรอล โทโคฟีรอล แวกซ์ เป็นต้น องค์ประกอบหลักของกรดไขมันของน้ำมันรำข้าวประกอบด้วย กรดปาลมิติก กรดโอเลอิค กรดลิโนเลอิคและกรดลิโนเลนิค (Orthoefer, 1996)

น้ำมันรำข้าวที่ยังไม่ผ่านกระบวนการกลั่นจะมีแกมมา-โอไรซานอลประมาณ 15,000 ppm (Rogers *et al*., 1993) แกมมา-โอไรซานอลจะช่วยลดระดับคลอเลสเทอรอลในเลือด ลดการสังเคราะห์คลอเลสเทอรอลในตับและลดการดูดซึมคลอเลสเทอรอล เป็นต้น (Orthoefer, 1996) อีกทั้งยังมีวิตามินอีในรูปโทโคเฟอรอลและโทโคไตรอีนอลซึ่งทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Yamaoka *et al*., 1991)

น้ำมันรำข้าวใช้ทั้งเป็นน้ำมันบริโภคและใช้ในอุตสาหกรรม ในญี่ปุ่นน้ำมันรำข้าวใช้เป็นน้ำมันหลักสำหรับการทอดและน้ำมันรำข้าวยังมีความคงตัวต่อความร้อนมากกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินตามรายงานของ Yoon และคณะ (1987) สมบัติตามมาตรฐานของน้ำมันรำข้าวตาม มอก.44 (2516) ดังแสดงใน Table 5.

Table 5. Characteristics of rice bran oil

Characteristic	Content
Specific gravity (25/25 °C)	0.910-0.921
Iodine value (Wijs)	99-108
Sponification value	181-189
Unsponifiable matter (%)	3-5
Refractive index (25 °C)	1.470-1.473

Source : มอก.44 (2516)

โดยน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าวมีองค์ประกอบของกรดไขมันแสดงใน Table 6 จากตารางน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อยที่สุด (54.3% ของกรดไขมันทั้งหมด) น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวใกล้เคียงกันคือ 84.6% และ 81.9% ของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ และมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 58.4 และ 133 สำหรับน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองตามลำดับ (Basiron, 1996) และน้ำมันรำข้าวมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 104 (Othoefer,

1996) ค่าซาพอนิฟิเคชันเท่ากับ 198 และ 192 สำหรับน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองตามลำดับ (Basiron, 1996) และน้ำมันรำข้าวมีค่าซาพอนิฟิเคชันเท่ากับ 188 ค่าซาพอนิฟิเคชันเป็นค่าที่บ่งบอกชนิดของกลีเซอไรด์ในตัวอย่างน้ำมันและไขมัน โดยกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันสายสั้นเป็นองค์ประกอบจะมีค่าซาพอนิฟิเคชันมากกว่ากรดไขมันสายยาวเป็นองค์ประกอบ (Othoefer, 1996)

Table 6. Fatty acid composition of palm olein oil, soybean oil and rice bran oil (%)

Fatty acid	Palm olein oil[1]	Soybean oil[2]	Rice bran oil[3]
C12:0	0.2	-	-
C14:0	1.0	0.1	0.3
C16:0	39.8	10.4	15.0
C18:0	4.4	4.0	1.7
C20:0	0.4	-	0.6
Total Saturated fatty acid	45.8	14.5	17.6
C16:1	0.2	0.2	-
C18:1	42.5	23.8	43.0
C20:1	-	0.2	-
C18:2	11.2	53.3	37.4
C18:3	0.4	7.1	1.5
Total Unsaturated fatty acid	54.3	84.6	81.9
monounsaturated fatty acid	42.7	24.2	43.0
polyunsaturated fatty acid	11.6	60.4	38.9

Source : [1]Adapted from Basiron (1996)

[2]Adapted from Michael Eskin *et al*. (1996)

[3]Adapted from Othoefer (1996)

4. การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันระหว่างทอด

การทอดแบบน้ำมันท่วมก่อให้เกิดสารประกอบที่มีผลให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับและไม่ยอมรับ โดยการทอดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส สีและลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารทอด รวมถึงคุณภาพด้านโภชนาการของอาหาร (Choe and Min, 2007)

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีในน้ำมันนั้นเกิดขึ้นระหว่างการให้ความร้อนและการทอด โดยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพคือน้ำมันมีความหนืด สีและฟองเพิ่มมากขึ้น ส่วนการเปลี่ยนทางเคมีน้ำมันจะมีกรดไขมันอิสระ สารประกอบคาร์บอนิลและผลิตภัณฑ์ที่น้ำหนักโมเลกุลสูงเพิ่มขึ้น อีกทั้งลดความไม่อิ่มตัวของไขมัน คุณภาพของกลิ่นรสและระดับโภชนาการ (กรดไขมันที่จำเป็น) ลงด้วย (Warner, 1998) โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ออกซิเดชันและพอลิเมอไรเซชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีพื้นฐานในน้ำมันทอดจะทำให้เกิดสารประกอบที่ระเหยได้และระเหยไม่ได้ โดยที่สารประกอบที่ระเหยได้ส่วนใหญ่จะระเหยไปในบรรยากาศพร้อมไอน้ำและยังคงมีสารประกอบที่ระเหยได้บางส่วนในน้ำมัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่อไปหรือถูกดูดซับในอาหารทอด ส่วนสารประกอบที่ระเหยไม่ได้ในน้ำมันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีในน้ำมันและอาหารทอด โดยที่สารประกอบที่ระเหยไม่ได้จะมีผลต่อความคงตัวของกลิ่นรสและคุณภาพ รวมถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารทอดระหว่างการเก็บรักษา การทอดแบบน้ำมันท่วมมีผลลดกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันและเพิ่มฟอง สี ความหนืด ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ปริมาณของกรดไขมันอิสระ สารมีขั้วและสารประกอบพอลิเมอริกดังแสดงใน Figure 2. (Choe and Min, 2007)

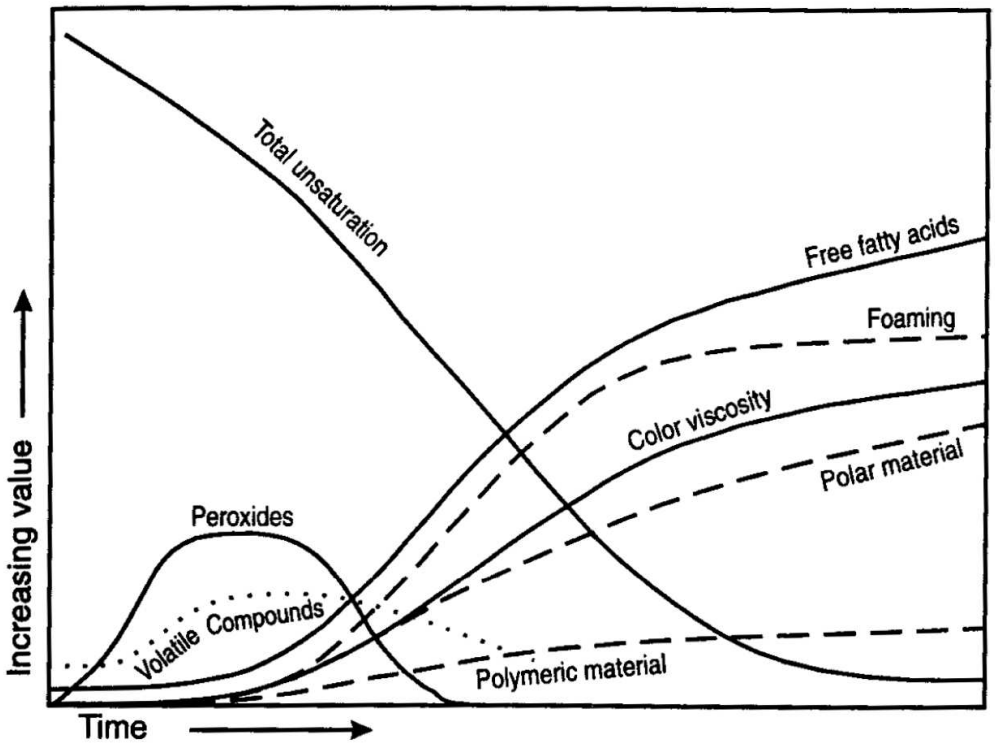

Figure 2. Physical and chemical changes of oil during deep-fat frying

Source : Choe และ Min (2007)

สารประกอบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงในน้ำมันทอด แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ (volatile decomposition products) สามารถระเหยออกจากน้ำมันที่ใช้ทอดได้ สารประกอบเหล่านี้มีความสำคัญเนื่องจากขณะทอดอาหารผู้ประกอบการจะหายใจเอาสารเหล่านี้เข้าสู่ร่างกาย ส่วนที่เหลือในน้ำมันจะปนอยู่ในอาหารที่บริโภคซึ่งมีอิทธิพลต่อสุขภาพของมนุษย์และสารประกอบสลายตัวที่ไม่ระเหย (nonvolatile decomposition products) สารที่ไม่ระเหยเหล่านี้ยังคงอยู่ในน้ำมันทอดและจะเสื่อมสลายต่อไปทุกครั้งที่ใช้น้ำมันทอดอาหาร อีกทั้งอาหารจะดูดซึมสารเหล่านี้ไว้ ถ้าใช้น้ำมันทอดหลายๆครั้งจะทำให้เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงสะสมอยู่ในน้ำมันและไม่ระเหย ทำให้ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเปลี่ยนไป คือ ความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดสีและฟอง การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ ค่าคาร์บอนิลปริมาณไฮดรอกซิล และค่าสปอนนิฟิเคชันเพิ่มขึ้นปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลง (White, 1991) การเกิดสารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้และไม่ระเหยในน้ำมันทอดดังแสดงใน Figure 3.

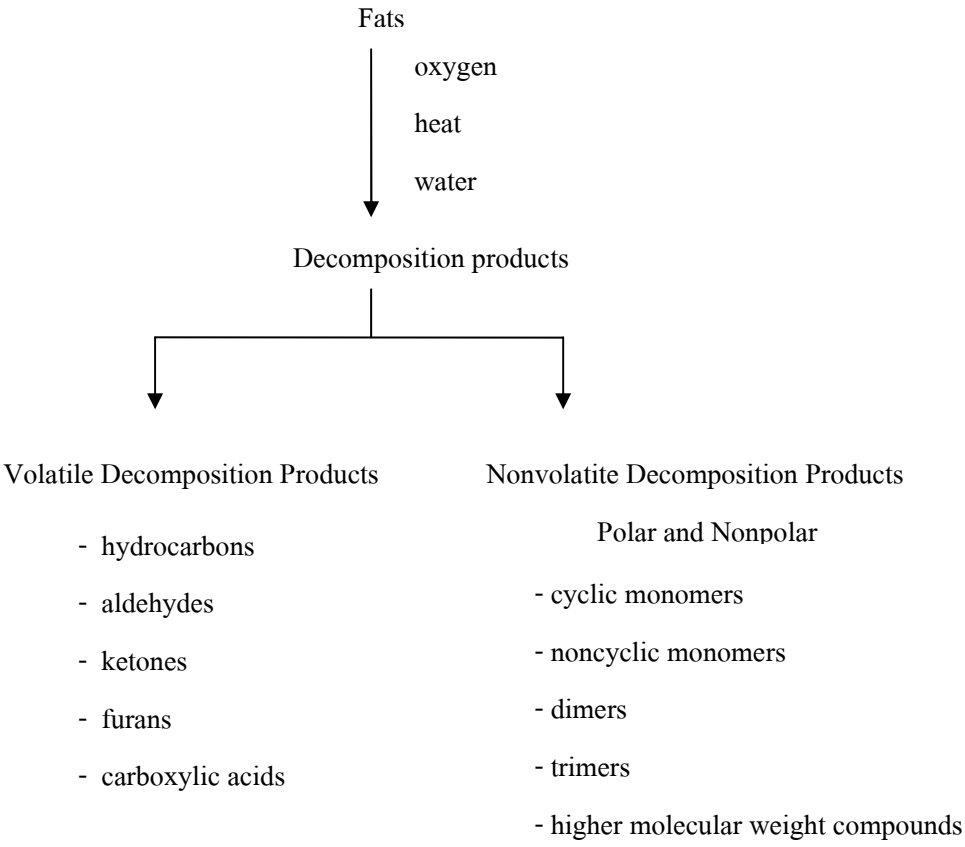

Figure 3. Formation of volatile and nonvolatile decomposition products in frying oil

Source : White (1991)

5. ปฏิกิริยาเคมีของน้ำมันระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม

ระหว่างการทอดมีหลายปฏิกิริยาที่เป็นสาเหตุทำให้ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีเปลี่ยนแปลง ออกซิเจนในอากาศ ความชื้นของอาหารและอุณหภูมิที่สูง ทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสียจาก 3 ปฏิกิริยาหลักๆคือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่มีสาเหตุจากน้ำ ปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งมีสาเหตุมาจากออกซิเจน และปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Nawar, 1996) ในช่วงที่ทอดน้ำมันจะสัมผัสอุณหภูมิสูงซึ่งอยู่ในช่วง 160 ถึง 180 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในน้ำมันนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบและคุณลักษณะของน้ำมัน ซึ่งปฏิกิริยามีความซับซ้อนอย่างมากและทำให้เกิดการก่อตัวของผลิตภัณฑ์ที่สลายได้มากมาย (Paul and Mittal, 1997)

5.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis reaction)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของน้ำมันระหว่างทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นผลกระทบจากความชื้นจากอาหารเมื่อถูกทอดในน้ำมันที่ให้ความร้อน ความชื้นจะทำให้เกิดไอน้ำซึ่งจะระเหยไปกับฟองที่เกิดขึ้นเมื่อเริ่มทอดอาหาร โดยที่น้ำ ไอน้ำและออกซิเจนเป็นตัวตั้งต้นของปฏิกิริยาเคมีในน้ำมันทอดและอาหาร(Choe and Min, 2007) น้ำและไอน้ำจะไฮโดรไลซ์ไตรกลีเซอไรด์ได้เป็นโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์และท้ายที่สุดจะได้เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอลดังแสดงใน Figure 4. (Warner ,1998)

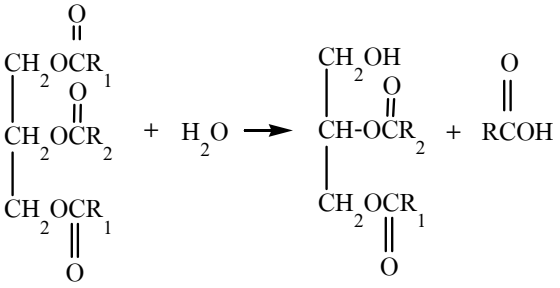

Figure 4. Hydrolysis reactions in frying oils

Source : Warner (1998)

จากงานวิจัยของ Che Man และคณะ (1999) รายงานว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่เพิ่มขึ้น เมื่อทอดแผ่นมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 180 ± 5 องศาเซลเซียส วันละ 5 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 วัน เนื่องมาจากน้ำในมันฝรั่ง ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในน้ำมัน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Naz และคณะ (2005) ซึ่งศึกษาการทอดมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ในน้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลืองเป็นเวลา 30 60 และ90 นาที หลังจากวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นดังแสดงใน Figure 5 โดยอธิบายว่าปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นนั้น เนื่องมาจากน้ำในมันฝรั่งจะไฮโดรไลซ์ไตรกลีเซอร์ไรด์ เกิดเป็นไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์และในที่สุดก็เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอล ซึ่งกลีเซอรอลสามารถระเหยได้เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 150 องศาเซลเซียส

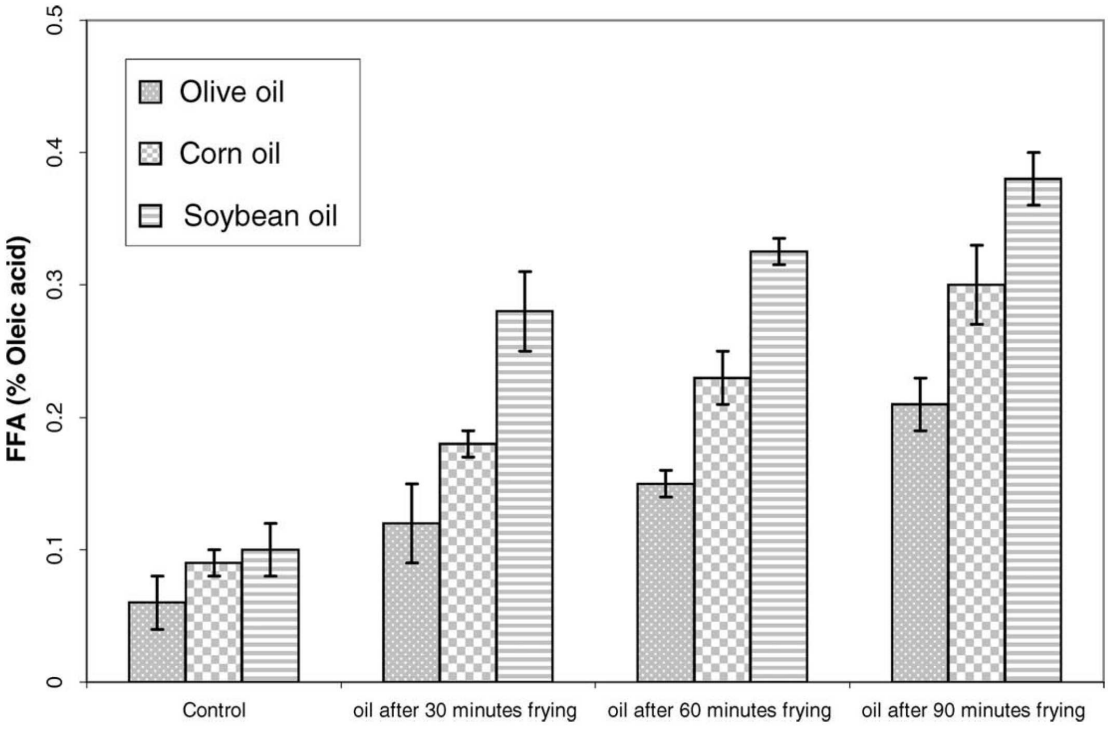

Figure 5. Effect of time deep frying on %FFA of olive, corn and soybean oils

Source: Naz และคณะ (2005)

5.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) (Dana and Saguy, 2001)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันส่วนใหญ่จะมีผลต่อกลิ่นรส กลิ่น สีและโภชนาการของน้ำมัน ปฏิกิริยานี้สามารถอธิบายได้ด้วย 3 กระบวนการย่อย ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะผลิตสารประกอบที่สลายได้หลากหลายแบ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ ทุติยภูมิและตติยภูมิ

5.2.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิ (Primary oxidation)

เกิดจากการทำปฏิกิริยาของออกซิเจนกับน้ำมันที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดพันธะระหว่างไฮโดรเพอร์ออกไซด์กับกรดไขมันไม่อิ่มตัวตรงตำแหน่งพันธะคู่ ซึ่งที่อุณหภูมิสูงเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น

5.2.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นทุติยภูมิ (Secondary oxidation)

เกิดจากการแตกตัวของไฮโดรเพอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่สลายตัวได้ในขั้นทุติยภูมิ แอลกอฮอล์ คาร์บอนิลและกรด ส่วนแอลดีไฮด์ที่ไม่อิ่มตัวสามารถเกิดออกซิเดชันโดยอัตโนมัติ (autoxidation) ได้เป็นไดแอลดีไฮด์ เช่น มาโลนไดแอลดีไฮด์ (malondialdehyde, MDA)

5.2.3. ปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นตติยภูมิ (Tertiary oxidation)

เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นทุติยภูมิ โดยกระบวนการนี้จะทำให้ความหนืดของน้ำมันเพิ่มมากขึ้น สีเข้มขึ้นและเกิดชั้นสีน้ำตาลที่ปรากฏบนผิวน้ำมัน

5.3 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization reaction) (Warner, 1998)

ในระหว่างทอดจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ เป็นผลทำให้เกิดการก่อตัวของสารประกอบน้ำหนักโมเลกุลสูงดังแสดงใน Figure 6 สารพอลิเมอร์สามารถก่อตัวจากเรดิคัลอิสระ (free radical) หรือไตรกลีเซอไรด์โดยผ่านปฏิกิริยา Diels-Alder ถ้าเกิดพันธะคาร์บอน-คาร์บอนภายในโมเลกุลเดียวกันจะทำให้เกิดวงแหวน (cyclic fatty acid) ถ้าเกิดพันธะระหว่างกรดไขมันต่างโมเลกุลกัน จะทำให้เกิดไดเมอร์ (dimer) หรืออาจเกิดขึ้นระหว่างกรดไขมันที่อยู่ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เดียวกันหรือต่างโมเลกุลกันก็ได้ ซึ่งทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและเมื่อผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยานี้เพิ่มขึ้นในน้ำมันทอดจะทำให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้น

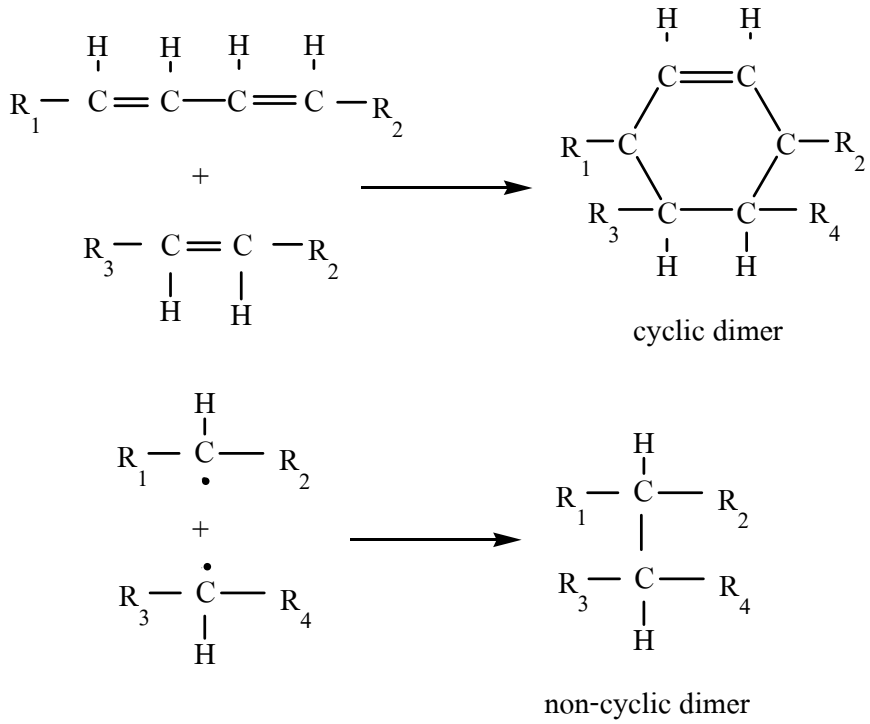

Figure 6. Polymerization reactions in frying oils

Source : Warner (1998)

6. วิธีวัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน

มีหลากหลายวิธีที่ใช้วัดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันดังใน Table 7. ค่าเพอร์ออกไซด์และคอนจูเกตเตดไดอีน เป็นวิธีที่ใช้วัดปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นปฐมภูมิซึ่งจะใช้อธิบายได้ในช่วงแรกของปฏิกิริยา จากนั้นจึงเป็นค่าคาร์บอนิล ค่าพาราอะนิซิดีน ค่า TBARS และสารประกอบที่ระเหยได้และค่าทางประสาทสัมผัส ซึ่งเป็นวิธีวัดผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันขั้นทุติยภูมิ (Warner, 1996)

Table 7. Methods to measure oxidation in oils and fat-containing foods

Method	Parameter assessed
Sensory	Odors/Flavors
Peroxide value	Peroxides
TBARS	Malonaldehyde + unknown compounds
Carbonyl value	All carbonyl functions
p-Anisidine value	Gamma-and beta- unsaturated carbonyls
Ultraviolet absorption	Conjugated dienes/trienes
Gas chromatography	Volatile compounds

Source: Warner (1996)

6.1 ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide value)

ไฮโดรเพอร์ออกไซด์หรือที่เรียกทั่วไปว่าเพอร์ออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์หลักขั้นแรกของปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน ซึ่งเกิดมาจากออกซิเจนทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัว ไฮโดรเพอร์ออกไซด์จะสะสมไปจนถึงจุดหนึ่งที่มากที่สุด จากนั้นจึงสลายตัวไปเป็นสารประกอบอื่น เช่น คาร์บอนิล ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส เช่น การเกิดกลิ่นหืนหรือการเปลี่ยนสีของน้ำมัน (Warner, 1996)

6.2 ค่าพาราอะนิสิดีน (*p*-Anisidine value)

ค่าพาราอะนิสิดีนเป็นค่าที่วัดผลิตภัณฑ์ขั้นทุตติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ส่วนใหญ่เป็น conjugated dienals และ 2-alkenals แอลดีไฮด์ที่เกิดจากการสลายตัวของไฮโดรเพอร์ออกไซด์เป็นผลให้กลิ่นรสในน้ำมันที่ถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนไป แอลดีไฮด์บางตัว (2-alkenal และ 2,4-dienals) ทำปฏิกิริยากับพาราอะนิสิดีนให้สารที่มีสีเหลืองวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตรและความเหลืองของสารขึ้นอยู่กับปริมาณแอลดีไฮด์ (Warner, 1996)

Naz และคณะ (2004) ศึกษาการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันบริโภค (น้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลือง) หลังจากทอดมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที วิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ (PV) และค่าพาราอะนิสิดีน (*p*-AV) พบว่าทั้งสองค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น (Figure 7-8) เมื่อเปรียบเทียบชนิดน้ำมัน พบว่าค่า PV และ *p*-AV เพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ น้ำมันถั่วเหลือง > น้ำมันข้าวโพด > น้ำมันมะกอก

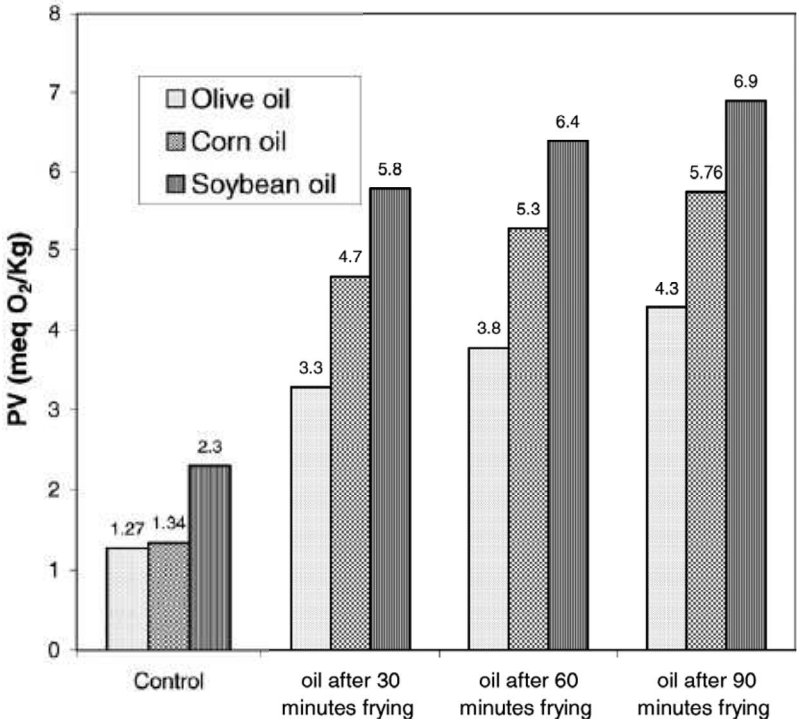

Figure 7. Effect of deep-frying on PV of olive, corn and soybean oil

Source: Naz และคณะ (2004)

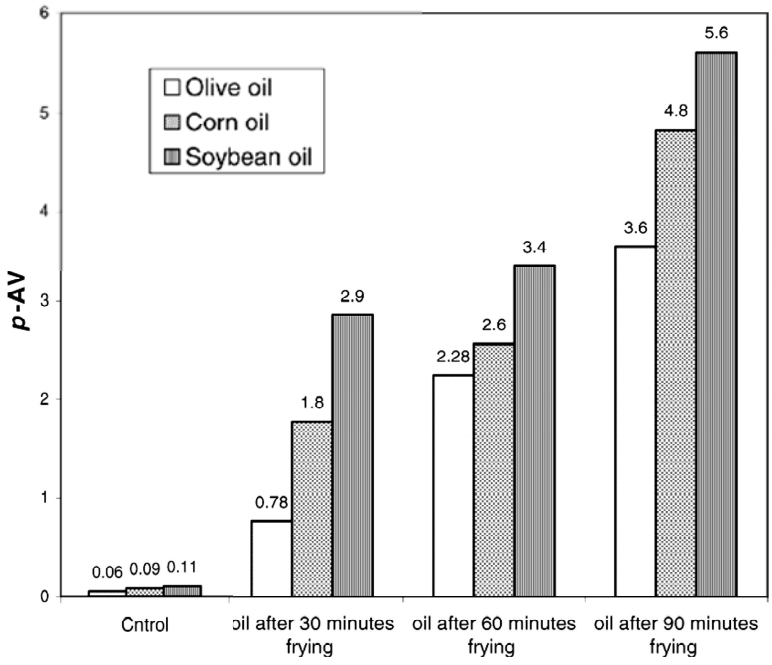

Figure 8. Effect of deep-frying on *p*-AV of olive, corn and soybean oil

Source: Naz และคณะ (2004)

Jaswir และคณะ (2000) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ผ่านการรี-ไฟน์ (refined) การฟอกสีให้จางลง (bleached) และการกำจัดกลิ่น(deodorize) เมื่อทอดมันฝรั่งชนิดแผ่น โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 นาที วันละ 10 ครั้ง ติดต่อกัน 5 วัน พบว่าค่าเพอร์ออกไซด์ ค่าพาราอะนิซิดีน ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณสารพอลิเมอร์และความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้นระหว่างที่ทอดตลอด 5 วัน ดังนั้นการใช้น้ำมันทอดซ้ำๆเป็นเวลานานมีผลทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสียได้

Danowska-Oziewicz และ Karpinska-Tymoszczyk (2005) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันเรพซีด (rapeseed oil) น้ำมันถั่วเหลืองและ hardened frying fat เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 ± 2 องศาเซลเซียส วันละ 2 ชั่วโมง ติดต่อกันเป็นเวลา 6 วัน โดยเติมน้ำมันให้เท่ากับปริมาตรเริ่มต้น เมื่อให้ความร้อนครบทุกๆ 2 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันเรพซีดซึ่งเป็นน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากที่สุด (90.30% ของกรดไขมันทั้งหมด)ในน้ำมันสามชนิดที่ศึกษา มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันอีก 2 ชนิด และปริมาณคาร์บอนิลพบปริมาณต่ำสุดใน hardened frying fat เนื่องจาก hardened frying fat มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อยที่สุดในน้ำมันที่ศึกษา เนื่องจากปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงในน้ำมันสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย (Danowska-Oziewicz and Karpinska-Tymoszczyk., 2005) ดังนั้นสารประกอบคาร์บอนิลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นทุติยภูมิจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่นเดียวกับอัลดีไฮด์และคีโตน (Warner, 1996) จึงพบปริมาณต่ำในน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อย ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันจึงอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของน้ำมัน

7. การทดสอบสารโพลาร์

Firestone (1996) กล่าวว่าปริมาณสารโพลาร์เป็นตัวชี้วัดที่ดีในการบ่งบอกคุณภาพของไขมันและน้ำมันที่ใช้ โดยจะบ่งบอกถึงปริมาณทั้งหมดของสารประกอบที่ก่อตัวขึ้นใหม่แล้วมีความมีขั้วมากกว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลและเป็นมาตรฐานที่ได้รับการแนะนำ รวมถึงมีข้อบังคับทางกฎหมายถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดที่ใช้สำหรับการบริโภคของมนุษย์

ในหลายประเทศได้กำหนดมาตรฐานน้ำมันทอดอาหาร โดยใช้ปริมาณสารโพลาร์เป็นตัวชี้วัดความเสื่อมสภาพของน้ำมันโดยยึดถือเป็นข้อบังคับตามกฎหมาย เช่น ชิลี ฝรั่งเศส อิตาลี สาธารณรัฐเช็ค ฮังการี สเปน ฟินแลนด์ มีสารโพลาร์ได้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนักน้ำมัน เยอรมัน สวิตเซอร์แลนด์ ออสเตรเลีย มีสารโพลาร์ได้ไม่เกินร้อยละ 27 ของน้ำหนักน้ำมัน (Firestone, 2004) ส่วนประเทศไทย กำหนดมาตรฐานน้ำมันทอดประกอบอาหารทั้งเพื่อจำหน่าย

และบริโภคต้องมีสารโพลาร์ได้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนักน้ำมัน ตามประกาศกระทรวงสาธารณะสุข ฉบับที่ 283 พ.ศ. 2547 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2547)

8. ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันระหว่างทอดแบบน้ำมันท่วม

การเสื่อมเสียของน้ำมันเป็นเรื่องที่ซับซ้อนเพราะการเสื่อมเสียนั้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงหลายอย่าง เช่น ความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน อุณหภูมิของน้ำมัน การดูดซับออกซิเจน และธรรมชาติของอาหาร (Arroyo *et al*., 1992)

8.1 องค์ประกอบของกรดไขมัน (Fatty acid composition)

จำนวน ตำแหน่งและเรขาคณิตของพันธะคู่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรดไขมันที่จัดตัวในรูปซิส (*cis*) จะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายกว่าการจัดตัวในรูปทรานส์ (*trans*) ไอโซเมอร์ (Figure 9) และ conjugated double bonds ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่า nonconjugated double bond (Nawar, 1996) Stevenson และคณะ (1984) และ Warner และคณะ (1994) รายงานว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันทอดเพิ่มขึ้น จึงอธิบายได้ว่าทำไมน้ำมันข้าวโพดซึ่งมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อยกว่าจึงเป็นน้ำมันทอดได้ดีกว่าน้ำมันถั่วเหลืองหรือน้ำมันคาโนลาซึ่งมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่า (Warner and Nelsen, 1996)

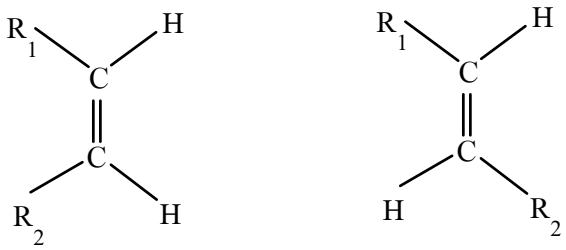

Figure 9. *cis* and *trans* isomers.

Source : Nawar (1996)

8.2 พื้นที่ผิว (Surface area)

อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นโดยตรงต่อสัดส่วนของพื้นที่ผิวของไขมันที่สัมผัสอากาศ นอกจากนี้อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่เพิ่มขึ้นจะลดออกซิเจนในส่วน

ของบรรยากาศ จึงทำให้มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยลงด้วย (Nawar, 1996)

8.3 การเติมน้ำมันใหม่ (Replenishment of fresh oil)

อัตราส่วนของน้ำมันใหม่ต่อน้ำมันทั้งหมดที่มากกว่าจะทำให้น้ำมันทอดมีคุณภาพดีกว่า (Paul and Mittal, 1997) อีกทั้งการเติมน้ำมันใหม่บ่อยๆจะลดการก่อตัวของสารประกอบมีขั้ว (polar compounds) ไดเอซิลกลีเซอรอล (diacylglycerols) และกรดไขมันอิสระ จึงเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานและคุณภาพของน้ำมัน (Romero *et al*., 1998). Sanchez-Muniz และคณะ (1993) รายงานว่าการเติมน้ำมันใหม่จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดหลังการทอดครั้งที่ 30 เท่านั้น Cuesta และคณะ (1993) รายงานเพิ่มเติมว่าการเปลี่ยนน้ำมันบ่อยทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเมื่อทอดมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วม

8.4 เวลาและอุณหภูมิที่ทอด (Frying time and temperature)

เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระ สารประกอบมีขั้วทั้งหมดเพิ่มขึ้น ค่าพาราอะนิสิดีนเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งค่าเหล่านี้บ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันที่เพิ่มขึ้นด้วย (Plessis and Meredith, 1999; Houhoula *et al*., 2002)

8.5 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมัน (Dissolved oxygen contents in oil)

การใช้ก๊าซไนโตรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ฉีดพ่นในน้ำมันจะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมันลดลงและลดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะป้องกันน้ำมันจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสามารถในการละลายและความหนาแน่นมากกว่าก๊าซไนโตรเจน (Przybylski and Eskin, 1998)

Przybylski และ Eskin (1998) แนะนำว่าการใช้ก๊าซไนโตรเจนอย่างน้อย 15 นาที หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างน้อย 5 นาที ฉีดพ่นในช่วงที่ให้ความร้อนจะทำให้ลดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันทอดระหว่างทอดได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Fujisaki และคณะ (2000) เมื่อให้ความร้อนน้ำมันดอกคำฝอยและปรับบรรยากาศโดยใช้ก๊าซไนโตรเจนให้ก๊าซออกซิเจนมีความเข้มข้นที่ระดับต่างๆ (2 4 10 และ 20 %) พบว่าที่ความเข้มข้น 2 และ 4 % น้ำมันจะเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันน้อยกว่าที่ความเข้มข้น 10 และ 20 %

8.6 องค์ประกอบของอาหาร (Compositions of foods)

นอกจากกระบวนการทอดจะทำให้เกิดการการเสื่อมสภาพในน้ำมันทอดแล้ว ส่วนประกอบจากอาหารที่ละลายในน้ำมันขณะทอด รวมถึงสารประกอบที่มีสีและไขมันจากอาหารจะส่งเสริมให้อัตราการเสื่อมสภาพของน้ำมันที่ใช้ทอดเพิ่มมากขึ้น (Melton *et al*., 1994) ผลิตภัณฑ์

ที่แตกต่างกันจะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน(ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมันและปริมาณโปรตีน) เช่นมันฝรั่งจะมีปริมาณความชื้นสูงประมาณ 82 % และปริมาณไขมันต่ำประมาณ 0.2 % ส่วนเนื้อไก่จะมีปริมาณไขมันสูงประมาณ 20 % และมีปริมาณความชื้นน้อยกว่ามันฝรั่งคือประมาณ 77 % ซึ่งความแตกต่างในองค์ประกอบของอาหารนี้ทำให้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงในน้ำมันที่ทอดมีความแตกต่างกัน เนื่องจากมีกลไกระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วมที่แตกต่างกันจึงทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันที่แตกต่างกันไปด้วย (Goburdhun *et al*., 2000)

จากงานวิจัยของ Goburdhun และคณะ (2000) เมื่อทอดแผ่นมันฝรั่งและน่องไก่ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสในช่วงเวลา 315 นาที ในน้ำมันถั่วเหลือง แล้วเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์และค่าไอโอดีนในน้ำมันของผลิตภัณฑ์ทั้งสองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

9. ไก่ทอด

จากการสำรวจในประเทศสเปนพบว่าไก่เป็นอาหารที่ชื่นชอบ ซึ่งจัดอยู่ในลำดับที่ 5 จากอาหารทั้งหมด 115 ชนิด โดยมีการบริโภคเฉลี่ย 58 กรัมต่อคนต่อวัน การบริโภคระดับสูงนี้เนื่องมาจากความพอใจในลักษณะเนื้อสัมผัสและพอใจในระดับโภชนาการซึ่งเป็นที่แนะนำในกลุ่มประชากรโดยเฉพาะเด็ก ผู้พักฟื้นและผู้สูงอายุ เนื่องจากเนื้อไก่ให้พลังงานต่ำเพราะมีไขมันต่ำ (3-5%) โปรตีนสูง (20%) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ และอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุ (Garcia-Arias *et al*., 2003) จากการสำรวจภาวะอาหารและโภชนาการในประเทศไทยปี 2546-2547 พบว่าคนไทยรับประทานอาหารทอดและผัดทุกวันคิดเป็นร้อยละ19.6 จากการบริโภคอาหารทั้งหมดและมีการรับประทานอาหารทอดกันมาก ซึ่งไก่ทอดจัดเป็นอาหารทอดชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมเนื่องจากสามารถหาซื้อได้ง่าย ทำเองได้ง่ายและรสชาติอร่อย ผลิตภัณฑ์ไก่ทอดมีสารอาหารหลักครบถ้วนทั้งโปรตีนไขมันและคาร์โบไฮเดรต โดยเฉพาะไขมันที่เพิ่มขึ้นจากน้ำมันที่ใช้ทอด ทำให้ไก่ทอดทั้งหลายมีพลังงานมากกว่าอาหารที่ปรุงด้วยวิธีอื่นและมีคุณค่าทางโภชนาการดังแสดงใน Table 8.

ไก่ทอดหาดใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมมากในอำเภอหาดใหญ่และตลอดจนจังหวัดสงขลา ซึ่งจะเห็นว่ามีร้านไก่ทอดในชื่อไก่ทอดหาดใหญ่มีให้พบเห็นกันอยู่ทั่วไป ลักษณะของไก่ทอดหาดใหญ่นั้นมีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องรสชาติและวิธีทำและทอดกันตามแต่เทคนิคที่ได้รับการสืบทอดกันมาและนิยมรับประทานคู่กับหอมเจียว ในส่วนผสมของไก่ทอดหาดใหญ่ที่พบประกอบด้วย กระเทียมไทยกลีบเล็ก พริกไทยเม็ด ลูกผักชีป่น ยี่หร่าป่น ซอสปรุงรสเกลือป่น น้ำตาลทรายแดง แป้งสาลีหรือแป้งข้าวเจ้า (ศุภพิชญ์ โอภาสวิศัลย์, 2548) ในขณะที่ไก่

ทอดทั่วไปมีส่วนผสมประกอบด้วย น้ำมันหอย ซีอิ๊วขาว ซีอิ๊วดำ น้ำตาลทราย ผงชูรส กระเทียมสับ (จริยา เดชกุญชร, 2552) จะสังเกตว่าไก่ทอดหาดใหญ่มีส่วนผสมที่เป็นเครื่องเทศ (ลูกผักชีและยี่หร่า) ประกอบอยู่ด้วย ลูกผักชีและยี่หร่าเป็นเครื่องเทศที่ให้กลิ่นรสซึ่งทำให้ไก่ทอดหาดใหญ่มีรสชาติแตกต่างกับไก่ทอดทั่วไป อีกทั้งอาจทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน มีหลายรายงานถึงสารต้านออกซิเดชันจากแหล่งเครื่องเทศและสมุนไพร เช่น Jaswir และ Che Man (2000) รายงานว่าการใช้สารสกัดจากโรสแมรี่และเสจเติมในน้ำมันปาล์มโอเลอินก่อนทอดมันฝรั่งชนิดแผ่น ที่อุณหภูมิ 180± 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2.5 นาทีเป็นเวลา 6 วันพบว่าสามารถลดการเกิดออกซิเดชันได้ โดยน้ำมันที่เติมสารสกัดจากโรสแมรี่และเสจจะมีค่าเพอร์ออกไซด์และกรดไขมันอิสระลดลงเมื่อเทียบกับวันแรกที่มีการทอด เป็นต้น

Table 8. Nutrient of 100 g edible portion fried chicken

Parts of Chicken	Energy (kcal)	Water (g)	Protein (g)	Fat (g)	Carbohydrate (g)
Drumstick	248	53.8	27.2	14.2	2.7
Wing	267	50	28.4	15.3	4
Breast	213	56	29.3	9.4	2.8

Source : ดัดแปลงจาก กลุ่มวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ กองโภชนาการ (2549).

10. การดูดซับน้ำมันของอาหารทอด (Saguy and Dana, 2003)

กลไกของการดูดซับน้ำมันของอาหารสามารถอธิบายได้ 2 กลไกด้วยกันคือ

10.1 การดูดซับน้ำมันอย่างต่อเนื่องที่เกิดจากการแทนที่น้ำที่ระเหยออกจากอาหารขณะทอด เมื่อน้ำระเหยกลายเป็นไอและเคลื่อนที่ออกจากชิ้นอาหาร ทำให้เหลือโครงสร้างที่เป็นรูพรุนซึ่งน้ำมันสามารถ เคลื่อนที่เข้าไปแทนที่ได้

10.2 การดูดซับน้ำมันที่เกิดขึ้นเมื่อการทอดเสร็จสิ้นและอาหารทอดเย็นลง เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำภายในอาหารกลายเป็นไอระหว่างทอด ทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอ ไอน้ำเคลื่อนที่ออกจากอาหารโดยผ่านท่อคาปิลารีในโครงสร้างของเซลล์ ในขณะที่มีการระเหยเป็นไอของไอน้ำน้ำมันจะเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในโครงสร้างได้ยาก แต่เมื่อนำอาหารทอดขึ้นจากน้ำมันและปล่อยให้

เย็น ความดันไอภายในรูพรุนจะลดลง ไอน้ำจะควบแน่นและเกิดภาวะสุญญากาศ ซึ่งจะดูดเอาน้ำมันที่ผิวอาหารเข้ามาไว้ในผลิตภัณฑ์

Sosa-Morales และคณะ (2006) ได้ศึกษาถึงปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของเนื้อหมูทอดเมื่อทอดแบบน้ำมันท่วม โดยเนื้อหมูมีขนาด 5 x 4 x 2 เซนติเมตรและมีความชื้นเริ่มต้นช่วง 72.4% และ 75.95% (น้ำหนักเปียก) และไขมันเริ่มต้นในเนื้อหมูมี 1.3–1.7% (น้ำหนักเปียก) ทอดในน้ำมันเมล็ดทานตะวันที่อุณหภูมิ 90 100 และ 110 องศาเซลเซียสพบว่าปริมาณความชื้นลดลงในทิศทางเดียวกัน โดยไม่มีความความแตกต่างอย่างชัดเจนในทั้ง 3 อุณหภูมิและปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นตามเวลาการทอดและอุณหภูมิที่ใช้ทอด เมื่อเปรียบเทียบชนิดของไขมันที่ใช้ทอดคือเนยขาว (ไขมันอิ่มตัว)และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน(ไขมันไม่อิ่มตัว) เมื่อทอดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่าเนื้อหมูที่ทอดในเนยขาวมีปริมาณความชื้นลดลงและดูดซับน้ำมันได้น้อยกว่าทอดเนื้อหมูด้วยน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน สามารถอธิบายได้โดยการแทนที่ของน้ำด้วยการดูดซึมไขมันผ่านกระบวนการทอดและอัตราส่วนขนาดโมเลกุลไขมันต่อน้ำมัน ไขมันที่อิ่มตัวจะจับตัวกันเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่มากกว่าน้ำมันที่ไม่อิ่มตัว จึงมีข้อจำกัดในการเข้าสู่รูพรุนขนาดเล็กจะต้องอาศัยความดันไอน้ำที่ออกมาระหว่างการทอด

Kassama และ Ngadi (2004) ศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำมันทอดและเวลาการทอดต่อการพัฒนารูพรุนของเนื้ออกไก่ซึ่งมี ขนาดความยาว x ความกว้าง x ความหนา เท่ากับ 20 x 15 x 10 มิลลิเมตร ทอดเนื้ออกไก่แบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 170 180 และ190 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทอดจาก 5 ถึง 900 วินาที พบว่าเมื่อเวลาในการทอดและอุณหภูมิของน้ำมันเพิ่มขึ้น ขนาดรูพรุนเพิ่มขึ้นและเนื้อไก่ดูดซับน้ำมันมากขึ้น

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันที่แตกต่างกัน
2. เพื่อทราบผลของปัจจัยด้านอุณหภูมิและเวลาการทอด อัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณไก่ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันทอดไก่
3. เพื่อทราบผลของการทอดซ้ำในลักษณะที่แตกต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันทอดไก่

บทที่ 2

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุ

1. น่องไก่ขนาด 100 ± 10 กรัมต่อชิ้น (บริษัท สหฟาร์ม จำกัด กรุงเทพฯ)

2. น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองตรามรกต (บริษัท มรกต อินดัสตรี้ส์ จำกัด มหาชน กรุงเทพฯ) น้ำมันรำข้าวตราคิง (บริษัท น้ำมันบริโภคไทย จำกัด กรุงเทพฯ)

3. เครื่องหมักไก่ จากร้านไก่ทอดร้านหนึ่งในอำเภอหาดใหญ่ มีส่วนประกอบหลัก คือ เกลือ น้ำตาลทราย พริกไทยดำ กระเทียม แป้งข้าวเจ้า

4. สารเคมีเกรดวิเคราะห์สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี

ชื่อสารเคมี	**บริษัทผู้ผลิต/เกรด/ประเทศ**
4.1 กรดแอซิติก (CH_3COOH)	LabScan Asia/Analytical/Thailand
4.2 คลอโรฟอร์ม ($CHCl_3$)	VWR international/Analytical/ England
4.3 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)	VWR international/Analytical/ England
4.4 โซเดียมไทโอเซลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$)	Ajex Finechem/Analytical/Australia
4.5 โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)	Ajex Finechem/Analytical/Australia
4.6 เอทานอล (CH_3CH_2OH)	Merck/ Analytical/ Germany
4.7 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	Merck/ Analytical/ Germany
4.8 โพแทสเซียมแอซิดพาทาเลท($KHC_8H_4O_4$)	AjexFinechem/Analytical/Australia
4.9 ไอโซออกเทน (C_8H_{18})	LabScan Asia/Analytical/Thailand
4.10 พาราอะนิสิดีน (C_7H_9NO)	Sigma/ Analytical/ Germany
4.11 Slica gel 60 No. 7734	Merck/ Analytical/ Germany
4.12 TLC plates	Merck/ Analytical/ Germany
4.13 ปิโตรเลียมอีเทอร์	LabScan Asia/Analytical/Thailand
4.14 ไดเอทิลอีเทอร์	LabScan Asia/Analytical/Thailand

4.15. กรดโมลิปโดฟอสฟอริก	Sigma/ Analytical/ Germany
4.16. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)	LabScan Asia/Analytical/Thaila 28
4.17โปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)	Ajex Finechem/Analytical/Australia
4.18 คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$)	Ajex Finechem/Analytical/Australia
4.19 กรดบอริก (H_3BO_3)	Ajex Finechem/Analytical/Australia
4.20 กรดเกลือ (HCl)	Merck/ Analytical/ Germany

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทอดไก่ ประกอบด้วย

1.1 เครื่องทอด (Fritel Professional/TurboSF®-professional 5 L/ Limburg/Belgium)

1.2 เทอร์โมคัปเปิล (Union/305/Kowloon/Hong Kong)

1.3 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius/BP 2100 S/Goettingen/Germany)

1.4 อุปกรณ์เครื่องครัว

2. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ทางกายภาพ

2.1 เครื่องวัดความหนืด Rheometer/Haake/Rheostress RS 75/Germany

2.2 เครื่องวัดค่าสีไก่ Hunter Lab/ColorFlex/USA

2.3 เครื่องวัดค่าสีน้ำมัน Hunter Lab/Colour Qurest XT/USA

2.4 กระดาษกรองเบอร์ 1 Whatman/ø110mm/England

3. อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน

3.2 เครื่องมือวัดการดูดกลืนแสง UV-VIS Spectrophotometer/UV 1700 Pharma Spec/Shimadzu/Japan

3.3 เครื่อง Vortex Mixer/Vortex-genie 2/Thailand

3.4 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius/BP 2100 S/Germany)

3.5 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo/AB 204-S/ Switzerland)

3.6 Column แก้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.1 cm. ยาว 45 cm. เป่าจากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วิธีดำเนินการ

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไก่สดและน้ำมัน

นำเนื้อไก่สดส่วนน่องมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ไขมัน โดยวิธี A.O.A.C (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ก1- ก3

นำน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าว มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและทางกายภาพดังนี้

1.1 วิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ ค่ากรดไขมันอิสระและค่าพาราอะนิสิดีน (IUPAC, 1979) ดังแสดงในภาคผนวก ข1-ข3

1.2 วิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE ด้วยเครื่องวัดค่าสียี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Colour Qurest XT แสดงค่าสีในรูป L^*, a^* และ b^* ดังแสดงในภาคผนวก ค1

2. ศึกษาความคงทนต่อความร้อนของน้ำมัน

โดยนำน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าว มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 190 ± 2 องศาเซลเซียส ต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ใช้น้ำมันเริ่มต้น 3 ลิตร ให้ความร้อนโดยใช้หม้อทอดไฟฟ้าและควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล เก็บตัวอย่างน้ำมันแต่ละชนิดปริมาตร 20 มิลลิลิตร หลังจากให้ความร้อนทุกๆ 1 ชั่วโมง ให้น้ำมันเย็นที่อุณหภูมิห้อง เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ทำการทดลองตามกระบวนการข้างต้นซ้ำ เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำมันสำหรับการวิเคราะห์ทางกายภาพ โดยเปลี่ยนจากเก็บตัวอย่างน้ำมันจาก 20 มิลลิลิตรมาเป็น 60 มิลลิลิตร นำตัวอย่างที่เก็บมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและทางกายภาพดังนี้

2.1 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำมัน เช่นเดียวกับข้อ 1.1

2.2 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำมัน เช่นเดียวกับข้อ 1.2 และคำนวณการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม (ΔE) จากสูตร $\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5}$

2.3 วิเคราะห์ความหนืด ด้วยเครื่อง Rheometer ยี่ห้อ Haake รุ่น Rheostress RS 75 โดยใช้ความเร็วรอบในการหมุน 100 รอบต่อวินาที และอุณหภูมิของอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ดัดแปลงจากวิธีของ Sanchez-Gimeno และคณะ (2008) ดังแสดงในภาคผนวก ค2 และแปลงหน่วยมาเป็น cP โดย 1 mPas = 1000 cP

3. ศึกษาความคงทนต่อความร้อนของน้ำมันระหว่างทอด

นำน่องไก่ที่ผ่านการปรุงรสในน้ำหมักไก่จากร้านค้า โดยมีอัตราส่วนน้ำหมักต่อปริมาณไก่เป็น 1: 20 w/w โดยประมาณ มาทอดที่อุณหภูมิ 190 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณไก่เป็น 10 : 2.5 โดยใช้หม้อทอดไฟฟ้าและควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล ทำการทอดต่อเนื่องจนครบห้าซ้ำ โดยเก็บตัวอย่างน้ำมันในแต่ละซ้ำที่ทอดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี เช่นเดียวกับข้อ 1.1 เลือกน้ำมันที่มีความคงทนต่อความร้อนระหว่างทอดไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4. ศึกษาผลของสภาวะการทอดต่อคุณภาพน้ำมันทอดไก่

4.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการทอด

นำน่องไก่ที่ผ่านการปรุงรสโดยใช้น้ำหมักไก่สูตรจากร้านค้า อัตราส่วนน้ำหมักต่อปริมาณไก่เป็น 1: 20 w/w โดยประมาณ มาทอดโดยใช้น้ำมันปาล์ม(คัดเลือกได้จากข้อ 3) อัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณไก่เป็น 10:1 ที่อุณหภูมิ 170 ± 2, 180 ±2 และ 190 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15, 18 และ 21 นาที (เวลาที่น่องไก่สุกและมีอุณหภูมิใจกลางไก่ 91-96, 96-101 และ 97-101 องศาเซลเซียส สำหรับเวลา 15, 18 และ 21 นาทีตามลำดับ)ในแต่ละอุณหภูมิการทอด โดยใช้หม้อทอดไฟฟ้าและควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล เมื่อครบตามเวลาการทอดของแต่ละอุณหภูมิเก็บตัวอย่างน้ำมันและสุ่มตัวอย่างไก่ทอด มาวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

4.1.1 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำมัน เช่นเดียวกับข้อ 1.1

4.1.2 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำมัน เช่นเดียวกับข้อ 2.2 และ 2.3

4.1.3 วิเคราะห์ค่าสีผิวภายนอกของไก่ทอดในระบบ CIE ด้วยเครื่องวัดค่าสียี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex แสดงค่าสีในรูป L^*, a^* และ b^* ดังแสดงในภาคผนวก ง1

4.1.4 วิเคราะห์ปริมาณไขมันในไก่ทอด โดยวิธี A.O.A.C (2000) ดังแสดงในภาคผนวก ก3

คัดเลือกสภาวะที่ใช้ในการทอด จากชุดการทดลองที่ตัวอย่างไก่ทอดมีค่าสีผิวภายนอกอยู่ในช่วงเดียวกับค่าสีผิวภายนอกของไก่ทอดที่ขายตามชุมชน ในการเลือกไก่ที่ทอดในชุมชนจะทำโดยสุ่มตัวอย่างไก่ที่ทอดในกระทะแรกของวัน จำนวน 10 ร้าน ร้านละ 3 ชิ้น นำไปวัดค่าสีผิวภายนอกของไก่ เช่นเดียวกับข้อ 4.1.3 แล้วหาช่วงของสีที่พบในตัวอย่างไก่เป็นส่วนมาก เพื่อใช้เป็นเกณฑ์พิจารณาสีไก่ทอด ร่วมกับสภาวะการทอดที่มีแนวโน้มว่าจะทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสียได้มากกว่า

4.2 ศึกษาอัตราส่วนของน้ำมันทอดกับปริมาณไก่

นำน่องไก่ที่ผ่านการปรุงรสโดยใช้น้ำหมักไก่สูตรจากร้านค้า อัตราส่วนน้ำหมักต่อปริมาณไก่เป็น 1: 20 w/w โดยประมาณ มาทอดโดยใช้น้ำมันปาล์ม(คัดเลือกได้จากข้อ 3) โดยใช้หม้อทอดไฟฟ้าและควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล ภายใต้สภาวะการทอดที่เลือกได้จากข้อ 4.1 (อุณหภูมิน้ำมันทอด 180 องศาเซลเซียสและเวลาทอด 18 นาที) โดยศึกษาอัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณไก่ดังนี้ 10:0.5, 10:1.0, 10:1.5, 10:2.0, 10:2.5 และ 10:3.0 เปลี่ยนน้ำมันใหม่ทุกครั้งที่เปลี่ยนอัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณไก่ทอด สุ่มตัวอย่างน้ำมันและไก่ทอดในแต่ละอัตราส่วนมาวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

4.2.1 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำมัน เช่นเดียวกับข้อ 1.1

4.2.2 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำมัน เช่นเดียวกับข้อ 1.2 และ 2.3

4.2.3 วิเคราะห์คุณภาพสีผิวภายนอกไก่ทอดในระบบ CIE เช่นเดียวกับข้อ 4.1.3

4.2.4 วิเคราะห์ปริมาณไขมันในไก่ทอด เช่นเดียวกับข้อ 4.1.4

5. ศึกษาผลการทอดซ้ำต่อคุณภาพน้ำมันทอดไก่

ใช้น้ำมันเริ่มต้น 7 ลิตร น่องไก่ที่ปรุงรสจากน้ำหมักไก่สูตรจากร้านค้า 2.1 กิโลกรัม อัตราส่วนน้ำหมักต่อปริมาณไก่เป็น 1: 20 w/w โดยประมาณ ทอดในกระทะใบบัวขนาดใหญ่ (กระทะที่ร้านค้าไก่ทอดใช้ทอดโดยทั่วไป) และควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล โดยศึกษาผลของการทอดซ้ำดังนี้

5.1 ผลการทอดซ้ำต่อคุณภาพน้ำมันทอดไก่ โดยไม่มีการเติมน้ำมัน

5.1.1 การทอดซ้ำต่อเนื่องกันภายใน 1 วัน

นำไก่มาทอดโดยใช้น้ำมันปาล์ม(คัดเลือกได้จากข้อที่ 3) ใช้สภาวะการทอดที่คัดเลือกจากข้อ 4.1(อุณหภูมิน้ำมันทอด 180 องศาเซลเซียสและเวลาทอด 18 นาที) และอัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณไก่เป็น 10:3.0 ทอดต่อเนื่องกัน 30 ครั้ง โดยปรับน้ำหนักไก่ตามปริมาตรน้ำมันทอด เก็บตัวอย่างน้ำมันเมื่อทอดครบทุกๆ 5 ครั้ง รวมถึงตัวอย่างน้ำมันเริ่มต้น วิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

5.1.1.1 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำมัน เช่นเดียวกับข้อ 1.1

5.1.1.2 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำมัน เช่นเดียวกับข้อ 2.2 และ 2.3

5.1.1.3 วิเคราะห์สารประกอบโพลาร์ (A.O.A.C., 2000) ดังแสดงในภาคผนวก ข4 โดยทำการวิเคราะห์เฉพาะในตัวอย่างน้ำมันซ้ำที่ 10 20 และ 30

5.1.2 การทอดซ้ำวันละ 10 ครั้งเป็นเวลา 4 วัน

นำไก่มาทอดโดยใช้น้ำมันปาล์ม(คัดเลือกได้จากข้อที่ 3) ใช้สภาวะการทอดที่คัดเลือกจากข้อ 4.1(อุณหภูมิน้ำมันทอด 180 องศาเซลเซียสและเวลาทอด 18 นาที)และอัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณไก่เป็น 10:3.0 ทำการทอดไก่ในน้ำมันจนครบ 10 ซ้ำ โดยปรับน้ำหนักไก่ตามปริมาตรน้ำมันทอด จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างน้ำมันในซ้ำที่ 10 เพื่อวิเคราะห์ แล้วจึงกรองน้ำมันด้วยผ้าขาวบางซ้อนสองชั้นและเก็บน้ำมันไว้ในหม้อสแตนเลสปิดฝา ทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิห้องและนำกลับมาใช้ทอดซ้ำในวันที่ 2 และเมื่อทอดไก่ครบ 10 ซ้ำ เก็บตัวอย่างน้ำมันในซ้ำที่ 10 ของวันที่ 2 เพื่อวิเคราะห์ แล้วจึงกรองและเก็บน้ำมันเช่นเดียวกับวันที่ 1 ในวันที่ 3 และวันที่ 4 ก็ทำเช่นเดียวกัน จากนั้นนำน้ำมันมาวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

5.1.2.1 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำมัน เช่นเดียวกับข้อ 1.1

5.1.2.2 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำมัน เช่นเดียวกับข้อ 2.2 และ 2.3

5.1.2.3 วิเคราะห์สารประกอบโพลาร์ เช่นเดียวกับข้อ 5.1.1.3 ในตัวอย่างน้ำมันที่เก็บในวันที่ 2 และวันที่ 4

5.2 ผลการทอดซ้ำต่อคุณภาพน้ำมันทอดไก่ โดยมีการเติมน้ำมันใหม่ต่อน้ำมันเก่าเป็น 1:2

นำไก่มาทอดโดยใช้น้ำมันปาล์ม(คัดเลือกได้จากข้อที่ 3) และใช้สภาวะการทอดที่คัดเลือกจากข้อ 4.1(อุณหภูมิน้ำมันทอด 180 องศาเซลเซียสและเวลาทอด 18 นาที) อัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณไก่เป็น 10:3.0 ทอดไก่ในน้ำมันจนครบ 10 ซ้ำ โดยปรับน้ำหนักไก่ตามปริมาตรน้ำมันทอด จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างน้ำมันในซ้ำที่ 10 เพื่อวิเคราะห์ แล้วจึงกรองน้ำมันด้วยผ้าขาวบางซ้อนสองชั้นและเก็บน้ำมันไว้ในหม้อสแตนเลสปิดฝา ทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิห้องและนำกลับมาใช้ซ้ำในวันที่ 2 โดยเปลี่ยนน้ำมันเก่าออก 1 ใน 3 ส่วน แล้วจึงเติมน้ำมันใหม่เข้าไป 1 ส่วน จากนั้นจึงทอดไก่จนครบ 10 ซ้ำ เก็บตัวอย่างน้ำมันในซ้ำที่ 10 ของวันที่ 2 เพื่อวิเคราะห์ แล้วจึงกรองน้ำมันและเก็บน้ำมันไว้ข้ามคืนเช่นเดียวกับวันที่ 1 และในวันที่ 3, 4, 5, 6 และ 7 ก็ทำเช่นเดียวกัน จากนั้นนำน้ำมันมาวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

5.2.1 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำมัน เช่นเดียวกับข้อ 1.1

5.2.2 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำมัน เช่นเดียวกับข้อ 2.2 และ 2.3

5.2.3 วิเคราะห์สารประกอบโพลาร์ เช่นเดียวกับข้อ 5.1.1.3 ในตัวอย่างน้ำมันที่เก็บในวันที่ 3, 5 และ 7

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ในการทดลองข้อ 2 และ 4 จัดชุดการทดลองแบบแฟคทอเรียลในการทดลองข้อ 4.1 และวางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design; RCBD) ในการทดลองข้อ 5 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ในการทดลองข้อ 2-5 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไก่สดและน้ำมัน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของน่องไก่ พบว่ามีความชื้นในเนื้อและหนังร้อยละ 77.16 ± 0.17 และ 43.47 ± 0.37 ตามลำดับ มีปริมาณโปรตีนในเนื้อร้อยละ 17.65 ± 0.77 ไขมันในเนื้อและหนังร้อยละ 2.58 ± 0.32 และ 25.61 ± 1.61 (กรัมต่อ 100 กรัมโดยน้ำหนักเปียก) ตามลำดับ มีบางรายงานที่วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไก่ เช่น รายงานของ Foegeding และคณะ (1996) รายงานว่าเนื้อไก่มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 73.7, 20-23 และ 4.7 ตามลำดับ รายงานของ Burghagen (1999) พบว่าน่องติดสะโพกของไก่มีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 73.3 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 20.0 ไขมันในเนื้อร้อยละ 5.5 และอกไก่มีความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 74.4 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 23.3 ไขมันในเนื้อร้อยละ 1.2 ซึ่งส่วนประกอบของซากและองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อสัตว์ที่ต่างกันเนื่องจากสายพันธุ์ที่ต่างกัน (Evan *et al*, 1976) สอดคล้องกับรายงานของ Ang และ Hamm (1992) กับ Xlong และคณะ (1993) ที่พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อที่แตกต่างกันมีความเกี่ยวเนื่องกับสายพันธุ์ของสัตว์

องค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพเบื้องต้นของน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันรำข้าวแสดงใน □able 9 พบว่ามีค่าเพอร์ออกไซด์อยู่ในช่วง 2.04-2.56 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อกิโลกรัมไขมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในช่วง 0.15-0.2 มิลลิกรัมโพแทสเซียมต่อกรัมไขมัน และค่าพาราอะนิสิดีนอยู่ในช่วง 0.76-1.14 และยังพบว่าน้ำมันปาล์มมีค่าไอโอดีนน้อยกว่าน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าว ซึ่งค่าไอโอดีนเป็นค่าที่บ่งบอกความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ส่วนค่าซาพอนิฟิเคชันในน้ำมันทั้งสามชนิดพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันคือ 188-198 (Basiron, 1996; Othoefer, 1996) ค่าสีของน้ำมันทั้งสามชนิดพบว่าน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวมีค่าสีใกล้เคียงในขณะที่น้ำมันถั่วเหลืองมีสีอ่อนกว่า เนื่องจากมีค่าความสว่างมากกว่าน้ำมันทั้งสองชนิด

able 9. Chemical and physical properties of palm olein oil, soybean oil and rice bran oil

Properties	Palm olein oil*	Soybean oil*	Rice bran oil*
Chemical properties			
Peroxide value (mg O_2/kg fat)	2.04 ± 0.04	2.30 ± 0.00	2.56 ± 0.00
Free fatty acid (mg KOH/g fat)	0.15 ± 0.00	0.15 ± 0.00	0.20 ± 0.01
p-Anisidine value	0.76 ± 0.00	0.20 ± 0.05	1.14 ± 0.12
Physical properties			
Color CIE L* value	96.7 ± 0.02	101.5 ± 0.04	96.2 ± 0.04
a* value	-7.5 ± 0.01	-3.7 ± 0.02	-6.0 ± 0.01
b* value	47.1 ± 0.01	13.4 ± 0.02	46.4 ± 0.03

* Mean value ± standard deviation (SD) of triplicate determinations.

2. ศึกษาความคงทนต่อความร้อนของน้ำมัน

จากการศึกษาความคงตัวของน้ำมันบริโภคสามชนิด คือ น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าว ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ต่อเนื่องเป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันทั้งสามชนิดมีค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจนกระทั่งชั่วโมงที่สามของการให้ความร้อน โดยค่าเพอร์ออกไซด์มีค่าเท่ากับ 3.54 ± 0.01, 3.29 ± 0.00 และ 3.22 ± 0.09 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อกิโลกรัมไขมันสำหรับน้ำมันรำข้าว น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองตามลำดับ หลังจากนั้นค่าเพอร์ออกไซด์ในทุกตัวอย่างน้ำมันจึงเริ่มลดลง (Figure 10) เนื่องจากสารไฮโดรเพอร์ออกไซด์ไม่มีความคงตัวภายใต้สภาวะการทอด สามารถสลายตัวต่อไปเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นทุตติยภูมิ (Houhoula *et al.*, 2002) เมื่อพิจารณาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันทั้งสามชนิด พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น (Figure 11) จากการทดลองส่วนนี้ไม่มีการใช้อาหารทอดในน้ำมันจึงไม่มีน้ำจากอาหารซึ่งเป็นสาเหตุหลักทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะระหว่างกลีเซอรอลและกรดไขมันในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จึงอาจเป็นไปได้ว่ากรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นอาจเกิดผ่านปฏิกิริยาอื่นด้วย ซึ่งจากรายงานของ Dana และ Saguy (2001) อธิบายว่าโดยส่วนใหญ่กรดไขมันอิสระจะสามารถก่อตัวจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และยังสามารถเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจากการแตกตัวตรงตำแหน่งพันธะคู่ได้อีกด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำมันรำข้าวและน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าน้ำมันปาล์มมีแนวโน้มเกิดกรดไขมันอิสระสูงเช่นกัน โดยองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน

ทั้งสามชนิด พบว่าน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อยที่สุด (54.3% ของกรดไขมันทั้งหมด) ส่วนใหญ่เป็นกรดโอเลอิค (C18:1) ประมาณ 42.5% (Basiron, 1996) น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวใกล้เคียงกันคือ 84.6% และ 81.9% ของกรดไขมันทั้งหมดตามลำดับ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดโอเลอิค (C18:1) และกรดลิโนเลอิค (C18:2) (Michael Eskin *et al*., 1996; Othoefer, 1996)

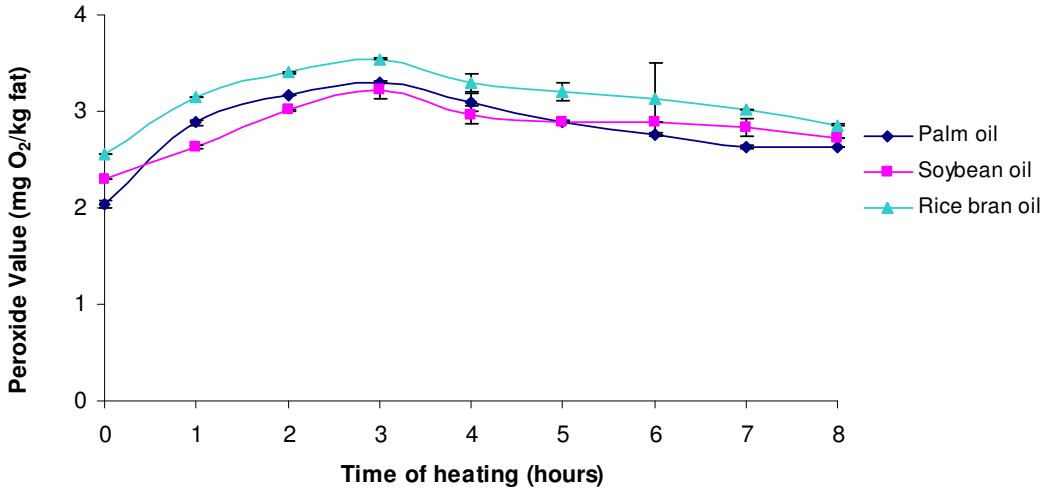

Figure 10. The changes in peroxide value during heating the oil at 190 ± 2 °C

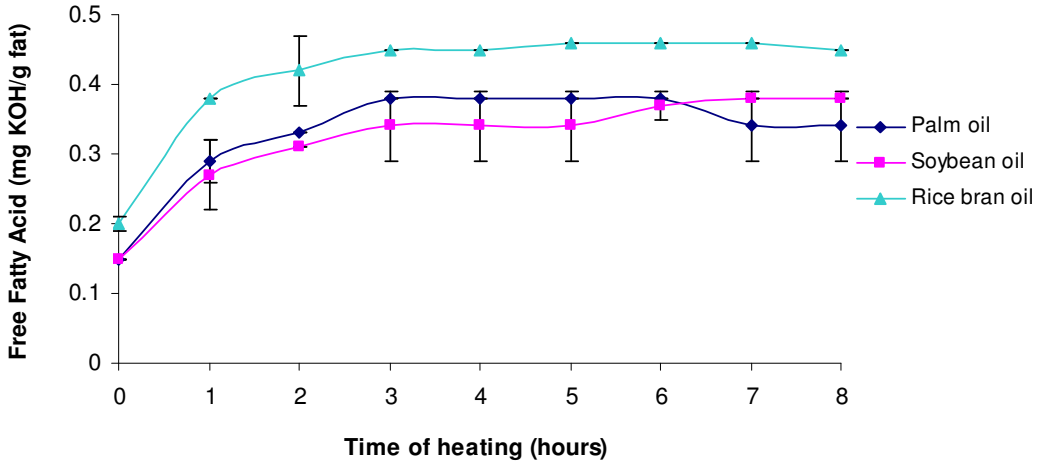

Figure 11. The changes in free fatty acid during heating the oil at 190 ± 2 °C

สำหรับค่าเพอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระในการทดลองให้ผลสอดคล้องตามรายงานของ Danowska-Oziewicz และ Karpinska-Tymoszczyk (2005) ซึ่งศึกษาการ

เปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันเรพสีด (rapeseed) น้ำมันถั่วเหลืองและ hardened frying fat ที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 ± 2 องศาเซลเซียส จนครบ 24 ชั่วโมง พบว่าทั้งค่าเพอร์ออกไซด์และปริมาณกรดไขมันอิสระจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกที่ให้ความร้อนและเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่ามากที่สุดแล้วจึงเริ่มลดลง เนื่องจากสารเพอร์ออกไซด์จะก่อตัวในขั้นแรกของปฏิกิริยาออกซิเดชันและไม่มีความคงตัว สามารถก่อตัวเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นทุติยภูมิของปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Orthoefer and Cooper, 1996) จึงมีผลทำให้ค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นในช่วงแรกและลดลง สำหรับค่าพาราอะนิสิดีน (Figure 12) พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น โดยค่าพาราอะ-นิสิดีนในน้ำมันรำข้าวจะมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองและเมื่อให้ความร้อนกับน้ำมันจนครบ 8 ชั่วโมงแล้ว พบว่าค่าพาราอะนิสิดีนในน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นจาก 0.76 ± 0.01 เป็น 26.67 ± 0.86 ในน้ำมันถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นจาก 0.20 ± 0.05 เป็น 31.77 ± 0.48 และในน้ำมันรำข้าวเพิ่มขึ้นจาก 1.14 ± 0.12 เป็น 41.32 ± 0.52 สอดคล้องกับการศึกษาของ □an และ Che Man (1999) น้ำมันข้าวโพด น้ำมันปาล์มที่ผ่านการรีไฟน์ การฟอกสีและการกำจัดกลิ่น และน้ำมันถั่วเหลือง เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 12 ชั่วโมง พบว่ามีค่าพาราอะนิสิดีนเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น

จากการเปลี่ยนแปลงค่าทางเคมีในน้ำมันทั้งสามชนิด พบว่าน้ำมันรำข้าวมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าทางเคมีมากกว่าน้ำปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง ในขณะที่องค์ประกอบของกรดไขมัน (□able 9) ในน้ำมันรำข้าวและน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบใกล้เคียงกันและมีปริมาณสูงกว่าน้ำมันปาล์มมาก และกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว ดังนั้นน้ำมันรำข้าวและน้ำมันถั่วเหลืองน่าจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีสอดคล้องกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะคุณภาพของน้ำมันเบื้องต้นที่ศึกษาพบว่าน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองผลิตก่อนทำการทดลอง 1 เดือนในขณะที่น้ำมันรำข้าวผลิตก่อนทำการทดลอง 2 เดือน ซึ่งมีหลายปัจจัยที่อาจทำให้น้ำมันมีการเสื่อมคุณภาพลงอย่างช้าๆในระหว่างการเก็บ เช่น แสง อุณหภูมิที่เก็บ เป็นต้น ทำให้น้ำมันรำข้าวมีค่าทางเคมีเบื้องต้น (□able 8) มากกว่าน้ำมันถั่วเหลืองและทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าทางเคมีในระหว่างให้ความร้อนมากกว่าน้ำมันถั่วเหลือง สอดคล้องกับรายงานงานของ Naz และคณะ (2005) น้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลือง เมื่อสัมผัสอากาศและแสงที่อุณหภูมิห้องวันละ 10-12 ชั่วโมงเป็นเวลา 30 วัน น้ำมันทั้งสามชนิดมีค่าเพอร์ออกไซด์และพาราอะนิสิดีนเพิ่มขึ้น

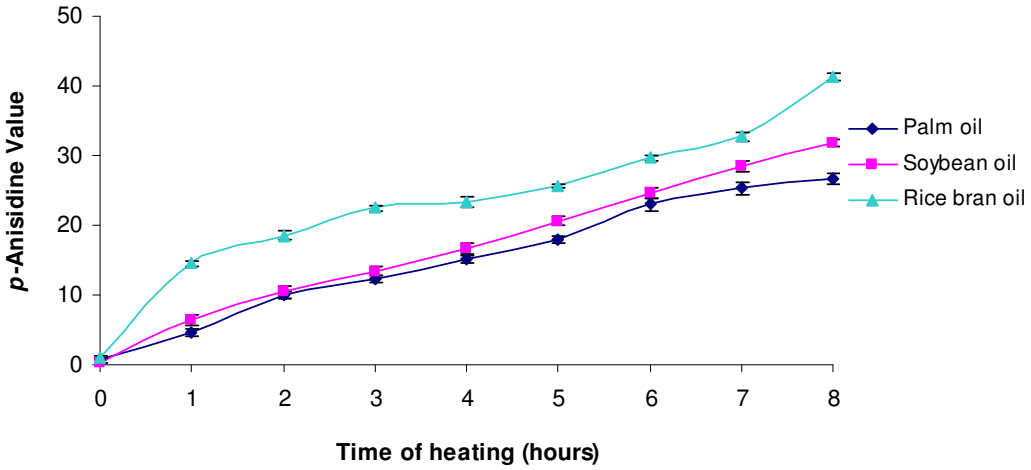

Figure 12. The changes in *p*-anisidine value during heating the oil at 190 ± 2 °C

การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมัน ที่ผ่านการให้ความร้อนแสดงใน Table 10 ค่าสีของน้ำมันในระบบ CIE ซึ่งแสดงในรูป L^*, a^* และ b^* ซึ่งค่า L^* คือค่าความสว่างของสีในน้ำมัน ค่า a^* เป็นค่าที่บอกถึงความเขียวและแดงของผลิตภัณฑ์ ถ้าค่า a^* เป็นบวกจะมีสีไปทางสีแดง ถ้าค่า a^* เป็นลบจะมีสีไปทางสีเขียว และค่า b^* เป็นค่าที่บอกถึงความเป็นสีน้ำเงินและเหลืองของผลิตภัณฑ์ ถ้า b^* มีค่าเป็นบวกจะมีสีไปทางสีน้ำเงิน ถ้า b^* มีค่าเป็นลบจะมีสีไปทางสีเหลือง พบว่าในน้ำมันทั้งสามชนิดที่ศึกษามีค่าความสว่าง (L^*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น สำหรับค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาในการความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับในน้ำมันถั่วเหลืองที่มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากสีเริ่มต้นของน้ำมันที่แตกต่างกัน (Table 9) จะเห็นว่าน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าวมีค่าสีเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกันทั้งค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันทั้งสองชนิดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ในขณะที่น้ำมันถั่วเหลืองนั้นมีค่าสีเริ่มต้นต่างจากน้ำมันทั้งสองชนิด การเปลี่ยนแปลงค่าสีในน้ำมันจึงต่างกันไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันบริโภคทั้งสามชนิด เมื่อให้ความร้อนในเวลาที่นานขึ้น ก็ทำให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้นแต่จะเข้มขึ้นในโทนสีใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับสีน้ำมันเริ่มต้นของน้ำมันแต่ละชนิดด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงได้แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมของน้ำมัน (ΔE) จากน้ำมันเริ่มต้นใน Figure 13 เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงสีน้ำมันให้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยจากภาพจะเห็นได้ว่าน้ำมันทั้งสามชนิดมีการเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันทั้งสามชนิด พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองมี

การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันมากที่สุดที่เวลาการให้ความร้อนเดียวกัน รองลงมาเป็นน้ำมันปาล์มและน้ำมันรำข้าว Abdulkarim และคณะ (2007) อธิบายว่าการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันทอดเป็นตัวบ่งชี้ที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันทอดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน สีของน้ำมันที่เข้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการสะสมของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ระเหย เช่น ไตรเอซิลกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ เป็นต้น

การเปลี่ยนแปลงความหนืดในน้ำมันเมื่อให้ความร้อนแสดงใน Figure 14 พบว่าน้ำมันทั้งสามชนิดมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น โดยน้ำมันรำข้าวเมื่อให้ความร้อนในช่วงชั่วโมงที่ 4 ไปถึงชั่วโมงที่ 5 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงความหนืดมาก ในขณะที่น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองจะมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดความหนืดมาก ในชั่วโมงที่ 6 ไปถึงชั่วโมงที่ 7 และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความหนืด น้ำมันรำข้าวจะมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดมากที่สุด รองลงมาเป็นน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง ตามลำดับ การเพิ่มของความหนืดอาจเนื่องมาจากการก่อตัวของสารพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ความหนืดในน้ำมันที่เพิ่มขึ้นจึงเป็นการเพิ่มระดับการเสื่อมเสียของน้ำมันด้วย (Abdulkarim *et al*., 2007)

Table 10. The changes of oil color during heating at 190 ± 2 °C

Time of heating (h)	Palm oil*			Soybean oil*			Rice bran oil*		
	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**
0	96.7 ± 0.02^{i}	-7.5 ± 0.01^{a}	47.1 ± 0.01^{a}	101.5 ± 0.04^{g}	-3.7 ± 0.02^{i}	13.4 ± 0.02^{a}	96.2 ± 0.04^{h}	-6.0 ± 0.01^{a}	46.4 ± 0.03^{a}
1	95.3 ± 0.04^{h}	-6.1 ± 0.02^{b}	52.6 ± 0.03^{b}	100.5 ± 0.03^{f}	-5.2 ± 0.01^{h}	22.7 ± 0.02^{b}	95.9 ± 0.08^{g}	-5.5 ± 0.01^{b}	48.8 ± 0.05^{b}
2	94.8 ± 0.00^{g}	-5.5 ± 0.02^{c}	55.6 ± 0.04^{c}	100.5 ± 0.03^{ef}	-5.5 ± 0.00^{g}	22.8 ± 0.01^{c}	95.6 ± 0.02^{f}	-5.4 ± 0.01^{c}	51.1 ± 0.03^{c}
3	94.4 ± 0.00^{f}	-5.1 ± 0.01^{d}	58.3 ± 0.01^{d}	100.4 ± 0.01^{e}	-5.9 ± 0.00^{f}	24.2 ± 0.03^{d}	95.2 ± 0.07^{e}	-5.3 ± 0.01^{d}	54.5 ± 0.03^{d}
4	94.2 ± 0.01^{e}	-5.1 ± 0.00^{e}	61.2 ± 0.05^{e}	100.4 ± 0.01^{e}	-6.5 ± 0.01^{e}	25.7 ± 0.00^{e}	94.8 ± 0.04^{d}	-5.2 ± 0.01^{e}	58.1 ± 0.04^{e}
5	94.0 ± 0.01^{d}	-4.7 ± 0.01^{f}	63.2 ± 0.02^{f}	100.2 ± 0.05^{d}	-7.5 ± 0.01^{d}	31.3 ± 0.05^{f}	94.9 ± 0.04^{d}	-5.0 ± 0.01^{f}	58.5 ± 0.02^{f}
6	93.8 ± 0.01^{c}	-4.5 ± 0.01^{g}	65.1 ± 0.01^{g}	100.1 ± 0.02^{c}	-8.1 ± 0.01^{c}	34.5 ± 0.01^{g}	94.6 ± 0.03^{c}	-4.8 ± 0.01^{g}	61.1 ± 0.03^{g}
7	93.7 ± 0.01^{b}	-4.5 ± 0.01^{g}	65.2 ± 0.03^{h}	99.7 ± 0.02^{b}	-8.5 ± 0.02^{b}	37.9 ± 0.02^{h}	94.1 ± 0.04^{b}	-4.3 ± 0.01^{h}	64.2 ± 0.01^{h}
8	93.6 ± 0.00^{a}	-4.3 ± 0.01^{h}	66.0 ± 0.02^{i}	99.3 ± 0.02^{a}	-8.8 ± 0.00^{a}	42.8 ± 0.04^{i}	93.6 ± 0.04^{a}	-3.8 ± 0.01^{i}	67.6 ± 0.03^{i}

* Mean value ± standard deviation (SD) from triplicate determinations.

$^{a–i}$ Means in a column followed by different superscript are significant differences ($p < 0.05$).

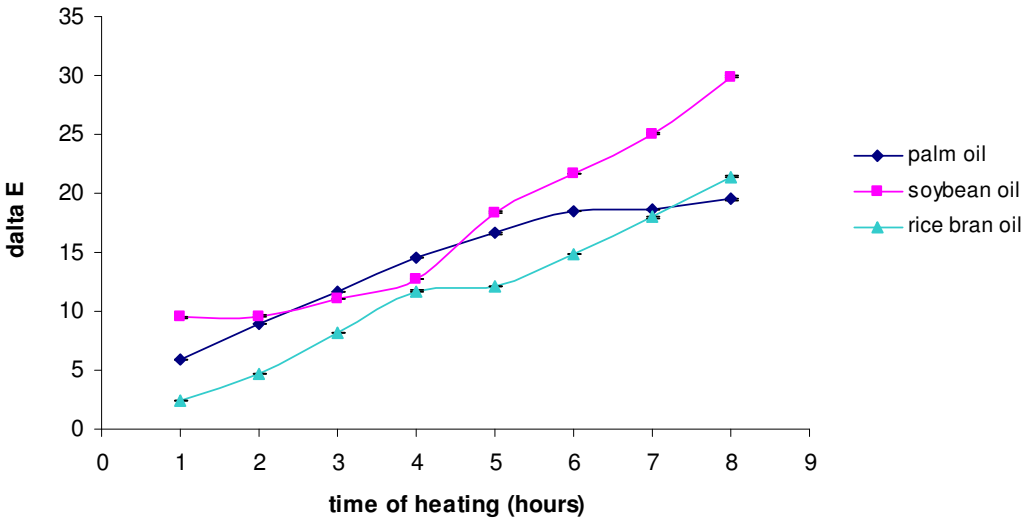

Figure 13. The changes in ΔE of oil during heating at 190 ± 2 °C

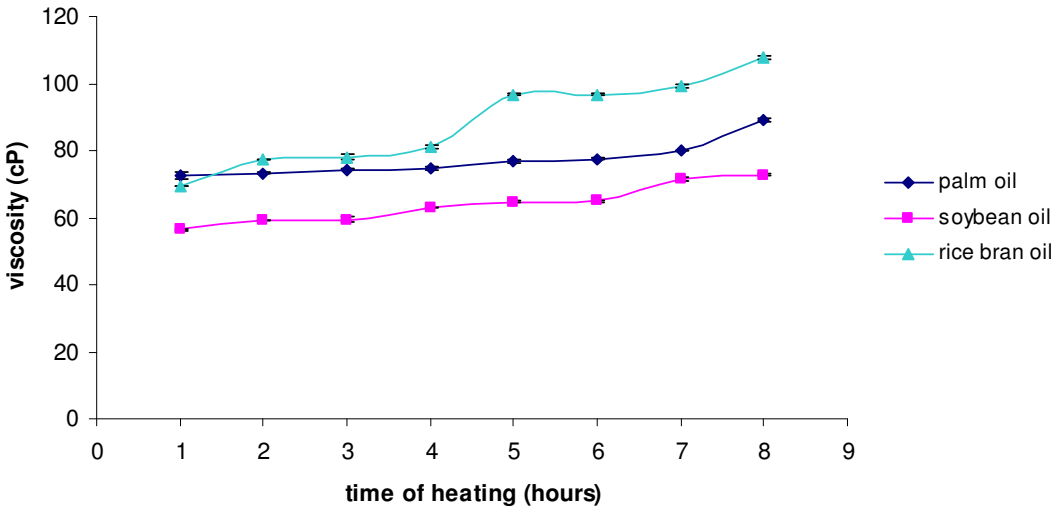

Figure 14. The changes in viscosity value of oil during heating at 190 ± 2 °C

จากการทดลองความคงทนต่อความร้อนของน้ำมันทั้งสามชนิดเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น พบว่าน้ำมันรำข้าวมีความคงทนต่อความร้อนน้อยที่สุด ในขณะที่น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองมีความคงทนต่อความร้อนใกล้เคียงกัน มีรายงานว่าสารต้านอนุมูลอิสระโดยธรรมชาติสามารถลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วมได้ ซึ่งในน้ำมันปาล์มพบว่ามีสารแคโรทีน (carotenes) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นสารประกอบหลักที่จะทำปฏิกิริยากับเรดิคัลอิสระในน้ำมัน (Schroeder *et al.*, 2006) อีกทั้งจากการศึกษาของ

Schroeder และคณะ (2006) ระบุว่าโทโคไตรอีนอล (tocotrienols) และแคโรทีนในน้ำมันปาล์มจะช่วยเสริมฤทธิ์กันลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันระหว่างทอดมันฝรั่งชนิดแผ่นที่อุณหภูมิ 163 องศาเซลเซียส แต่ถึงอย่างไรน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองเมื่อให้ความร้อนติดต่อกันเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ยังคงมีความคงทนต่อความร้อนได้ใกล้เคียงกัน จึงนำน้ำมันทั้งสองชนิดไปศึกษาในขั้นต่อไป

3. ศึกษาความคงทนต่อความร้อนของน้ำมันระหว่างทอด

จากการทดลองทอดน่องไก่ในน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองต่อเนื่องจนครบห้าซ้ำ พบว่าน้ำมันทั้งสองชนิดนั้นมีค่าเพอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าพาราอะนิสิดีนเพิ่มขึ้นตามจำนวนซ้ำของการทอดที่เพิ่มขึ้นดัง able 11 โดยค่าพาราอะนิสิดีนในน้ำมันถั่วเหลืองจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับรายงายของ Naz และคณะ (2005) ว่าเมื่ออาหารถูกทอดในน้ำมัน อุณหภูมิที่ทอด อากาศและน้ำ จะเป็นตัวตั้งต้นทำให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆซึ่งจะเห็นผลการเปลี่ยนแปลงในน้ำมันทอดชัดเจนกว่าการให้ความร้อนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากอาหารที่ทอดนั้นจะมีผลต่อองค์ประกอบของน้ำมันที่ทอด โดยอาหารที่มีไขมันสูง เช่น ไก่ทอด เมื่อทอดจะมีน้ำมันบางส่วนออกมาระหว่างที่ทอดและแทนที่ในน้ำมัน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนและมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบน้ำมันในระหว่างกระบวนการทอด (Clark and Serbia, 1991) ประกอบกับองค์ประกอบกรดไขมันไม่อิ่มตัวของน้ำมันถั่วเหลืองที่มีสูงกว่าน้ำมันปาล์มมาก (Basiron, 1996; Michael Eskin *et al*., 1996) ทำให้เกิดออกซิเดชันได้มากกว่าและจะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ตามรายงานของ Abdulkarim และคณะ (2007) ในตัวอย่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองเมื่อทอดมันฝรั่งชนิดแท่ง ที่อุณหภูมิ 185 ± 5 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง/วัน นาน 5 วัน แล้วพบว่าน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าเพอร์ออกไซด์ พาราอะนิสิดีนและปริมาณสารโพลาร์เพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำมันปาล์ม ซึ่งค่าเหล่านี้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมัน นอกจากนี้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ยังมีแคโรทีนอยด์และโทโคฟีรอลอยู่ด้วยซึ่งให้ผลเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นจึงเห็นว่าน้ำมันปาล์มจะมีความคงทนต่อความร้อนมากกว่าน้ำมันถั่วเหลืองเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานาน จึงนำน้ำมันปาล์มไปศึกษาต่อในหัวข้อถัดไป

able 11. he changes in peroxide value, free fatty acid and *p*-anisidine value during deep –fat frying

Number of Batch	Peroxide Value* (mg O_2/kg fat)		Free Fatty Acid* (mg KOH/g fat)		*p*-Anisidine Value*	
	Palm oil	Soybean oil	Palm oil	Soybean oil	Palm oil	Soybean oil
1	1.35 ± 0.18^{a}	1.84 ± 0.09^{a}	0.15 ± 0.00^{a}	0.16 ± 0.00^{a}	2.87 ± 0.07^{a}	8.17 ± 0.11^{a}
2	1.98 ± 0.15^{b}	2.03 ± 0.05^{a}	0.19 ± 0.01^{b}	0.20 ± 0.02^{b}	4.71 ± 0.28^{b}	11.07 ± 0.58^{b}
3	2.79 ± 0.09^{c}	2.28 ± 0.13^{b}	0.20 ± 0.01^{b}	0.22 ± 0.00^{c}	7.41 ± 0.21^{c}	12.72 ± 0.29^{c}
4	2.87 ± 0.02^{c}	2.92 ± 0.13^{c}	0.23 ± 0.01^{c}	0.22 ± 0.00^{c}	9.42 ± 0.21^{d}	15.23 ± 1.04^{d}
5	3.12 ± 0.05^{d}	3.33 ± 0.11^{d}	0.24 ± 0.01^{c}	0.25 ± 0.00^{d}	11.86 ± 0.43^{e}	19.48 ± 0.26^{e}

* Mean value ± standard deviation (SD) of triplicate determinations.

$^{a–e}$ Means in a column followed by different superscript are significant difference ($p < 0.05$).

4. ศึกษาผลของสภาวะการทอดต่อคุณภาพน้ำมันทอดไก่

4.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการทอด

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการทอดต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอดไก่ พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่ทอดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์ (Appendix able E1) โดยน้ำมันที่ทอดที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียสมีค่าเพอร์ออกไซด์น้อยกว่าน้ำมันที่ทอดที่อุณหภูมิ 170 และ 180 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเวลาทอดเพิ่มขึ้นพบว่าทุกอุณหภูมิที่ทอดมีค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (Figure 15) และมีค่ามากที่สุดที่เวลาทอด 18 และ 21 นาที จากภาพจะเห็นว่าน้ำมันที่ทอดที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส มีค่าเพอร์ออกไซด์น้อยกว่าอุณหภูมิ170 และ 180 องศาเซลเซียสและมีแนวโน้มที่ค่าจะคงที่หรือลดลงหากใช้เวลาในการทอดนานกว่าที่ศึกษา ทั้งนี้เป็นเพราะลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสารเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น ตามการอธิบายของ Shahidi และ Wanasundara (2002) ว่าการเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ในช่วงที่ทอดนั้น แสดงว่ามีการก่อตัวของสารเพอร์ออกไซด์

เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้น แต่สารเพอร์ออกไซด์นั้นจะไม่มีความคงตัวภายใต้สภาวะการทอดแบบน้ำมันท่วม สามารถสลายตัวแล้วก่อตัวเป็นสารประกอบคาร์บอนิล (carbonyl compound) และสารประกอบแอลดิไฮด์ (aldehyde compound) ได้ จึงเป็นสาเหตุให้ค่าเพอร์-ออกไซด์ลดลง(Shahidi and Wanasundara, 2002) อุณหภูมิที่สูงขึ้นและเวลาที่ใช้ทอดนานขึ้นจึงเป็นเหตุให้ค่าเพอร์ออกไซด์ลดลง

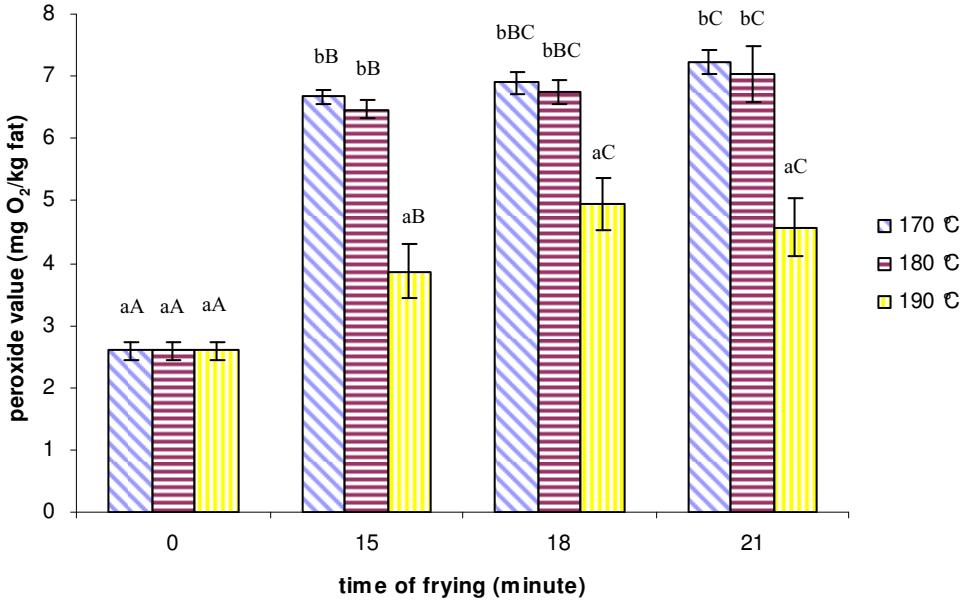

Figure 15. Peroxide value in frying oil after frying at various temperature and time

[a–b] Means in the same time (0, 15, 18 and 21) with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

[A-C] Means in the same temperature (0, 170, 180 and 190) with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน อุณหภูมิทอดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง (Appendix Table E1) โดยการทอดที่อุณหภูมิ 170 และ 180องศาเซลเซียสมีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่แตกต่างกัน($p \geq 0.05$) และการทอดที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียสมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากที่สุด (Figure 16) และเมื่อเวลาการทอดเพิ่มขึ้นในทุกอุณหภูมิมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณกรดไขมันอิสระในไขมันและน้ำมันสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การเสื่อมสภาพของน้ำมันจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรเอซิลกลี

เซอไรด์และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันตรงตำแหน่งพันธะคู่ (Abdulkarim *et al*., 2007)

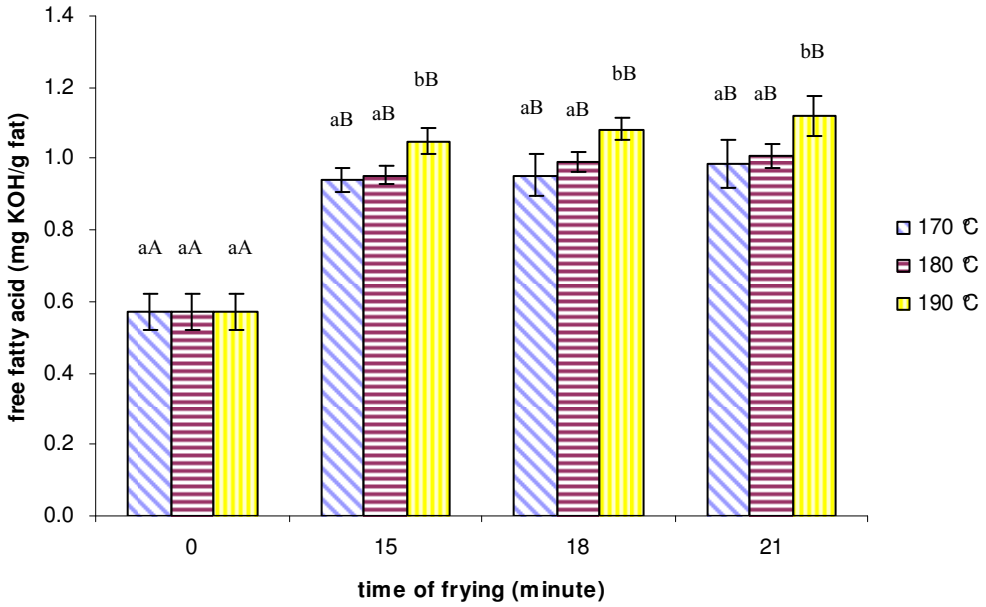

Figure 16. Free fatty acid in frying oil after frying at various temperature and time

[a–b] Means in the same time (0, 15, 18 and 21) with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

[A-B] Means in the same temperature (0, 170, 180 and 190) with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

การเปลี่ยนแปลงค่าพาราอะนิสิดีนแสดงดัง Figure 17 โดยอุณหภูมิและเวลาทอดเป็นปัจจัยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นรวมถึงเป็นปัจจัยร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงค่าที่เกิดขึ้น (Appendix Table E1) จากภาพพบว่าค่าพาราอะนิสิดีนมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาการทอดเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขั้นปฐมภูมิที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ไฮโดรเพอร์-ออกไซด์) มีความคงตัวน้อย สามารถสลายตัวแล้วก่อตัวเป็นสารประกอบอื่นได้ (สารประกอบแอลดีไฮลิก) และด้วยวิธีการวัดค่าพาราอะนิสิดีนนั้น เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดในขั้นทุตติยภูมิในน้ำมันด้วยการวัดปริมาณแอลดีไฮด์ที่เกิดขึ้น วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่ใช้ร่วมกับการวัดค่าเพอร์ออกไซด์เพื่อช่วยอธิบายการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน (Abdulkarim *et al*., 2007) จากผลการทดลองพบว่ามีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Houhoula และคณะ (2002) ซึ่งรายงานว่าเมื่อนำน้ำมันเมล็ดฝ้าย (cottonseed oil) มาทอดมันฝรั่งชนิดแผ่นที่อุณหภูมิ 155 175 และ 195 องศา-

เซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมงโดยไม่มีการเติมน้ำมันเพิ่ม พบว่าค่าพาราอะนิสิดีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น โดยอัตราในการเพิ่มขึ้นอยู่กับเวลาในการทอด และการศึกษาของ Yagi และ Vasishtha (1996) เมื่อทอดมันฝรั่งชนิดแผ่นแบบน้ำมันท่วมในน้ำมันถั่วเหลือง ที่อุณหภูมิ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิสูงกว่าจะเพิ่มการเสื่อมเสียของน้ำมันมากกว่า โดยมีผลิตภัณฑ์ที่ไม่สลายตัว สีน้ำมัน ความหนืดและปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นและค่าไอโอดีนมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิการทอดเพิ่มขึ้น

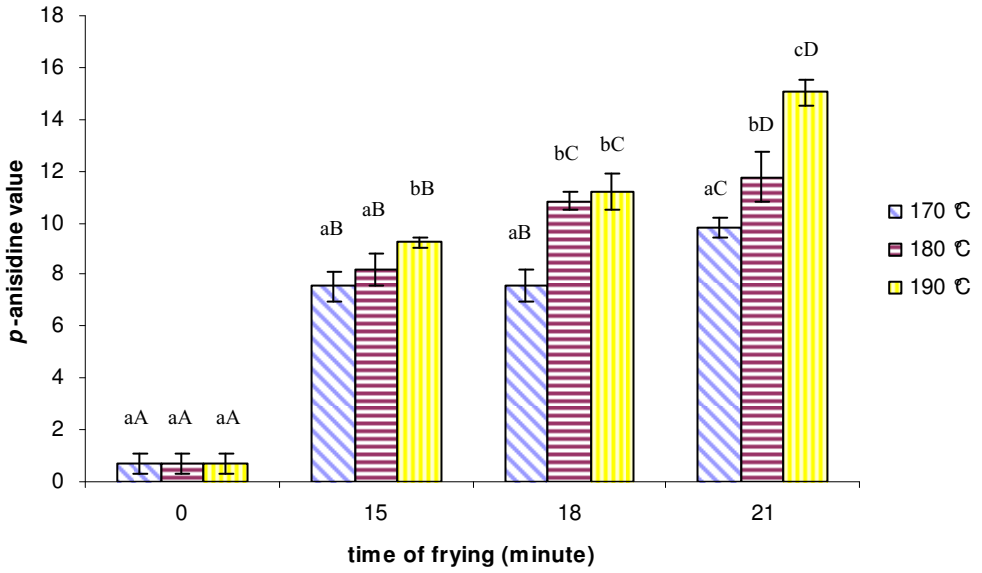

Figure 17. *p*-Anisidine value in frying oil after frying at various temperature and time

[a–c] Means in the same time (0, 15, 18 and 21) with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

[A-D] Means in the same temperature (0, 170, 180 and 190) with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงสีและความหนืดในน้ำมันระหว่างการทอดไก่ที่อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ต่างๆกัน แสดงใน Table 12 และ Table 13 ตามลำดับ โดยทั้งอุณหภูมิและเวลาทอดเป็นปัจจัยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมัน (Appendix Table E2) พบว่าเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความสว่าง (L^*) ในน้ำมันลดลงในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ในน้ำมันที่มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้นค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ในน้ำมันลดลง ส่วนค่าสีแดง (a^*) ในน้ำมันที่มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเมื่อเวลาทอดและอุณหภูมิในการทอดเพิ่มขึ้น จะทำให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้นตามไปด้วย ส่วนการเปลี่ยนแปลงความหนืดในน้ำมันทอดพบว่าเวลาทอดเป็นปัจจัยที่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดในน้ำมัน(Appendix Table E3) โดยเมื่อเวลาทอดเพิ่มขึ้นน้ำมันจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนอุณหภูมิที่ทอดจะมีผลต่อความหนืดในการทอดที่ 15 นาที โดยที่อุณหภูมิ 180 และ 190 องศาเซลเซียสจะมีความหนืดมากกว่าอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในขณะที่เวลา 18 และ 21 นาที ในแต่ละอุณหภูมิความหนืดไม่มีความแตกต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าสีและความหนืดของน้ำมันเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ระเหยที่สะสมอยู่ในน้ำมันระหว่างการทอด เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ไม่ระเหยนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งที่ก่อตัวในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม ซึ่งสารเหล่านี้เกิดขึ้นมาก จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยความร้อนและปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจึงเป็นการเพิ่มผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และสะสมอยู่ในน้ำมัน จึงทำให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้นและน้ำมันมีสีเข้มขึ้น (Stevenson *et al*., 1984)

able 12. Color of oil after frying at various temperatures and times

Color parameter	emperature of frying	ime of frying (minute)		
		15	18	21
*L**	170 °C	95.29 ± 0.01^{cC}	95.18 ± 0.01^{cB}	94.71 ± 0.01^{cA}
	180 °C	95.09 ± 0.01^{bC}	94.86 ± 0.00^{bB}	94.61 ± 0.01^{bA}
	190 °C	94.68 ± 0.01^{aC}	94.65 ± 0.01^{aB}	94.21 ± 0.00^{aA}
*a**	170 °C	-5.86 ± 0.01^{aA}	-5.75 ± 0.01^{aB}	-5.45 ± 0.01^{aC}
	180 °C	-5.54 ± 0.01^{bA}	-5.48 ± 0.02^{bB}	-4.94 ± 0.01^{bC}
	190 °C	-4.52 ± 0.01^{cA}	-4.53 ± 0.01^{cA}	-3.93 ± 0.01^{cB}
*b**	170 °C	51.39 ± 0.01^{cA}	51.87 ± 0.01^{cB}	52.69 ± 0.01^{cC}
	180 °C	49.47 ± 0.01^{bA}	49.98 ± 0.01^{bB}	51.76 ± 0.01^{bC}
	190 °C	49.42 ± 0.02^{aA}	49.45 ± 0.01^{aB}	49.49 ± 0.01^{aC}

* Mean value ± standard deviation (SD) from quadruplicate determinations.

$^{a–c}$ Means in the same column of each parameter (*L**, *a** and *b**) with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

$^{A-C}$ Means in the same row of each parameter (*L**, *a** and *b**) with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

able 13. Viscosity of frying oil after frying at various temperatures and times

emperature of frying	Viscosity value* (cP)		
	15 min	18 min	21 min
170 °C	69.0 ± 0.2^{aA}	69.3 ± 0.3^{aAB}	69.8 ± 0.1^{aB}
180 °C	69.8 ± 0.2^{bA}	69.5 ± 0.3^{aA}	69.7 ± 0.2^{aB}
190 °C	69.6 ± 0.3^{bA}	69.6 ± 0.1^{aA}	70.0 ± 0.1^{aB}

* Mean value ± standard deviation (SD) from quadruplicate determinations.

$^{a–b}$ Means in a column followed by different superscript are significant differences ($p < 0.05$).

$^{A-C}$ Means in a row followed by different superscript are significant differences ($p < 0.05$).

4.1.3 ปริมาณไขมันที่ดูดซับและการเปลี่ยนแปลงค่าสีผิวภายนอกของน่องไก่

ปริมาณไขมันที่ดูดซับในน่องไก่เมื่อทอดที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆแสดงใน able 14 จากการศึกษาพบว่าตัวอย่างไก่ทอดจะดูดซับน้ำมันมากที่บริเวณส่วนหนัง มีเพียงเล็กน้อยที่ถูกดูดซับในเนื้อไก่ ซึ่งเป็นลักษณะการดูดซึมน้ำมันที่เกิดขึ้นเมื่อการทอดเสร็จสิ้นและอาหารทอดเย็นลง หนังไก่เป็นส่วนนอกสุดของชิ้นอาหารน้ำมันส่วนใหญ่จึงถูกดูดซับอยู่ที่หนังไก่ทอด ซึ่งอุณหภูมิและเวลาที่ทอดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการดูดซับน้ำมันในหนังไก่ (Appendix able E3) โดย การดูดซับน้ำมันในหนังไก่ทั้งสามอุณหภูมิที่ทอด (170 180 และ 190 องศาเซลเซียส) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ในขณะที่เวลาทอด 15 นาที มีแนวโน้มปริมาณไขมันเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแต่ที่เวลาทอด 18 และ 21 นาทีปริมาณไขมันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการดูดซับน้ำมันในเนื้อไก่ในขณะที่อุณหภูมิในการทอดเพิ่มมากขึ้นพบว่าปริมาณไขมันในเนื้อไก่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญและเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นพบว่าที่อุณหภูมิทอด 170 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ที่อุณหภูมิทอด 180 และ 190 องศาเซลเซียสไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Bouchon และคณะ (2003) เมื่อทอดมันฝรั่งชนิดแท่งแบบน้ำมันท่วม ที่อุณหภูมิ 155 170 และ 185 องศาเซลเซียส โดยแบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วนคือ น้ำมันที่ดูดซับในโครงสร้างของอาหาร (structural oil) โดยจะดูดซับระหว่างทอด น้ำมันที่ซึมที่ผิวอาหาร (penetrated surface oil) ซึ่งจะซึมสู่ผิวอาหารเมื่ออาหารเย็นตัวและน้ำมันที่ผิวอาหาร (surface oil) พบว่ามีน้ำมันที่ดูดซับในโครงสร้างของอาหารเพียงเล็กน้อยและค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการดูดซับน้ำมันทั้งหมด รวมถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อทอดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนั้นการดูดซับน้ำมันในมันฝรั่งทอดชนิดแท่งจะเกิดขึ้นมากที่ผิวของมันฝรั่ง เมื่อเวลาการทอดเพิ่มขึ้นจะเห็นว่าน้ำมันที่ซึมที่ผิวอาหารเพิ่มขึ้นและน้ำมันที่ผิวอาหารลดลง เนื่องจากในระหว่างการทอด น้ำจะเคลื่อนที่ออกจากชิ้นอาหาร ทำให้น้ำมันสามารถเคลื่อนตัวเข้าไปในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของชิ้นอาหารได้ จึงทำให้เกิดการดูดซับน้ำมันและเมื่ออาหารเย็นตัว น้ำมันที่ผิวอาหารจะถูกดูดเข้าไปในโครงสร้างที่เป็นรูพรุน แต่ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจมีความชื้นในชิ้นอาหารเข้ามาเกี่ยวข้องเนื่องจากตัวอย่างหาปริมาณไขมันโดยที่ไม่ได้หาความชื้นก่อน

able 14. Fat content of chicken drumsticks after frying at various temperatures and times

Fat content (g/100 g wet basis)	emperature of frying	ime of frying (minute)		
		15	18	21
meat	170 °C	1.56 ± 0.17^{aA}	1.86 ± 0.08^{aA}	2.74 ± 0.28^{aB}
	180 °C	1.95 ± 0.38^{aA}	2.20 ± 0.01^{aA}	2.87 ± 0.33^{aA}
	190 °C	2.53 ± 1.10^{aA}	2.55 ± 0.55^{aA}	2.90 ± 0.14^{aA}
skin	170 °C	24.72 ± 0.48^{aA}	28.79 ± 1.06^{aB}	33.36 ± 1.00^{aC}
	180 °C	28.13 ± 2.22^{abA}	29.91 ± 0.33^{aAB}	32.68 ± 0.66^{aB}
	190 °C	29.27 ± 0.16^{bA}	30.68 ± 0.49^{aA}	36.54 ± 1.75^{aB}

* Mean value ± standard deviation (SD) from quadruplicate determinations.

[a–b] Means in the same column of each parameter (fat in meat and fat in skin) with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

[A-C] Means in the same row of each parameter (fat in meat and fat in skin) with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

จากการทดลองทอดไก่ที่อุณหภูมิและเวลาทอดที่แตกต่างกันตัวอย่างไก่มีค่าสีผิวภายนอกแสดงดัง able 15 โดยอุณหภูมิและเวลาทอดเป็นปัจจัยที่ผลผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีไก่ (Appendix able E4) พบว่าทั้งค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออุณหภูมิการทอดเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาการทอดเพิ่มขึ้น การลดลงของค่าความสว่าง (L^*) อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของปฏิกิริยาเมลลาร์ดและการเกิดคาราเมไลเซชันเมื่อทอดที่อุณหภูมิสูง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบเคมีโดยธรรมชาติ เช่น วอเตอร์แอกทิวิตี้ พีเอช องค์ประกอบทางเคมีของอาหารและอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยา (Carabasa and Ibarz, 2000) ตามรายงานของ Ngadi และคณะ (2007) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของนักเก็ตไก่ เมื่อทอดที่อุณหภูมิ 190 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60, 90, 120, 180, 240 และ 300 วินาที พบว่าเวลาที่ใช้ทอดมีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) ของนักเก็ตไก่โดยเมื่อเวลาการทอดเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความสว่าง (L^*) มีค่าลดลง และจากรายงานของ Krokida และคณะ (2001) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของมันฝรั่งชนิดแท่ง เมื่อทอดที่อุณหภูมิ 150, 170 และ190 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 3, 5, 7, 10, 13, 15 และ 20 นาที พบว่าอุณหภูมิในการทอดมีผลต่อค่า

ความสว่างของมันฝรั่ง โดยเมื่ออุณหภูมิการทอดเพิ่มมากขึ้น ที่เวลาทอดเดียวกันค่าความสว่างจะมีค่าลดลง

able 15. Color of chicken drumsticks after frying at various temperatures and times

Color parameter	Frying temperature	Frying time (minute)		
		15	18	21
*L**	170 °C	44.54 ± 1.09^{cB}	40.08 ± 2.11^{bA}	40.87 ± 0.40^{bA}
	180 °C	40.54 ± 0.28^{bB}	40.34 ± 0.26^{bB}	36.28 ± 0.52^{aA}
	190 °C	37.34 ± 0.84^{aA}	36.94 ± 0.38^{aA}	36.21 ± 0.27^{aA}
*a**	170 °C	14.40 ± 0.54^{bA}	14.67 ± 0.55^{bAB}	15.48 ± 0.43^{cB}
	180 °C	15.45 ± 0.52^{bB}	16.17 ± 0.78^{bB}	12.79 ± 0.52^{bA}
	190 °C	11.01 ± 0.49^{aA}	11.78 ± 1.31^{aA}	10.92 ± 0.45^{aA}
*b**	170 °C	28.26 ± 0.18^{cB}	24.22 ± 2.01^{bA}	24.87 ± 0.40^{cA}
	180 °C	24.18 ± 0.60^{bB}	24.05 ± 1.04^{bB}	19.84 ± 0.91^{bA}
	190 °C	18.75 ± 0.67^{aA}	18.52 ± 1.27^{aA}	17.85 ± 0.40^{aA}

* Mean value ± standard deviation (SD) from quadruplicate determinations.

[a–c] Means in the same column of each parameter (L^*, a^* and b^*) with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

[A-C] Means in the same row of each parameter (L^*, a^* and b^*) with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

สีเป็นลักษณะคุณภาพที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารทอดซึ่งเป็นลักษณะปรากฏที่สามารถสังเกตได้ อีกทั้งยังเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าการเชื่อมโยงระหว่างสีและการยอมรับของผู้บริโภค เป็นเรื่องของคุณภาพอาหารตามหลักจิตวิทยาทั่วไป (Ngadi *et al*., 2007) จากการสำรวจจากตัวอย่างน่องไก่ที่ขายใน อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา พบว่าค่าสีผิวภายนอกของน่องไก่ทอดส่วนใหญ่มีค่าความสว่าง (L^*) อยู่ในช่วง 39-42 ค่าสีแดง (a^*) อยู่ในช่วง 15-18 และค่าสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง 24-28 จากตัวอย่างน่องไก่ 30 ตัวอย่าง (3 ตัวอย่างต่อร้าน จำนวน 10 ร้าน) ซึ่งจากการทดลองตัวอย่างไก่ที่ทอดด้วยอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลาทอด 15, 18 และ 21 นาที กับที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลาทอด 21 นาที พบว่าตัวอย่างไก่มีสีผิว

ภายนอกเข้มกว่าตัวอย่างที่ทอดด้วยอุณหภูมิและเวลาอื่น ในขณะที่ตัวอย่างไก่ที่ทอดด้วยอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลาทอด 15 นาที มีค่าสีผิวภายนอกอ่อนกว่าตัวอย่างที่สำรวจ และตัวอย่างไก่ที่ทอดด้วยอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลาทอด 18 และ 21 นาทีและทอดด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลาทอด 15 และ 18 นาที มีค่า L^*, a^* และ b^* ของสีผิวภายนอกอยู่ในช่วงเดียวกับตัวอย่างน่องไก่ที่สำรวจ

จากการทดลองทอดน่องไก่ที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน พบว่าการทอดด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นและใช้เวลาทอดที่นานกว่า จะทำให้น้ำมันมีแนวโน้มที่จะการเสื่อมเสียมากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา18 นาที ไปศึกษาต่อในส่วนของอัตราส่วนน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่ เนื่องจากมีแนวโน้มที่ทำให้น้ำมันเสื่อมเสียมากกว่าและในขณะที่ให้สีผิวภายนอกของตัวอย่างน่องไก่มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับตัวอย่างน่องไก่ทอดที่ขายทั่วไปในหาดใหญ่ด้วย

4.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่

อัตราส่วนน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันแสดงใน Table 16 พบว่าค่าเพอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าพาราอะนิสิดีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่ทอด ค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นจนกระทั่งที่อัตราส่วน 10:1.5 หลังจากนั้นจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณกรดไขมันอิสระมีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ขณะที่ค่าพาราอะนิสิดีนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากอัตราส่วน 10:2.5 ไป 10:3.0 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าในระหว่างการทอดนั้น น้ำจากวัตถุดิบสามารถระเหยออกมาได้และบางส่วนถูกแทนที่ด้วยน้ำมันระหว่างทอด ดังนั้นการเพิ่มปริมาณไก่ในน้ำมันทอดจึงเหมือนกับเป็นการเพิ่มน้ำที่มาจากวัตถุดิบลงในน้ำมัน ซึ่งน้ำจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดกรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้น (Fujisaki *et al*., 2000) อีกทั้งถ้ามีในปริมาณมากสามารถเพิ่มอัตราการเสื่อมสภาพของน้ำมันได้ (Stevenson *et al*., 1984)

การเปลี่ยนแปลงสีและความหนืดของน้ำมันแสดงใน Table 17 พบว่าน้ำมันมีสีเข้มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่เพิ่มขึ้น ทั้งค่าสีเหลือง (b^*) และสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นและค่าความสว่าง (L^*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนความหนืดของน้ำมันพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออัตราส่วนของน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย อาจเป็นเพราะในการทดลองใช้น้ำมันใหม่และใช้ทอดไก่เพียงครั้งเดียว

Table 16. Peroxide value, free fatty acid and *p*-anisidine value of frying oil after frying at various ratio of oil to chicken drumsticks

Ratio of oil to chicken drumsticks	Peroxide value (mg O_2/kg fat)*	Free Fatty Acid (mg KOH/g fat)*	*p*-Anisidine value*
10 : 0.5	4.43 ± 0.09[a]	0.20 ± 0.01[a]	0.81 ± 0.05[a]
10 : 1.0	4.86 ± 0.16[b]	0.21 ± 0.00[ab]	1.27 ± 0.07[b]
10 : 1.5	5.47 ± 0.24[c]	0.21 ± 0.01[b]	1.32 ± 0.04[c]
10 : 2.0	5.71 ± 0.24[c]	0.21 ± 0.00[ab]	2.04 ± 0.24[d]
10 : 2.5	5.68 ± 0.19[c]	0.21 ± 0.00[ab]	2.30 ± 0.15[e]
10 : 3.0	5.76 ± 0.11[c]	0.22 ± 0.00[b]	4.06 ± 0.02[f]

* Mean value ± standard deviation (SD) from triplicate determinations.

[a–f] Means in a column followed by different superscript are significant differences ($p < 0.05$).

Table 17. Color and viscosity of oil after frying at various ratio of oil to chicken drumsticks

Ratio of oil : chicken drumsticks	The color of frying oil*			Viscosity Value* (cP)
	*L**	*a**	*b**	
10 : 0.5	95.90 ± 0.04[e]	-6.92 ± 0.03[a]	49.04 ± 0.04[a]	70.4 ± 0.8[a]
10 : 1.0	94.90 ± 0.02[d]	-6.03 ± 0.01[b]	50.72 ± 0.04[b]	70.0 ± 0.5[a]
10 : 1.5	93.85 ± 0.05[c]	-5.79 ± 0.00[c]	51.27 ± 0.06[c]	69.7 ± 0.6[a]
10 : 2.0	94.73 ± 0.02[b]	-5.48 ± 0.00[d]	51.42 ± 0.01[d]	69.7 ± 0.3[a]
10 : 2.5	94.68 ± 0.03[b]	-5.44 ± 0.01[e]	51.58 ± 0.03[e]	70.3 ± 0.7[a]
10 : 3.0	94.47 ± 0.06[a]	-5.08 ± 0.01[f]	51.74 ± 0.06[f]	69.9 ± 0.0[a]

* Mean value ± standard deviation (SD) from triplicate determinations.

[a–f] Means in a column followed by different superscript are significant differences ($p < 0.05$).

การเปลี่ยนแปลงสีผิวภายนอกของน่องไก่เมื่อทอดที่อัตราส่วนน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่ที่แตกต่างกันแสดงดัง able 18 พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีของไก่ทอดในด้านความสว่าง (L^*) และสีแดง (a^*) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่เพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีของไก่ทอดมีแนวโน้มเหมือนกับการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันทอด ซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องกับรายงานของ Paul และ Mittal (1996) ที่ศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันคาโนล่าระหว่างทอดต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ไก่ทอด ซึ่งพบว่าปัจจัยเรื่องสีมีความสัมพันธ์ต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมันระหว่างทอด การดูดซับน้ำมันในตัวอย่างไก่ทอดเมื่อทอดที่อัตราส่วนน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่ที่แตกต่างกันแสดงดัง able 19 พบว่าปริมาณไขมันส่วนใหญ่จะถูกดูดซับในส่วนหนังของไก่ทอดเช่นเดียวกับการศึกษาในข้อ 4.1 ที่ผ่านมา ซึ่งปริมาณไขมันในเนื้อไก่อยู่ในช่วง 1.71-3.19 กรัมต่อ 100 กรัมโดยน้ำหนัก ในขณะที่ปริมาณไขมันในหนังไก่มีค่าอยู่ในช่วง 29.02-39.77 กรัมต่อ 100 กรัมโดยน้ำหนัก และเมื่ออัตราส่วนน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่เพิ่มมากขึ้น พบว่าปริมาณไขมันที่ดูดซับในเนื้อและหนังไก่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

able 18. he changes of fried chicken color during frying with various oil to chicken ratios at 180 °C for 18 min

Ratio of oil : chicken drumsticks	color of fried chicken *		
	L^*	a^*	b^*
10 : 0.5	39.74 ± 0.78[a]	16.07 ± 0.27[a]	26.25 ± 0.59[c]
10 : 1.0	39.02 ± 1.21[a]	17.01 ± 0.81[a]	24.92 ± 1.58[bc]
10 : 1.5	38.28 ± 0.46[a]	16.69 ± 0.62[a]	22.57 ± 0.39[a]
10 : 2.0	38.67 ± 0.64[a]	16.12 ± 1.91[a]	23.89 ± 0.85[ab]
10 : 2.5	38.29 ± 0.42[a]	17.16 ± 0.03[a]	24.11 ± 0.38[ab]
10 : 3.0	38.86 ± 0.73[a]	16.89 ± 0.17[a]	22.72 ± 0.42[a]

* Mean value ± standard deviation (SD) from triplicate determinations.

[a–c] Means in a column followed by different superscript are significant differences ($p < 0.05$).

Table 19. The changes of fat content in fried chicken during frying with various oil to chicken ratio at 180 °C for 18 min

Ratio of oil : chicken drumsticks	Fat content in fried chicken meat (g/ 100 g wet basis)	Fat content in fried chicken skin (g/ 100 g wet basis)
10 : 0.5	3.19 ± 0.45^{b}	39.67 ± 1.92^{b}
10 : 1.0	1.76 ± 0.35^{a}	39.77 ± 3.63^{b}
10 : 1.5	2.26 ± 0.41^{a}	39.69 ± 1.63^{b}
10 : 2.0	2.30 ± 0.04^{a}	39.66 ± 1.25^{b}
10 : 2.5	1.66 ± 0.05^{a}	34.97 ± 2.14^{ab}
10 : 3.0	1.71 ± 0.13^{a}	29.02 ± 3.15^{a}

* Mean value ± standard deviation (SD) from triplicate determinations.

[a–b] Means in a column followed by different superscript are significant differences ($p < 0.05$).

การทอดที่อัตราส่วนน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่ที่น้อยกว่าอาจทำให้น้ำมันสามารถใช้ได้นานกว่า เนื่องจากคุณภาพของน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ากว่า แต่อย่างไรก็ตามการทอดที่อัตราส่วนน้อยเป็นไปได้ยากที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในทางการค้า เนื่องจากในการทอดไก่ใช้เวลาทอดนานพอสมควร การทอดที่อัตราส่วนน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่น้อยทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้อยในแต่ละครั้ง ทำให้ไม่เพียงพอแต่การเลือกซื้อของผู้บริโภค จึงไม่เป็นที่นิยมใช้ในร้านค้า ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณไก่ที่ 10:3.0 ไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป อีกทั้งอัตราส่วนนี้ยังเป็นอัตราส่วนโดยทั่วไปที่ใช้ในการทอดไก่ในร้านไก่ทอดตลาดอำเภอหาดใหญ่

5. ศึกษาผลการทอดซ้ำต่อคุณภาพน้ำมันทอดไก่

จากการศึกษาการทอดซ้ำในน้ำมันทอดไก่ แบ่งการศึกษาเป็นสองส่วนคือการทอดแบบไม่เติมน้ำมัน (ทอดต่อเนื่อง 30 ครั้ง ภายใน 1 วันและทอดวันละ 10 ครั้งเป็นเวลา 4 วัน โดยมีการกรองน้ำมันเมื่อสิ้นสุดในแต่ละวัน) และการทอดแบบเติมน้ำมันใหม่ 1 ส่วนแทนน้ำมันเก่า ในน้ำมันทั้งหมด 3 ส่วน ทอดวันละ 10 ครั้งเป็นเวลา 7 วันและกรองน้ำมันเมื่อสิ้นสุดในแต่ละวัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์ในระหว่างการทอดซ้ำดังแสดงใน Table 20 โดยการเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์เป็นการวัดเพอร์ออกไซด์หรือไฮโดรเพอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน

ซึ่งจะใช้แสดงปริมาณผลิตภัณฑ์ในขั้นปฐมภูมิของปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน (Goburdhum *et al*, 2000) พบว่าการทอดแบบไม่เติมน้ำมันใหม่ มีผลให้ค่าเพอร์ออกไซด์ในน้ำมันทอดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทอด จากนั้นจึงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนกระทั่งมีค่ามากที่สุดแล้วจึงมีแนวโน้มลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะของสารเพอร์ออกไซด์ที่ไม่มีความคงตัวในขั้นตอนที่ค่าเพอร์ออกไซด์ลดลงเป็นขั้นที่สารเพอร์ออกไซด์สลายตัวเป็นผลิตภัณฑ์อื่นในขั้นทุติยภูมิของปฏิกิริยาออกซิเดชัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Goburdhun และคณะ (2000) เมื่อทอดไก่ในน้ำมันถั่วเหลือง อัตราส่วนไก่ต่อน้ำมันเป็น 1:6 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ทอดครั้งละ 15 นาที ติดต่อกันจนครบ 315 นาทีและไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นในช่วงแรกแล้วจึงลดลงเช่นเดียวกันและรายงานของ Manral และคณะ (2008) เมื่อทอดปลาในน้ำมันดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นานครั้งละ 6 นาที ต่อเนื่องเป็นเวลา 14 ชั่วโมงและไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ พบว่าค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0.1 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อกิโลกรัมไขมันจนมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 28.98 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อกิโลกรัมไขมันในชั่วโมงที่ 12 และลดลงเหลือ 24.88 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อกิโลกรัมไขมันในชั่วโมงที่ 14 จากการศึกษานี้พบว่าการทอดซ้ำภายในวันเดียว ค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นมากที่สุดในการทอดครั้งที่ 10 เท่ากับ 5.93 ± 0.17 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อกิโลกรัมไขมันและการทอดวันละ 10 ครั้งเป็นเวลา 4 วัน มีค่ามากที่สุดในการทอดครั้งที่ 20 (วันที่ 2 ของการทอด) มีค่าเท่ากับ 6.85 ± 0.40 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อกิโลกรัมไขมัน (□able 20) ส่วนการทอดแบบเติมน้ำมันใหม่พบว่ามีค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้นจนการทอดครั้งที่ 10 หลังจากนั้นเมื่อมีการกรองและเติมน้ำมันพบว่าค่าเพอร์ออกไซด์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) จนสิ้นสุดการทอดในครั้งที่ 70 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติมน้ำมันใหม่แทนน้ำมันเก่าก่อนทอดในวันใหม่ ทำให้น้ำมันลดการเสื่อมสภาพลง

เมื่อเปรียบเทียบการทอดซ้ำทุกแบบที่ศึกษาพบว่าการทอดต่อเนื่องภายในวันเดียวมีแนวโน้มการเพิ่มค่าเพอร์ออกไซด์เร็วที่สุด รองลงมาเป็นการทอดวันละ 10 ครั้งและมีการกรองน้ำมัน สุดท้ายคือการทอดวันละ 10 ครั้ง โดยมีการเติมน้ำมันใหม่แทนน้ำมันเก่าและกรองน้ำมันจะมีการเพิ่มค่าเพอร์ออกไซด์ช้าที่สุด

Table 20. The changes in peroxide value during repeated frying oil

Number of frying	Peroxide value (mg O_2/kg fat)*		
	30 batch/day	10 batch/day (filter)	10 batch/day (filter and turnover)
0	0.78 ± 0.08^{a}	0.78 ± 0.08^{a}	0.78 ± 0.08^{a}
5	5.29 ± 0.08^{d}	-	-
10	5.93 ± 0.17^{g}	5.43 ± 0.02^{d}	4.28 ± 0.84^{b}
15	5.60 ± 0.16^{e}	-	-
20	5.62 ± 0.08^{f}	6.85 ± 0.40^{e}	4.91 ± 0.24^{b}
25	4.03 ± 0.14^{c}	-	-
30	3.96 ± 0.05^{b}	4.58 ± 0.37^{c}	5.21 ± 0.50^{b}
40	-	3.47 ± 0.48^{b}	4.42 ± 0.55^{b}
50	-	-	4.36 ± 0.34^{b}
60	-	-	4.48 ± 0.25^{b}
70	-	-	5.06 ± 0.70^{b}

* Mean value ± standard deviation (SD) from triplicate determinations.

[a–g] Means in a column followed by different superscript are significant differences ($p < 0.05$).

การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันระหว่างการทอดซ้ำแสดงในตารางที่ Table 21 พบว่าการทอดซ้ำแบบไม่เติมน้ำมันและเติมน้ำมันใหม่มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับรายงานของ Goburdhun และคณะ (2000) น้ำมันถั่วเหลืองเมื่อทอดไก่ พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ทอดเพิ่มขึ้น อธิบายว่าการเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมัน โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ และไขมันจากผลิตภัณฑ์ที่เคลื่อนที่มาสู่น้ำมัน การเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดไก่มีความสัมพันธ์กับธรรมชาติของไขมันในไก่ คือมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งจำนวนมาก ในระหว่างทอดไขมันจากไก่ที่เคลื่อนตัวมาสู่น้ำมันแล้วถูกไฮโดรไลซ์ รวมถึงการก่อตัวและสะสมของผลิตภัณฑ์ที่ไม่สลายตัวในน้ำมันในปริมาณสูง (Goburdhun *et al.*, 2000) ทั้งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและออกซิเดชันในน้ำมันระหว่างทอดเป็นผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าเพิ่มขึ้น (Fritsch, 1981) โดยจากตารางยังพบว่าการทอดโดยมีการเติมน้ำมันใหม่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ

มากกว่าการทอดแบบไม่เติมน้ำมัน ทั้งนี้อาจเกิดจากการเพิ่มน้ำมันเข้าไปทำให้มีปริมาณไตรกลีเซอ-ไรด์ในน้ำมันที่ยังไม่ถูกไฮโดรไลซ์เข้าไปในน้ำมันและพร้อมที่จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเมื่อเริ่มทำการทอดในวันใหม่จึงพบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่าการไม่เติมน้ำมัน

Table 21. The changes in free fatty acid during repeated frying oil

Number of frying	Free Fatty Acid (mg KOH/g fat)*		
	30 batch/day	10 batch/day (filter)	10 batch/day (filter and turnover)
0	0.19 ± 0.00^{a}	0.19 ± 0.00^{a}	0.19 ± 0.00^{a}
5	0.32 ± 0.00^{b}	-	-
10	0.44 ± 0.00^{c}	0.54 ± 0.02^{b}	1.19 ± 0.03^{b}
15	0.57 ± 0.02^{d}	-	-
20	0.72 ± 0.01^{e}	0.80 ± 0.12^{c}	1.73 ± 0.12^{c}
25	0.87 ± 0.00^{f}	-	-
30	1.06 ± 0.02^{g}	1.04 ± 0.25^{d}	1.87 ± 0.03^{c}
40	-	1.05 ± 0.03^{d}	2.37 ± 0.23^{de}
50	-	-	2.22 ± 0.09^{d}
60	-	-	2.60 ± 0.10^{f}
70	-	-	2.44 ± 0.12^{ef}

* Mean value ± standard deviation (SD) from triplicate determinations.

[a–g] Means in a column followed by different superscript are significant differences ($p < 0.05$).

การเปลี่ยนแปลงค่าพาราอะนิสิดีนในระหว่างการทอดซ้ำแสดงใน Table 22 พบว่าการทอดซ้ำแบบทอด 30 ครั้งภายใน 1 วันมีค่าพาราอะนิสิดีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้นและมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 66.44 ± 0.95 เมื่อสิ้นสุดการทอดครั้งที่ 30 ส่วนการทอดแบบวันละ 10 ครั้งเป็นเวลา 4 วัน และการทอดแบบเติมน้ำมันใหม่บางส่วนในน้ำมันเก่า ทอดวันละ 10 ครั้งเป็นเวลา 7 วัน โดยกรองน้ำมันเมื่อสิ้นสุดในแต่ละวัน พบว่าค่าพาราอะนิสิดีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้น มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 41.24 ± 0.47 เมื่อทอดในครั้งที่ 20 และ 41.17 ± 1.02 เมื่อทอดในครั้งที่ 40 ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงมีค่าลดลงจนสิ้นสุดการทอด เมื่อเปรียบเทียบวิธีการทอดที่ศึกษาพบว่าการทอดต่อเนื่องภายในวัน

เดียวมีแนวโน้มการเพิ่มค่าพาราอะนิสิดีนมากที่สุด การทอดวันละ 10 ครั้งและมีการกรองน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้นรองลงมาและการทอดวันละ 10 ครั้ง โดยมีการเติมน้ำมันใหม่แทนน้ำมันเก่าและกรองน้ำมันจะมีการเพิ่มค่าพาราอะนิสิดีนช้าที่สุด สอดคล้องกับรายงานของ Aladedunye และ Przybylski (2009) ศึกษาการให้ความร้อนน้ำมันคาโนล่าปริมาตร 3.75 ลิตร ที่อุณหภูมิ 185 และ 215 ± 5 องศา-เซลเซียส วันละ 7 ชั่วโมงเป็นเวลา 7 วัน และทอดมันฝรั่งแช่แข็งปริมาณ 200 กรัม ครั้งละ 5 นาที วันละ 8 ครั้ง กรองน้ำมันก่อนการทอดในแต่ละวันและเติมน้ำมันใหม่ทุกๆวันที่สองของการทอดในปริมาณ 500 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างน้ำมันเมื่อสิ้นสุดการทอดในแต่ละวัน พบว่าค่าพาราอะนิสิดีนมีค่ามากที่สุดในวันที่สองของการทอดของทั้งสองอุณหภูมิและจากนั้นจึงลดลงจนกระทั่งการทอดสิ้นสุด ซึ่งที่ศึกษาอธิบายว่าแอลดีไฮด์จะก่อตัวระหว่างการเสื่อมสภาพจากการเกิดออกซิเดชัน เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่สองที่สามารถสลายตัวต่อไปและบางส่วนที่ไม่ระเหยคือสารประกอบคาร์บอนิลที่ยังคงอยู่ในน้ำมัน การเติมน้ำมันใหม่จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนิล คาร์บอนิลเป็นสารที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (เกี่ยวข้องในการก่อตัวของสารประกอบอื่น) และการสลายตัวด้วยความร้อนจึงเป็นเหตุให้ค่าพาราอะนิสิดีนมีค่าลดลง ซึ่งการทอดซ้ำเป็นเวลาหลายวันทำให้น้ำมันทอดได้รับความร้อนเป็นเวลานานกว่าการทอดในวันเดียวจึงทำให้ค่าพาราอะนิสิดีนที่ตรวจวัดได้มีค่าลดลงในวันหลังๆของการทอด (Aladedunye and Przybylski, 2009) เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าพาราอะนิสิดีนในน้ำมันทอดซ้ำพบว่าการทอดต่อเนื่องภายในวันเดียวมีแนวโน้มการเพิ่มค่ามากที่สุด รองลงมาเป็นการทอดวันละ 10 ครั้งและมีการกรองน้ำมัน สุดท้ายคือการทอดวันละ 10 ครั้ง โดยมีการเติมน้ำมันใหม่แทนน้ำมันเก่าและกรองน้ำมันจะมีการเพิ่มค่าน้อยที่สุด

Table 22. The changes in *p*-anisidine value during repeated frying oil

Number of frying	*p*-Anisidine value*		
	30 batch/day	10 batch/day (filter)	10 batch/day (filter and turnover)
0	1.02 ± 0.16^{a}	1.02 ± 0.16^{a}	1.02 ± 0.16^{a}
5	33.59 ± 0.14^{b}	-	-
10	42.08 ± 0.43^{c}	27.15 ± 0.53^{b}	31.85 ± 0.90^{b}
15	50.46 ± 0.43^{d}	-	-
20	51.67 ± 0.52^{e}	41.24 ± 0.47^{d}	36.70 ± 0.84^{d}
25	54.92 ± 0.42^{f}	-	-
30	66.44 ± 0.95^{g}	37.89 ± 0.85^{c}	38.31 ± 0.63^{e}
40	-	37.95 ± 1.17^{c}	41.17 ± 1.02^{f}
50	-	-	34.67 ± 0.85^{c}
60	-	-	33.18 ± 0.84^{b}
70	-	-	32.82 ± 0.76^{b}

* Mean value ± standard deviation (SD) from triplicate determinations.

[a–g] Means in a column followed by different superscript are significant differences ($p < 0.05$).

การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันทอดซ้ำ พบว่าการทอดซ้ำทั้งแบบไม่เติมน้ำมันและเติมน้ำมันใหม่ มีการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) แสดงใน Table 23 โดยมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าสีแดง (a^*) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้น แสดงใน Table 24 ส่วนค่าสีเหลือง (b^*) มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เพิ่มมากขึ้นแล้วจึงลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (Table 25) โดยการทอด 30 ครั้งภายใน 1 วัน มีค่า b^* เพิ่มขึ้นจนกระทั่งการทอดครั้งที่ 10 การทอดวันละ 10 ครั้งเป็นเวลา 4 และ 7 วัน b^* เพิ่มขึ้นจนกระทั่งการทอดครั้งที่ 20

Table 23. The changes in *L** value during repeated frying oil

Number of frying	*L** value[1]		
	30 batch/day	10 batch/day (filter)	10 batch/day (filter and turnover)
0	97.77 ± 0.00[g]	97.77 ± 0.00[e]	97.77 ± 0.00[h]
5	82.06 ± 0.08[f]	-	-
10	67.14 ± 0.04[e]	76.15 ± 0.01[d]	75.45 ± 0.02[g]
15	53.40 ± 0.18[d]	-	-
20	44.50 ± 0.13[c]	59.72 ± 0.03[c]	64.70 ± 0.01[f]
25	35.66 ± 0.57[b]	-	-
30	24.80 ± 0.06[a]	48.23 ± 0.02[b]	59.15 ± 0.03[e]
40	-	42.38 ± 0.00[a]	54.27 ± 0.01[d]
50	-	-	52.19 ± 0.01[c]
60	-	-	45.01 ± 0.02[b]
70	-	-	37.80 ± 0.01[a]

[1] Mean value ± standard deviation (SD) from triplicate determinations.

[a–h] Means in a column followed by different superscript are significant differences ($p < 0.05$).

Table 24. The changes in *a** value during repeated frying oil

Number of frying	*a** value[1]		
	30 batch/day	10 batch/day (filter)	10 batch/day (filter and turnover)
0	-7.60 ± 0.00[a]	-7.60 ± 0.00[a]	-7.60 ± 0.00[a]
5	7.65 ± 0.06[b]	-	-
10	24.36 ± 0.01[c]	17.16 ± 0.01[b]	19.75 ± 0.04[b]
15	34.45 ± 0.04[d]	-	-
20	38.68 ± 0.01[f]	34.68 ± 0.02[c]	32.60 ± 0.02[c]
25	40.41 ± 0.14[g]	-	-
30	38.54 ± 0.06[e]	42.23 ± 0.01[d]	37.08 ± 0.02[d]
40	-	45.84 ± 0.01[e]	41.73 ± 0.02[e]
50	-	-	42.89 ± 0.02[f]
60	-	-	45.16 ± 0.01[h]
70	-	-	44.06 ± 0.01[g]

[1] Mean value ± standard deviation (SD) from triplicate determinations.

[a–h] Means in a column followed by different superscript are significant differences ($p < 0.05$).

Table 25. The changes in *b** value during repeated frying oil

Number of frying	*b** value[1]		
	30 batch/day	10 batch/day (filter)	10 batch/day (filter and turnover)
0	40.77 ± 0.06[a]	40.77 ± 0.06[a]	40.77 ± 0.06[a]
5	77.69 ± 0.02[e]	-	-
10	91.01 ± 0.04[g]	94.69 ± 0.03[d]	94.91 ± 0.09[f]
15	86.18 ± 0.24[f]	-	-
20	74.71 ± 0.20[d]	89.27 ± 0.02[e]	99.65 ± 0.09[h]
25	60.86 ± 0.82[c]	-	-
30	42.64 ± 0.14[b]	81.24 ± 0.04[c]	95.58 ± 0.11[g]
40	-	72.34 ± 0.14[b]	90.28 ± 0.11[e]
50	-	-	87.46 ± 0.04[d]
60	-	-	76.38 ± 0.10[c]
70	-	-	64.59 ± 0.18[b]

[1] Mean value ± standard deviation (SD) from triplicate determinations.

[a–g] Means in a column followed by different superscript are significant differences ($p < 0.05$).

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม (ΔE) ในน้ำมันทอดซ้ำทุกแบบที่ศึกษา พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มมากขึ้นแสดงใน Table 26 และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 86.36 ± 0.03, 83.19 ± 0.06 และ 82.65 ± 0.05 สำหรับการทอดครั้งที่ 30 ในการทอดซ้ำต่อเนื่องภายในวันเดียวโดยไม่มีการเติมน้ำมัน การทอดครั้งที่ 40 ในการทอดวันละ 10 ครั้งโดยมีการกรองและไม่มีการเติมน้ำมันและการทอดครั้งที่ 70 ในการทอดวันละ 10 ครั้งโดยมีการกรองและเติมน้ำมันใหม่ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบพบว่าการทอดซ้ำภายในวันเดียวมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ามากกว่าการทอดหลายวัน ในขณะที่การทอดซ้ำหลายวันที่ไม่มีการเติมน้ำมันใหม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมมากกว่าการทอดซ้ำหลายวันแบบเติมน้ำมันใหม่ การเปลี่ยนแปลงค่าสีเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันได้ เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของน้ำมันจากการปฏิกิริยาต่างๆระหว่างให้ความร้อน มีหลายรายงานที่กล่าวถึงการเกิดสีคล้ำในน้ำมันระหว่างให้ความร้อนว่ามีสาเหตุจากเม็ดสีในอาหารระหว่างทอดเกิดการออกซิเดชันและแพร่จากอาหารมาสู่น้ำมัน (Fritsch, 1981; Yoon *et al.*, 1987) การเกิดอันตรกิริยาระหว่าง

องค์ประกอบของอาหารกับน้ำมัน (Takekoka *et al*., 1997) และการดูดซับสีจากอาหารทอด (Che Man *et al*., 1999)

Table 26. The changes in E^* value during repeated frying oil

Number of frying	ΔE value*		
	30 batch/day	10 batch/day (filter)	10 batch/day (filter and turnover)
0	0.00 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
5	42.92 ± 0.08^{b}	-	-
10	66.96 ± 0.05^{c}	58.58 ± 0.03^{b}	64.62 ± 0.13^{b}
15	76.16 ± 0.04^{d}	-	-
20	78.31 ± 0.04^{e}	78.37 ± 0.02^{c}	78.59 ± 0.02^{c}
25	81.04 ± 0.16^{f}	-	-
30	86.36 ± 0.03^{g}	81.09 ± 0.02^{d}	80.57 ± 0.05^{d}
40	-	83.19 ± 0.06^{e}	82.32 ± 0.09^{e}
50	-	-	82.50 ± 0.03^{f}
60	-	-	82.67 ± 0.02^{g}
70	-	-	82.65 ± 0.05^{g}

* Mean value ± standard deviation (SD) from triplicate determinations.

[a–g] Means in a column followed by different superscripts are significant differences ($p < 0.05$).

การเปลี่ยนแปลงความหนืดในน้ำมันทอดซ้ำแสดงใน Table 27 พบว่าทั้งการทอดแบบไม่เติมน้ำมันและเติมน้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้น ความหนืดที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเพิ่มความยาวของสายกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันและการสะสมของสารที่ไม่ระเหยในน้ำมันที่เพิ่มมากขึ้น (Moreira *et al*., 1996) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าน้ำมันที่มีการกรองจะความหนืดน้อยกว่าน้ำมันที่ไม่กรอง การกรองจะช่วยกำจัดเศษแป้งหรือเครื่องเทศที่ใช้ในการหมักที่สะสมอยู่ก้นกระทะออกไป สอดคล้องกับรายงานของ Sanchez-Gimeno และคณะ (2008) ที่ศึกษาการทอดมันฝรั่งในน้ำมันมะกอกและน้ำมันดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ครั้งละ 3 นาที ติดต่อกัน 60 ครั้ง โดยไม่มีการเติมน้ำมันระหว่างทอด พบว่ามีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้น

able 27. he changes in viscosity value during repeated frying oil

Number of frying	Viscosity value (cP)*		
	30 batch/day	10 batch/day (filter)	10 batch/day (filter and turnover)
0	69.8 ± 0.8[a]	69.2 ± 0.4[a]	69.2 ± 0.4[a]
5	71.9 ± 0.1[b]	-	-
10	73.3 ± 0.3[bc]	70.7 ± 0.1[b]	71.8 ± 0.3[b]
15	74.7 ± 0.0[c]	-	-
20	76.2 ± 0.8[d]	72.8 ± 0.2[c]	72.8 ± 0.3[c]
25	78.6 ± 0.8[e]	-	-
30	86.4 ± 1.8[f]	73.2 ± 0.0[d]	72.3 ± 0.3[b]
40	-	74.3 ± 0.2[e]	73.5 ± 0.2[d]
50	-	-	73.7 ± 0.2[d]
60	-	-	73.7 ± 0.2[d]
70	-	-	74.4 ± 0.2[e]

* Mean value ± standard deviation (SD) from triplicate determinations.

[a–f] Means in a column followed by different superscript are significant differences ($p < 0.05$).

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันทอดซ้ำแสดงใน able 28 พบว่าทั้งการทอดแบบไม่เติมน้ำมันและเติมน้ำมันใหม่ ปริมาณสารโพลาร์มีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มมากขึ้น โดยการทอด 30 ครั้งภายในวันเดียว มีผลให้ปริมาณสารโพลาร์เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งการทอดครั้งที่ 20 มีค่าเท่ากับ 9.45 ± 0.31% เพิ่มเป็น 20.10 ± 0.42 % เมื่อทอดครั้งที่ 30 ซึ่งมีค่ามากที่สุด ในขณะที่การทอดวันละ 10 ครั้งหลายวันมีการเพิ่มปริมาณสารโพลาร์อย่างช้าๆ โดยการทอดวันละ 10 ครั้งเป็นเวลา 4 วัน มีการกรองน้ำมัน มีปริมาณสารโพลาร์มากที่สุดเท่ากับ 10.89 ± 0.98 % เมื่อทอดครั้งที่ 40 และการทอดวันละ 10 ครั้งเป็นเวลา 7 วัน มีการกรองน้ำมันและเติมน้ำมันใหม่แทนน้ำมันเก่า มีปริมาณสารโพลาร์มากที่สุดเท่ากับ 12.02 ± 0.71 % เมื่อทอดครั้งที่ 70 จากรายงานการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารโพลาร์ของการทอดต่อเนื่องโดยไม่มีการเติมน้ำมัน ของ Houhoula และคณะ (2002) พบว่าน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่ใช้ทอดมันฝรั่งชนิดแผ่นที่อุณหภูมิต่างๆ ต่อเนื่องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ปริมาณสารโพลาร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ในลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น โดยจากน้ำมันเริ่มต้นมีค่าโพลาร์ 6.5%

และมีค่ามากถึง 28% หลังจากชั่วโมงที่ 11 สำหรับการทอดที่อุณหภูมิ 195 องศาเซลเซียส รายงานของ Manral และคณะ (2008) เมื่อทอดปลาในน้ำมันดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ครั้งละ 6 นาที ต่อเนื่องเป็นเวลา 14 ชั่วโมง ปริมาณสารโพลาร์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจาก 3.58% เป็น 34.2% ในชั่วโมงที่ 14 และรายงานของ Arroyo และคณะ (1992) เมื่อทอดมันฝรั่งในน้ำมันดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ครั้งละ 8 นาที วันละ 10 ครั้ง ติดต่อกัน 60 ครั้ง พบว่าปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันเริ่มต้นเพิ่มขึ้นจาก 3.75% เป็น 27.28% ในการทอดครั้งที่ 60 นอกจากนี้ยังมีรายงานที่กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารโพลาร์ของการทอดต่อเนื่องโดยมีการเติมน้ำมัน เช่น รายงานของ Cuesta และคณะ (1993) เมื่อทอดมันฝรั่งในน้ำมันดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ครั้งละ 8 นาที วันละ 10 ครั้ง เติมน้ำมันใหม่ทุกๆครั้งที่ 4 ในช่วง 20 ครั้งแรกของการทอด หลังจากนั้นเติมน้ำมันใหม่ทุกๆครั้งที่ 5 จนทอดครบทั้งหมด 75 ครั้ง เก็บตัวอย่างน้ำมันในการทอดครั้งที่ 0, 20, 30, 50 และ 75 พบว่าปริมาณสารโพลาร์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ โดยมีค่าเท่ากับ 5.09, 15.99, 17.99, 18.92 และ 19.11% ตามลำดับ

Table 28. The changes in total polar component during repeated frying oil

Number of frying	Total polar component (%)*		
	30 batch/day	10 batch/day (filter)	10 batch/day (filter and turnover)
0	4.45 ± 0.43^{a}	4.45 ± 0.43^{a}	4.45 ± 0.43^{a}
10	6.85 ± 0.26^{b}	-	-
20	9.45 ± 0.31^{c}	8.46 ± 0.68^{b}	-
30	20.1 ± 0.42^{d}	-	9.86 ± 0.66^{b}
40	-	10.89 ± 0.98^{c}	-
50	-	-	8.78 ± 0.73^{b}
60	-	-	-
70	-	-	12.02 ± 0.71^{c}

* Mean value ± standard deviation (SD) from triplicate determinations.

[a–d] Means in the same type of frying with different letters are significant differences ($p < 0.05$).

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

1. องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน โดยน้ำมันปาล์มประกอบด้วยกรดไขมันเป็นไม่อิ่มตัวในปริมาณน้อยกว่าน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าว ทำให้มีความคงทนขณะให้ความร้อนและขณะทอดน่องไก่ได้ดีกว่าน้ำมันถั่ว-เหลืองและน้ำมันรำข้าว

2. การศึกษาผลของอุณหภูมิ (170, 180 และ 190 ºซ) และเวลาการทอด (15, 18 และ 21 นาที) พบว่าอุณหภูมิและเวลาทอดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันทอด โดยการทอดที่อุณหภูมิ 180 º ซ เวลาทอด 15 นาที น้ำมันจะมีการเสื่อมสภาพน้อยที่สุดและมีค่าสีผิวภายนอกของน่องไก่สอดคล้องกับไก่ที่ขายทั่วไป

3. การศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่ พบว่ามีสองแนวทางที่สามารถประยุกต์ใช้ได้คือการทอดที่อัตราส่วนน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่ที่น้อยสามารถใช้น้ำมันทอดได้หลายครั้งหรือการทอดที่อัตราส่วนน้ำมันทอดต่อปริมาณไก่ที่มากแต่ทอดเพียงครั้งเดียวเท่านั้น

4. การศึกษาผลของการทอดซ้ำต่อคุณภาพน้ำมันทอดไก่ ทั้ง 3 แบบ คือ ทอดต่อเนื่อง 30 ครั้งภายในวันเดียว, ทอดต่อเนื่องวันละ 10 ครั้งเป็นเวลา 4 วัน โดยมีการกรองน้ำมันเมื่อสิ้นสุดการทอดในแต่วันและทอดต่อเนื่องวันละ 10 ครั้งเป็นเวลา 7 วัน โดยมีการกรองน้ำมันเมื่อสิ้นสุดการทอดในแต่ละวันและเติมน้ำมันใหม่แทนน้ำมันเก่าหนึ่งในสามส่วนก่อนการทอดในวันใหม่ พบว่าการทอดโดยมีการกรองน้ำมันและเติมน้ำมันใหม่ น้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพช้าที่สุด รองลงมาเป็นการทอดโดยมีการกรองน้ำมันเพียงอย่างเดียว และการทอดโดยไม่มีการกรองน้ำมันและเติมน้ำมันใหม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมากที่สุด การกรองและการเติมน้ำมันใหม่จึงเป็นการชะลอการเสื่อมสภาพของน้ำมัน

ข้อเสนอแนะ

หากมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันทอดต่อไป ควรมีการศึกษาดังต่อไปนี้

1. ศึกษาในตัวอย่างอาหารทอดประเภทอื่น เช่น ปาท่องโก๋ ลูกชิ้น เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันได้รับความนิยมในการบริโภคไม่น้อยไปกว่าไก่ทอด

2. ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันให้ใช้ได้นานขึ้น อาจมีการผสมน้ำมันหลายชนิด เพื่อเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ กองโภชนาการ. 2549. ความรู้เรื่องอาหารทอด (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://nutrition.anamai.moph.go.th (16 พฤศจิกายน 2549)

จริยา เดชกุญชร. 2552. ปีกไก่ทอด. *ใน* สำรับอาหารไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1 (ธิญาภัทร์ ฟองไชย์และศรัณย์รัชค์ เชียงไกรเวช, บรรณธิการ). หน้า 58. เพชรการเรือน. กรุงเทพฯ.

เบ็ญจรัก วายุภาพ, วราพร ลักษณลม้าย, ชลธิชา เอี่ยมชื่น, ศศิวิมล สุจริต และวรรัตน์ ใจเจริญธรรม-กุล. 2551. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันที่ใช้ทอดซ้ำสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารทอดประเภทต่างๆ. ว.อาหาร. 38: 65-73.

ศุภพิชญ์ โอภาสวิศัลย์. 2548. ไก่ทอดหาดใหญ่. *ใน* ไก่ทอดหาดใหญ่. พิมพ์ครั้งที่ 1. หน้า 18. สำนักพิมพ์แม่บ้าน. กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2547. กำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.qmaker.com/fda/new/web_cms/subcol.php?SubCol_ID=46&Col_ID=9 (2 พฤศจิกายน 2552)

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2516. มาตรฐานอุตสาหกรรมน้ำมันรำสำหรับบริโภค. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพ.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2533. มาตรฐานอุตสาหกรรมน้ำมันถั่วเหลืองสำหรับบริโภค. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพ.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2535. มาตรฐานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพ.

Abdulkarim, S. M., Long, K., Lai, O. M., Muhammad, S. K. S. and Ghazali, H. M. 2007. Frying quality and stability of high-oleic *Moringa oleifera* seed oil in comparison with other vegetable oils. Food Chem. 93: 253–263.

Aladedunye, F. A. and Przybylski, R. 2009. Degradation and nutritional quality changes of oil during frying. J. Am. Oil Chem. Soc. 86: 149-156.

Ang, C. Y. and Hamm, D. 1982. Proximate analyses, selected vitamins and minerals and cholesterol content of mechanically deboned and hand-deboned broiler parts. J. Food Sci. 47: 885–888.

A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, 17th ed. Washington, DC.

Arroyo, R., Cuesta, C., Garrido-Polonio, C., Lopez-Varela, S. and Sanchez-Muniz.,F. J. 1992. High-performance size-exclusion chromatographic studies on polar components formed in sunflower oil used for frying. J. Am. Oil Chem. Soc. 69: 557-563.

Balavi Natural Health Center. 2005. Dangers from Cooking Oil Reuse. (Online) Avaiable: http://www.balavi.com/eng/content_article/a000030.html (7 July 2005)

Basiron, Y. 1996. Palm oil. *In* Edible Oil & Fat Products: Oils and Oil Seeds. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Vol. II. 5th ed. (Hui, Y. H., ed.). p. 271-376. A Wiley-Interscience Publication. Inc. New York.

Blumenthal, M. M. 1991. A new look at the chemistry and physic of deep-fat frying. Food Technol. 45(2): 68-71.

Bouchon, P., Aguilera, J. M. and Pyle, D. L. 2003. Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying. J. Food Sci. 68 : 2711–2716.

Burghagen, M. 1999. Meat. *In* Food Chemistry. 2nd ed. (Belitz, H. D., ed.) p. 527-578. Springer-Verlag, Heidelberg.

Carabasa, M. and Ibarz, A. 2000. Kinetics of colour development in aqueous glucose systems at high temperatures. J. Food Eng. 44: 181–189.

Che Man, Y. B., Liu, J. L., Jamilah, B. and Rahman, R. A. 1999. Quality changes of refined-bleached–deodorized (RBD) palm olein, soybean oil and their blends during deep-fat frying. J. Food Lipids. 6: 181–193.

Choe, E. and Min, D. B. 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. J. Food. Sci. 72 : 77-86.

Clark, W. L. and Serbia, G. W. 1991. Safety aspects of frying fats and oils. Food Technol. 45(22): 84-89.

Cuesta, C. Sanchez-Muniz, F. J. Garrido-Polonio, C. Lopez-Varela, S. and Arroyo, R. 1993. Thermooxidative and hydrolytic changes in sunflower oil used in frying with a fast turnover of fresh oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 70:1069-1073.

Dana, D. and Saguy, I. S. 2001. Frying of nutritionus food: Obstacles and feasibility. Food Sci. Technol. Res. 7: 265-279.

Danowska-Oziewicz, M. and Karpinska-Tymoszczyk, M. 2005. Quality changes in selected frying fats during heating in a model system. J. Food Lipids. 12: 159-168.

Dugan, L. 1976. Lipids. *In* Principle of Food Science. (Fennema, O. R. ed.). p.139-203. Marcel Dekker, Inc. New York.

Dunford, N. 2004. Deep-fat frying basics for food services. (Online) Avaiable: http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-977/FAP126web.pdf (23 October 2006)

Evan, D. G., Goodwin, T. L. and Andrew, L. D. 1976. Chemical composition carcass yield and tenderness of broilers an influenced by rearing method and genetic strains. Poultry Sci. 55: 748-755.

Fellows, P. 2000. Frying. *In* Food processing and technology: principles and practice. 2nd ed. (Fellow, P., ed.). p. 355-362. Woodhead Publishing. Boca Raton : CRC Press. Baca Raton.

Firestone, D. 1996. Regulation of frying fats and oils. *In* Deep Frying: Chemistry, Nutrition and Practical Applications. (Perkins, E. G. and Erickson, M. D. eds). p. 323–334. AOCS Press. Champaign.

Firestone, D. 2004. Regulatory requirements for the frying industry. *In* Frying technology and practices. (Gupta, M. K., Warner, K. and White, P. J. eds). p. 200-216. AOCS Press. Champaign.

Foegeding, E. A., Lanier, T. C. and Hultin, H. O. 1996. Characteristics of edible muscle tissues. *In* Food Chemistry. 3rd ed. (Fennema, O. R. ed). p. 880-942. Marcel Dekker, Inc. New York.

Fujisaki, M., Mohri, S., Endo, Y. and Fujimoto, K. 2000. The effect of oxygen concentration on oxidative deterioration in heated high-oleic safflower oil. J. Am. Oil Chem Soc. 77: 231-234.

Fuller, G. 1978. Fatty acids. *In* Encyclopedia of Food Science. (Peterson, M. S. and Johnson, A. H., eds.). p. 251-254. The AVI Publishing company, Inc. Westport.

Fritsch, C. W. 1981. Measurement of frying fat deterioration: A brief review. J. Am. Oil Chem. Soc. 58: 272-274.

Gaman, P. M. and Sherrington, K. B. 1990. Fats and Oils. *In* The Science of Food. 3rd ed. (Gaman, P. M., ed.). p. 61-71. Pergamon Press. Oxford.

Garcia-Arias, M.T., Garcia-Linares, M.C., Capita, R., Garcia-Fernandez, M.C. and Sanchez-Muniz, F. J. 2003. Deep-frying of chicken meat and chicken-based products changes in the proximate and fatty acid compositions. Ital. J. Food Sci. 15: 225-239.

Goburdhun, D., Seebun, P. and Ruggoo, A. 2000. Effect of deep-fat frying of potato chips and chicken on the quality of soybean oil. J. Consumer Studies & Home Economics. 24: 223-233.

IUPAC. 1979. Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives. *In* International Union of Pure and Applied Chemistry (6th ed). Pergamon Press Ltd. Oxford.

Houhoula, D. P., Oreopoulou, V. and Tzia, C. 2002. A kinetic study of oil deterioration during frying and a comparison with heating. J. Am. Oil Chem Soc. 72: 133-137.

Jaswir, I., Che Man, Y. B. and Kitts, D. D. 2000. Use of natural antioxidants in refined palm olein during repeated deep-fat frying. Food Res. Inter. 33: 501-508.

Kassama, L. S. and Ngadi, M. O. 2004. Pore development in chicken meat during deep-fat frying. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 37: 841–847.

Krokida, M. K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z. B. and Marinos-Kouris, D. 2001. Colour changes during deep fat frying. J. Food Eng. 48: 219–225.

Lawson, H. W. 1985. Standards for Fats and Oils. AVI Publishing Company, Inc. Westport.

Mackay, S. 2000. Techniques and Types of Fat Used in Deep-fat Frying. In The Heart Foundation of New Zealand. p. 49-50.

Manral, M., Pandey, M. C., Jayathilakan, K., Radhakrishna, K. and Bawa, A. S. 2008. Effect of fish (*Catla catla*) frying on the quality characteristics of sunflower oil. Food Chem. 106: 634–639.

Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. Trends in Food Sci. & Technol. 14: 364-373.

Melton, S. L., Jafar, S., Sykes, D. and Trigiano, M. K. 1994. Review of stability measurements of frying oils and fried food flavor. J. Am. Oil Chem. Soc. 71: 1301-1308.

Michael Eskin, N. A., McDonald, R., Przybylski, L. J., Scarth, R., Mag, T., Ward, K. and Adolph, D. 1996. Canola oil. *In* Edible Oil & Fat Products: Oils and Oil Seeds. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Vol. II. 5th ed. (Hui, Y. H., ed.). p. 271-376. A Wiley-Interscience Publication, Inc. New York.

Moreira, R., Yi, C. T. and Sun, X. 1996. Total frying use time effects on soybean oil deterioration and on tortilla chips quality. Inter. J. Food Sci. & Technol. 31: 287-294.

Nawar, W. W. 1996. Lipids. *In* Food Chemistry. (Fennema, O. R., ed.). p. 225-319. Marcel Dekker, Inc. New York

Naz, S., Sheikh, H., Siddiqi, R. and Sayeed, S.A. 2004. Oxidative stability of olive, corn and soybean oil under different conditions. Food Chem. 88: 253–259.

Naz, S., Sheikh, H., Siddiqi, R. and Sayeed, S.A. 2005. Deterioration of olive, corn and soybean oils due to air, light, heat and deep-frying. Food Res. Inter. 38: 127–134.

Ngadi, M., Li, Y. and Oluka, S. 2007. Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenatation. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 40: 1784-1791.

O'Brien, R. D. 2009. Raw Materials. *In* Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications. 3rd ed. (O'Brien, R. D., ed.). p. 1-66. CRC Press. New York.

Orthoefer, F. T. 1996. Rice bran oil. *In* Edible Oil & Fat Products: Oils and Oil Seeds. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Vol. II. 5th ed. (Hui, Y. H., ed.). p. 393-409. A Wiley-Interscience Publication, Inc. New York.

Orthoefer, F. T. and Cooper, D. S. 1996. Initial quality of frying oil. *In* Deep Frying: Chemistry, Nutrition and Practical Applications. (Perkins, E. G. and Erickson, M. D. eds). p. 29-42. AOCS Press. Champaign.

Paul, S. and Mittal, G. S. 1997. Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 37: 635-662.

Plessis, L. M. and Meredith, A. J. 1999. Palm olein quality parameter changes during industrial production of potato chips. J. Am. Oil Chem. Soc. 76: 731-738.

Przybylski, R. and Eskin, N. A. M. 1988. A comparative study on the effectiveness of nitrogen or carbon dioxide flushing in preventing oxidation during the heating of oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 65: 629-633.

Rogers, E. J., Rice, S. M., Nicolosi, R. J., Carpenter, D. R., McClelland, C. A. and Romanczyk, L. J. 1993. Identification and quantitation of gamma-oryzanol components and simultaneous assessment of tocols in rice bran oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 70: 301-307.

Romero, A., Cuesta, C. and Sanchez-Muniz, F. J. 1998. Effect of oil replenishment during deep-fat frying of frozen foods in sunflower oil and high-oleic acid sunflower oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 75: 161-167.

Saguy, I.S. and Dana, D. 2003. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and Consumer aspects. J. Food Eng. 56:143-152.

Salunkhe, D. K., Chavan, J. K., Adsule, R. N. and Kadam, S. S. 1992. Oil Palm. *In* World Oilseeds: Chemistry, Technology and Utilization. (Salunkhe, D. K., ed.). p. 217-248. Van Nostrand Reinhold. New York.

Salunkhe, D. K., Sathe, S. K. and Reddy, N. R. 1982. Legume lipids. *In* Chemistry and Biochemistry of Food Legumes. (Arora, S. K., ed.). p. 52. Oxford and IBH, New Delhi.

Sanchez-Gimeno, A. C., Negueruela, A. I., Benito, M., Vercet, A. and Oria, R. 2008. Some physical changes in Bajo Aragon extra virgin olive oil during the frying process. Food Chem. 110: 654-658.

Sanchez-Muniz, F. J., Cuesta, C., Lopez-Varela, M. C., Garrido-Polonio, M. C. and Arroyo, R. 1993. Evaluation of the thermal oxidation rate of sunflower oil using various frying methods. *In* Proceeding of World Conference on Oilseed and Technology and Utillzation. Applewhite, T. H. (ed.). p. 448-452. Am. Oil Chem. Soc., Champaign.

Sanibal, E. A. A., and Mancini-Filho, J. 2004. Frying oils and fat quality measured by chemical, physical, and test kit analyses. J. Am. Oil Chem. Soc. 81: 847-852.

Schroeder, M. T., Becker, E. M. and Skibsted, L. H. 2006. Molecular mechanism of antioxidant synergism of tocotrienols and carotenoids in palm oil. J. Agric. Food Chem. 55: 3445-3453.

Shahidi, F. and Wanasundara, U. N. 2002. Methods for measuring oxidative rancidity in fats and oils. *In* Food Lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology. 2nd ed. (Akoh, C.C. and Min, D. B. eds). p. 387-403. Marcel Dekker,Inc. New York.

Singh, R. P. 1995. Heat and mass transfer in food during deep-fat frying. Food Technol. 45 : 68-71.

Smith, A. K. and Circle, S. J. 1972. Historical background. *In* Soybean's Chemistry and Technology. Vol 1. (Smith, A. K. and Circle, S. J., eds.). p. 4-6. AVI Publishing. Westport.

Sosa-Morales, M., Orzuna-Espiritu, R. and Velez-Ruiz, J. 2006. Mass, thermal and quality aspects of deep-fat frying of pork meat. J. Food Eng. 77: 731-738.

Stevenson, S. G., Vaisey-Genser, M., Eskin, N. A. M. 1984. Quality control in the use of deep frying oils. J. Am. Oil Chem. Soc. 61: 1102-1108.

Takekoka, G. R., Gerhard, H. F. and Das, L. T. 1997. Effect of heating on the characteristics and chemical composition of select frying oils and fats. J. Am. Oil Chem. Soc. 45: 3244-3249.

Tan, C. P. and Che Man, Y. B. 1999. Differential scanning calorimetric analysis for monitoring the oxidation of heated oils. Food Chem. 67: 177–184.

Tyagi, V. K. and Vasishtha, A. K. 1996. Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. J. Am. Oil Chem. Soc. 73: 499-506.

Warner, K. 1996. Evaluation of lipid quality and stability. *In* Food Lipids and health. (McDonald, R. E. and Min, D.B., eds.). p. 345-369. Marcel dekker, Inc. New York.

Warner, K. 1998. Chemistry of Frying Fats. *In* Food Lipids : Chemistry, Nutrition, and Biotechnology. (Akoh, C. C. and Min, D.B., eds.). p. 167-180. Marcel dekker, Inc. New York.

Warner, K. and Nelsen, T. 1996. AOCS collaborative study on sensory and volatile compound analysis of vegetable oils. J. Am. Oil Chem. Soc. 73: 157-166.

Warner, K., Orr, P., Parrott, L. and Glynn, M. 1994. Effects of frying oil composition on potato chip stability. J. Am. Oil Chem. Soc. 71: 1117-1121.

White, P. J. 1991. Methods for measuring changes in deep-fat frying oils. Food Technol. 45(22): 75-80.

Wolf, W. J. and Cowan, J. C. 1971. Introduction. *In* Soybean as a Food Science. (Wolf, W. J., ed). p. 9-13. CRC Press. Baca Raton.

Xlong, Y. L. Cantor, A. H., Pescatore, A. J., Blanchard, S. P. and Straw, M. L. 1993. Variations in muscle chemical composition pH and protein extractability among eight different broiler crosses. Poultry Sci. 72: 583-588.

Yamaoka, M., Carrillo, M. J. H., Nakahara, T. and Komiyama, K. 1991. Antioxidative activities of tocotrienols on phospholipid liposomes. J. Am. Oil Chem. Soc. 68: 114-118

Yoon, S. H., Kim, S. K., Kim, K. H., Kwon, T. W. and Teah, Y. K. 1987. Evaluation of physicochemical changes in cooking oil during heating. J. Am. Oil Chem. Soc. 64: 870-873.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไก่

ก1. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (A.O.A.C., 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบไฟฟ้า
2. ภาชนะหาความชื้น (ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา)
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. อบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้อุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

2. ทำซ้ำเช่นข้อที่ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักแน่นอน ประมาณ 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว

4. นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง

5. นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องหลังจากนั้นชั่งหาน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างนั้น

6. อบซ้ำอีกครั้งละประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1}$$

กำหนดให้ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

ก2. การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (A.O.A.C., 2000)

อุปกรณ์

1. เครื่องกลั่นโปรตีน
2. หลอดย่อยโปรตีน ขนาด 250-300 มิลลิลิตร
3. เตาย่อยโปรตีน
4. บิวเรต ขนาด 25 มิลลิลิตร
5. ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
6. ปิเปต
7. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารเร่งปฏิกิริยา : คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) 1 ส่วน ต่อ โปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 9 ส่วน
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 40 % (น้ำหนักโดยปริมาตร)
4. สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) เข้มข้น 4 % (น้ำหนักโดยปริมาตร)
5. สารละลายกรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 0.02 นอร์มอล
6. สารละลายอินดิเคเตอร์ : นำเมทิลเรด (methyl red) ความเข้มข้น 0.1 % ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ผสมกับโบรโมครีซอลกรีน (bromocresol green) ความเข้มข้น 0.2 % ในสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95 % ปริมาณ 200 มิลลิลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.5-1 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อยโปรตีน
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา 5 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
3. นำไปย่อยบนเตาย่อยโปรตีนจนได้สารละลายสีฟ้าใส
4. ทิ้งไว้ให้เย็นและเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
5. จัดอุปกรณ์กลั่น
5. นำขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรดบอริก 40 มิลลิลิตร และอินดิเคเตอร์ 1 หยด แล้วนำไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มอยู่ในสารละลายกรด

6. นำขวดรูปชมพู่ออกแล้วล้างปลายของอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดแล้วไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรดเกลือเข้มข้น 0.02 นอร์มอล ซึ่งเมื่อไตเตรทสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง

7. ทำ blank ด้วยวิธีการเดียวกัน ตั้งแต่ข้อ 2-6

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{(A-B) \times N \times 1.4007 \times Factor}{W}$$

โดยที่ A = ปริมาณสารละลายกรดเกลือที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาณสารละลายกรดเกลือที่ใช้ไตเตรทกับ blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือ (นอร์มอล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

1.4007 = น้ำหนักสมมูลของไนโตรเจน

Factor = 6.25

ก3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 2000)

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus) ประกอบด้วยขวดก้นกลมสำหรับใส่ตัวทำละลาย ซอคเลต (soxhlet) เครื่องควบแน่น (condenser) และเตาให้ความร้อน (heating mantle)

2. หลอดใส่ตัวอย่าง (extraction thimble)

3. ตู้อบไฟฟ้า

4. โถดูดความชื้น

5. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

6. สำลี

สารเคมี

1. ปิโตรเลียมอีเทอร์ (ตัวทำละลาย)

วิธีการวิเคราะห์

1. อบขวดก้นกลมสำหรับหาปริมาณไขมัน ซึ่งมีขนาดความจุ 250 มิลลิลิตรในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของขวดก้นกลมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

2. ทำซ้ำเช่นข้อที่ 1 จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างอาหารบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักประมาณ 1-2 กรัม ห่อให้มิดชิดแล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง คลุมด้วยสำลี เพื่อให้สารละลายมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ

4. นำตัวอย่างใส่ลงในซอคเลต เติมสารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดก้นกลมหาไขมันปริมาตร 150 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตาให้ความร้อน

5. ประกอบอุปกรณ์ชุดสกัดไขมันพร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่นและเปิดสวิทซ์ให้ความร้อน

6. ทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 14 ชั่วโมง โดยปรับเตาความร้อนให้หยดของสารทำละลายกลั่นตัวจากอุปกรณ์ควบแน่นด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที

7. เมื่อครบ 14 ชั่วโมง นำหลอดใส่ตัวอย่างออกจากซอตเลต และกลั่นเก็บสารทำละลายจนเหลือสารทำละลายในขวดก้นกลมเพียงเล็กน้อยด้วยเครื่องระเหยตัวทำละลายระบบสุญญากาศ

8. นำขวดหาไขมันไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส จนแห้งใช้เวลาประมาณ 30 นาที นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้นปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของขวดก้นกลมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

9. อบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{W_2 \times 100}{W_1}$$

กำหนดให้ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักไขมันหลังอบ (กรัม)

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมัน

ข1. การวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ (IUPAC, 1979)

อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. บิวเรตต์
3. ปิเปต
4. โถดูดความชื้น

สารเคมี

1. สารละลายผสมกรดแอซิติกกับคลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 3 : 2
2. สารละลายอิ่มตัวโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)

ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ปริมาณมากเกินพอในน้ำต้มใหม่ เก็บในที่มืดและทดสอบก่อนใช้ โดยนำสารละลายอิ่มตัวโพแทสเซียมไอโอไดด์ 1 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายผสมกรดแอซิติก-คลอโรฟอร์ม 3 : 2 ปริมาตร 25-30 มิลลิลิตร หยดน้ำแป้งลงไป 2-3 หยด ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินให้ทิ้งไปและเตรียมใหม่

3. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) เข้มข้น 0.1 นอร์มาล

การเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้น 0.1 นอร์มาล โดยชั่งโซเดียมไทโอซัลเฟตประมาณ 25 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร ต้มให้เดือดเบาๆนาน 5 นาที แล้วถ่ายลงในขวดสีชาขณะร้อน เก็บสารละลายในที่มืดและเย็น (ไม่เทสารที่ใช้แล้วกลับลงในขวดเก็บ)

การหาความเข้มข้นมาตรฐาน โดยนำสารโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เอ อาร์เกรดมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1-2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งให้ได้น้ำหนักแน่นอน ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 3 ขวด ขวดละ 0.1 กรัม (สำหรับความเข้มข้น 0.1 นอร์มาล) แต่ละขวดเติมน้ำกลั่นที่ปราศจากคลอรีนปริมาตร 80 มิลลิเมตร ที่มีโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2 กรัม และเติมสารละลายกรดเกลือเข้มข้น 1 นอร์มาล ปริมาตร 20 มิลลิเลตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดทันทีเป็นเวลา 10 นาที แล้วไตเตรทกับสารละลายโพแทสเซียมไทโอซัลเฟตที่เตรียมข้างต้น โดยใช้น้ำแป้งเข้มข้น 1 % เป็นอินดิเคเตอร์ (เติมน้ำแป้งเมื่อปฏิกิริยาใกล้ถึงจุดยุติและจุดยุติเป็นจุดที่สีน้ำเงินหมดไป) คำนวณความเข้มข้นจากสูตร

$$\text{ความเข้มข้นของ } Na_2S_2O_3.5H_2O \text{ (นอร์มาล)} = \frac{K_2Cr_2O_7 \text{ (กรัม)}}{\text{ปริมาตร } Na_2S_2O_3.5H_2O \text{ ที่ใช้ไตเตรท (มล.)} \times 0.0490}$$

4. น้ำแป้ง (soluble starch) เข้มข้น 1 %

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน โดยใช้ปริมาณตัวอย่างดังแสดงใน Appendix Table 1.ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลตร

2. เติมสารละลายแอซิติก-คลอโรฟอร์ม 25 มิลลิลิตร เขย่าให้ตัวอย่างละลาย

3. เติมสารละลายอิ่มตัวโพแทสเซียมไอโอไดด์ 1 มิลลิลิตร ปิดจุกพร้อมเขย่านาน 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที

4. เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร

5. ไตเตรดกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต พร้อมเขย่าอย่างแรงจนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้ง 0.5 มิลลิลิตร แล้วไตเตรดต่อไปจนสีน้ำเงินหมดไป (ถ้าการไตเตรดใช้สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.01 นอร์มาล ในปริมาณน้อยกว่า 0.5 มิลลิลิตร ให้เปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเป็น 0.002 นอร์มาล) เตรียมและไตเตรดแบลงค์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

Appendix Table B1. Appropriate sample weight for peroxide value analysis

Peroxide value (mg)	Weight of sample (g)
0-12	5.0-2.0
12-20	2.0-1.2
20-30	1.2-0.8
30-50	0.8-0.5
50-90	0.5-0.3

ที่มา : IUPAC (1979)

การคำนาณ

$$\text{ค่าเพอร์ออกไซด์} = \frac{(a-b) \times N \times 1000}{W}$$

กำหนดให้ a = ปริมาตร (มล.) ของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรดกับตัวอย่าง

b = ปริมาตร (มล.) ของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรดกับแบลงก์

N = ความเข้มข้นของโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มาล)

W = น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)

ข2. การวิเคราะห์ค่ากรดและกรดไขมันอิสระ (IUPAC, 1979)

อุปกรณ์

1.ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. กระบอกตวง ขนาด 50 มิลิลิตร

3. บิวเรตต์

4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์ 95 %

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์) เข้มข้น 0.1 หรือ 0.05 หรือ 0.01 นอร์มาล

สำหรับความเข้มข้น 0.1 นอร์มาล เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ เออาร์เกรด ปริมาณ 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร แล้วเก็บสารละลายด่างในขวดแก้วซึ่งฝาขวดที่ใช้ต้องไม่ใช่แก้ว

หาความเข้มข้นมาตรฐานที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนใช้ โดยนำโพแทสเซียมแอซิดพาทาเลท (potassium acid phthalate : $KHC_8H_4O_4$) ใส่ในกระจกนาฬิกาไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 1-2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้สารเย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักให้ได้แน่นอน 0.8 กรัม (สำหรับความเข้มข้น 0.1 นอร์มาล) ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ 3 ขวด เติมเอทิลแอลกอฮอล์ที่เป็นกลาง 50 มิลลิลิตร เขย่าจนละลายหมด แล้วไตเตรดกับสารละลายด่างข้างต้น โดยมีฟีนอฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ คำนวณความเข้มข้นจากสูตร

$$\text{ความเข้มข้นสารละลาย NaOH} = \frac{\text{น้ำหนักโพแทสเซียมแอซิดพาทาเลท (กรัม)}}{\text{ปริมาตรสารละลาย NaOH ที่ใช้ (มล.)} \times 0.2042}$$

สมมูลของโพแทสเซียมแอซิดพาทาเลท = 204.216

3. ฟีนอฟทาลีนเข้มข้น 1 %

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-10 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิกรัม

2. เตรียมสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ให้เป็นกลาง โดยการเติมฟีนอฟทาลีน 5 หยด และปรับให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มาล หยดด่างทีละหยดพร้อมทั้งเขย่าหรือกวน จนได้สารละลายแอลกอฮอล์เป็นสีชมพูถาวร

3. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ที่เป็นกลาง 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง เขย่าอย่างแรงให้ตัวอย่างละลายในแอลกอฮอล์ ถ้าละลายได้ไม่ดีให้อุ่นที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส

4. ไตเตรทสารละลายตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มาล ขณะไตเตรทต้องเขย่าอย่างแรงจนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูคงที่อยู่ประมาณ 1 นาที

การคำนวณ

$$\text{ค่ากรด} = \frac{\text{ปริมาตรด่างที่ใช้ (มล.)} \times \text{ความเข้มข้นด่าง (นอร์มาล)} \times 56.1}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)}}$$

กรดไขมันอิสระร้อยละในรูปกรดโอเลอิก

$$= \frac{\text{ปริมาตรด่างที่ใช้ (มล.)} \times \text{ความเข้มข้นด่าง (นอร์มาล)} \times 28.2}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)}}$$

กรดไขมันอิสระร้อยละในรูปกรดพาลมิติก

$$= \frac{\text{ปริมาตรด่างที่ใช้ (มล.)} \times \text{ความเข้มข้นด่าง (นอร์มาล)} \times 25.6}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)}}$$

หมายเหตุ : น้ำหนักโมเลกุลของกรดคลอริก = 200

น้ำหนักโมเลกุลของกรดพาลมิติก = 256

น้ำหนักโมเลกุลของกรดโอเลอิก = 282

ข3. การวิเคราะห์ค่าพาราอะนิซิดีน (*p*-Anisidine) (IUPAC, 1979)

อุปกรณ์

1. หลอดฝาเกลียว ขนาด 10 มิลลิลิตร
2. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร
3. ปิเปตอัตโนมัติหรือบิวเรตต์อัตโนมัติ
4. เครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ที่สามารถวัดได้ที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร
5. เซลล์แก้วขนาด 1.00(± 0.01) เซนติเมตร

สารเคมี

1. ไอโซออกเทน (2, 2, 4-ไตรเมทิลเพนเทน)
2. กรดแอซิติกเกรดวิเคราะห์
3. สารละลายพาราอะนิซิดีน (ละลายในกรดอะซิติก)

เตรียมโดยชั่งสารพาราอะนิซิดีน 2.5 กรัมละลายในกรดอะซิติก 1 ลิตร เมื่อเตรียมเสร็จเก็บในขวดสีชา

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 0.5 – 4.0 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ละลายและปรับปริมาตรด้วยไอโซออกเทน ลงขวดวัดปริมาตร 3 ขวด

2. วัดการดูดกลืนแสง (Ab) ของสารละลายไขมัน ที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร ในเซลล์ขนาด 1.00(± 0.01) เซนติเมตร ด้วยเครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ โดยใช้ไอโซออกเทนใส่ในเซลล์อ้างอิง

3. วัดการดูดกลืนแสง (As) ของสารละลายไขมันหลังทำปฏิกิริยากับสารละลายพาราอะนิสิดีน โดยปิเปตสารละลายไขมันปริมาตรแน่นอน 5 มิลลิเมตรจากตัวอย่างสารละลายไขมันข้างต้น ใส่ในหลอดฝาเกลียว จากนั้นเติมสารละลายพาราอะนิซิดีน 1 มิลลิลิตร ปิดฝา เขย่านาน 10 นาที วัดความยาวคลื่นที่ 350 นาโนเมตร โดยใช้ไอโซออกเทนปริมาตรแน่นอน 5 มิลลิลตร ใส่ในหลอดฝาเกลียว เติมสารละลายพาราอะนิซิดีน 1 มิลลิลิตร ปิดฝา เขย่านาน 10 นาที ใส่ในเซลล์อ้างอิง

การคำนวณ

$$\text{ค่าพาราอะนิสิดีน} = \frac{25(1.2\,As - Ab)}{m}$$

โดยที่

As = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไขมันหลังจากทำปฏิกิริยากับสารละลายพาราอะนิสิดีน

Ab = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไขมัน

m = มวล (กรัม) ของตัวอย่าง

ข4. การวิเคราะห์ค่าสารประกอบโพลาร์ (polar compound) (A.O.A.C., 2000)

อุปกรณ์

1. Column แก้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.1 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตร ที่มีวาล์วทำจาก Teflon และ joint ทำจากแก้ว

2. แผ่น TLC (Thin-Layer Chromatography) เคลือบด้วย silica gel หนา 0.25 มิลลิเมตร ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร x ยาว 20 เซนติเมตร

3. ขวดก้นกลมขนาด 250 ml. อบและทราบน้ำหนักที่แน่นอน

4. บีกเกอร์แก้ว

5. ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml.

สารเคมี

1. Silica gel 60 ขนาด 0.063-0.200 มิลลิเมตร Merck No. 7734
2. สารละลายผสมระหว่างปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ (87:13 v/v)
3. กรดโมลิปโดฟอสฟอริก (Molybdophosphoric acid) 10% ละลายในแอลกอฮอล์

วิธีการวิเคราะห์

1. เตรียม column แก้ว โดยนำ column ยึดกับขาตั้ง (stand) ในตู้ดูดควัน
2. ชั่ง silica gel 60 ปริมาณ 25 กรัมใส่บีกเกอร์ จากนั้นใส่สารละลายผสมระหว่างปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ (87:13 v/v) ประมาณ 80 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วจนหมดฟองอากาศ
3. นำสำลีปริมาณเล็กน้อยมาอุดใน column แก้ว ป้องกันการไหลออกของ silica gel 60 จากนั้นจึงเปิดวาล์ว column เล็กน้อย แล้วจึงคน silica gel 60 ที่เตรียมไว้ ค่อยๆรินใส่ลงใน column จนหมด ปล่อยให้สารละลายใน column ไหลออกจนเหลือเพียงเล็กน้อยบนผิวของ silica gel 60 แล้วจึงปิดวาล์ว column
4. เตรียมตัวอย่างโดยการชั่งน้ำมัน 2.5 ± 1 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 50 ml. ปรับปริมาตรด้วยสารละลายผสมระหว่างปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ (87:13 v/v)
5. ปิเปตสารละลายตัวอย่างน้ำมัน 20 ml. ลงใน column นำขวดก้นกลมมารองรับสารละลายจาก column ส่วนนี้จะเป็นส่วนของ nonpolar fraction เตรียมสารละลายผสมระหว่างปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์ (87:13 v/v) 150 มิลลิลิตรไว้ จากนั้นเปิดก๊อกปล่อยสารละลายตัวอย่างน้ำมันจาก column ไหลช้าๆจนเหลือบนผิว silica gel 60 ประมาณ 1 เซนติเมตรจึงค่อยๆรินสารละลายผสมที่เตรียมไว้ลงใน column (ระวังผิวหน้าของ slica gel ใน column) จนหมดและเหลือสารละลายผสมบนผิวหน้า silica gel ไว้พอประมาณ ปรับการไหลของ column ให้สารละลายไหลหมดภายใน 60-70 นาที
6. เปลี่ยนขวดก้นกลมใหม่มารองรับสารละลายจาก column ซึ่งส่วนนี้จะเป็น polar fraction เติมสารละลายไดเอทิลอีเทอร์ไว้ 150 มิลลิลิตร จากนั้นจึงค่อยๆรินลงไปใน column จนหมด ปรับการไหลของ column ให้สารละลายไหลหมดภายใน 60-70 นาที
7. นำขวดก้นกลมทั้งสองระเหยสารละลายออก อบและชั่งน้ำหนักสารที่ได้และนำไปคำนวณดังนี้

สารประกอบโพลาร์(%) = $\frac{E-A}{E} \times 100$

โดยที่

A = น้ำหนักของส่วน nonpolar fraction (กรัม)

E = น้ำหนักของสารละลายน้ำมันใน 20 มิลลิลิตร (กรัม)

8. ตรวจสอบประสิทธิภาพของการแยกด้วย column โดยใช้ TLC ทำโดยละลายส่วนที่เป็น polar และ nonpolar fraction ด้วยคลอโรฟอร์มปริมาณเล็กน้อย เตรียม spot สารละลายโดยใช้แท่งแก้วคาปิลารี ลงบนแผ่น TLC ที่ตัดมา ใช้สารละลายผสมปิโตรเลียมอีเทอร์และไดเอทิลอีเทอร์และกรดแอซิติก (70:30:2 v/v) เป็นตัวทำลายเคลื่อนที่ หลังจากตัวทำละลายเคลื่อนที่ถึงขอบแผ่น TLC แล้ว นำออกจากตัวทำละลายเคลื่อนที่ ให้สารละลายระเหยหมด จากนั้นนำไปสเปรย์ด้วยกรดโมลิปโดฟอสฟอริก 10% ที่ละลายในแอลกอฮอล์ แล้วนำไประเหยด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 120-130 ˚C จนปรากฏจุด spot บนแผ่น TLC ชัดเจน โดย spot ที่เป็นส่วน nonpolar fraction จะเป็นจุดกลมไม่มีหาง ในขณะที่ส่วนที่เป็น polar fraction มีลักษณะเป็นหางยาวและอยู่ต่ำกว่าตำแหน่งของส่วน nonpolar fraction บนแผ่น TLC

ภาคผนวก ค การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของน้ำมัน

ค1. การวัดค่าสี

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color quest XT

วิธีการวิเคราะห์

1. เปิด Power On ที่เครื่อง UPS

2. เปิด Power On สวิทซ์สีดำบริเวณด้านข้างเครื่อง

3. เมื่อปรากฏหน้าจอหลัก จะมีให้เลือกหลาย mode เลือก mode color เพื่อวัดค่าสีโดยการสัมผัสที่หน้าจอ

4. ทำการ standardization เครื่อง ดังนี้

4.1 สัมผัสที่ “STDZ” บนหน้าจอ

4.2 วางแผ่นสีดำมาตรฐาน (Black card) ด้านมันชิดด้านขวาบริเวณใกล้ sphere ปิดประตูเครื่อง จากนั้นสัมผัส OK บนหน้าจอ

4.3 นำแผ่น Black card ออกแล้ววาง Cell black (Cuvett) ซึ่งอาจใส่ตัวทำละลายหรือน้ำกลั่นลงในตำแหน่งเดียวกับที่วาง Black card จากนั้นสัมผัส OK บนหน้าจอ หน้าจอจะเข้าสู่หน้าจอใช้งาน

5. รินตัวอย่างใส่ใน Cuvett แล้ววางตัวอย่างลงในตำแหน่งที่ต้องการวัด (ตำแหน่งเดียวกับที่ได้ทำการ Standardize) ปิดประตูเครื่อง สัมผัสที่ READ บนหน้าจอ ตัวอย่างจะถูกวัดตามค่าที่ต้องการ (ค่าที่วัดได้จะเป็นค่า L*, a* และ b*) บันทึกค่าที่วัดได้

6. เมื่อสิ้นสุดการวัด สัมผัส CLEAR และ EXIT เพื่อออกสู่หน้าจอหลัก

7. ปิดสวิทซ์ OFF สีดำด้านข้างเครื่อง

8. ปิด OFF ที่เครื่อง UPS

ค2. การวัดความหนืด (ดัดแปลงจาก Sanchez-Gimeno *et al*., 2008)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดความหนืด Rheometer ยี่ห้อ Haake รุ่น Rheostress RS 75

วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องเข้าโปรแกรมสำเร็จรูปของเครื่อง เครื่องจะเลือกวัดในหน่วย mPas โดยอัตโนมัติ ตั้งอุณหภูมิในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตั้งความเร็วรอบในการวัดอยู่ในช่วง 0-300 รอบต่อวินาที (s^{-1})

2. การ calibrate เครื่องทำโดยใส่ถ้วยใส่ตัวอย่าง (concentric cylinder) และหัวหมุน (probe) เริ่มทำการ calibrate

3. การวัดตัวอย่างรินตัวอย่างลงในถ้วยตัวอย่างในปริมาณที่เท่ากันทุกตัวอย่าง วัดและจดบันทึกที่ shear rate 100 s^{-1}

ภาคผนวก ง การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของเนื้อไก่

ง1. การวัดค่าสี

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex

วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเข้าสู่โปรแกรมสำเร็จรูป โดยทำการเลือก start > program > HunterLab > Universal V3.73

2. ทำการ calibrate เครื่องวัดค่าสีด้วยแผ่นสีมาตรฐาน ดังนี้

   2.1 เลือก standardize แล้วเลือกขนาด port 0.5 นิ้ว

   2.2 วางแผ่นสีมาตรฐานสีดำ โดยวางด้านสีดำมันลงบน port

   2.3 วางแผ่นสีมาตรฐานสีขาว โดยให้จุดสีขาวบนแผ่นสีอยู่กึ่งกลาง port

3. กำหนดค่าในการวัด โดยเลือก active view แล้วเลือกคำสั่งต่างๆ ดังนี้

   3.1 scale เลือก CIE Lab เพื่อให้เครื่องวัดค่าสีในระบบ Hunter Lab (ค่าที่วัดได้จะเป็นค่า L*, a* และ b*)

   3.2 เลือกค่าแหล่งกำเนิดแสง (Illuminant) และค่าแหล่งแสงอ้างอิง (MI Illuminant) เท่ากับ D65

   3.3 เลือกองศาการมอง (observer) 2 º หรือ 10 º

   3.4 แหล่งแสงอ้างอิง (MI:Illuminant) เลือกเช่นเดียวกับแหล่งกำเนิดแสง

4. วางตัวอย่างลงบน port ให้ปิดรูของ port สนิท

5. ปิดฝาครอบ เพื่อมิให้มีแสงรบกวนจากภายนอก

6. เริ่มวัดค่าสีโดยเลือก read sample และรอจนเครื่องอ่านค่าเสร็จ

ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Appendix Table E1. Univariate analysis of variance of peroxide value, free fatty acid and *p*-anisidine value in oil after frying various temperatures and times

Analysis		DF	SS	MS	F
Peroxide Value	Corrected Model	8	49.337	6.167	60.326**
	Intercept	1	1315.671	1315.671	12869.729**
	Temperature	2	45.694	22.847	223.487**
	Time	2	2.613	1.306	12.779**
	Temperature x Time	4	1.030	0.257	2.518ns
	Error	27	2.760	0.102	
	Total	36	1367.768		
Free Fatty Acid	Corrected Model	8	0.124	0.01547	8.192**
	Intercept	1	36.682	36.682	19427.771**
	Temperature	2	0.103	0.05160	27.329**
	Time	2	0.01923	0.009616	5.093**
	Temperature x Time	4	0.001313	0.0003283	0.174ns
	Error	27	0.05098	0.001888	
	Total	36	36.857		
p-Anisidine Value	Corrected Model	8	132.042	16.505	50.261**
	Intercept	1	3221.242	3221.242	9809.092**
	Temperature	2	62.925	31.462	95.807**
	Time	2	77.146	38.573	117.460**
	Temperature x Time	4	15.217	3.804	11.584**
	Error	24	7.881	0.328	
	Total	33	3313.759		

** = Significant different ($p < 0.05$).

ns = non significant different ($p \geq 0.05$).

Appendix Table E2. Univariate analysis of variance of color in oil after frying various temperatures and times

Analysis		DF	SS	MS	F
*L**	Corrected Model	8	2.699	0.337	13011.5**
	Intercept	1	242694	242694	9×10^{9}**
	Temperature	2	1.388	0.694	26775.6**
	Time	2	1.255	0.627	24201.1**
	Temperature x Time	4	0.0554	0.014	534.571**
	Error	18	0.000467	0.000026	
	Total	27	242696		
*a**	Corrected Model	8	10.520	1.315	13149.5**
	Intercept	1	705.538	705.538	7×10^{6}**
	Temperature	2	8.888	4.444	44441.4**
	Time	2	1.549	0.775	7745.81**
	Temperature x Time	4	0.0822	0.021	205.426**
	Error	18	0.0018	0.0001	
	Total	27	716.059		
*b**	Corrected Model	8	40.611	5.076	44214.0**
	Intercept	1	69169.2	69169.2	6×10^{8}**
	Temperature	2	29.380	14.690	127947**
	Time	2	7.104	3.552	30937.1**
	Temperature x Time	4	4.127	1.032	8986.02**
	Error	18	0.00207	0.00011	
	Total	27	69209.8		

** = Significant different ($p < 0.05$).

ns = non significant different ($p \geq 0.05$).

Appendix Table E3. Univariate analysis of variance of viscosity value in oil and fat content in meat and skin chicken drumsticks after frying various temperatures and times

Analysis		DF	SS	MS	F
Viscosity value	Corrected Model	8	1.81×10^{-6}	2.3×10^{-7}	5.146**
	Intercept	1	0.131	0.131	3×10^{6}**
	Temperature	2	5.28×10^{-7}	2.6×10^{-7}	6.005**
	Time	2	7.82×10^{-7}	3.9×10^{-7}	8.891**
	Temperature x Time	4	5.01×10^{-7}	1.3×10^{-7}	2.8445ns
	Error	18	7.92×10^{-7}	4.4×10^{-8}	
	Total	27	0.131		
Fat content in meat	Corrected Model	8	3.708	0.463	2.197ns
	Intercept	1	99.372	99.372	471.123**
	Temperature	2	1.115	0.557	2.643ns
	Time	2	2.242	1.121	5.316ns
	Temperature x Time	4	0.350	0.088	0.415ns
	Error	9	1.898	0.211	
	Total	18	104.978		
Fat content in skin	Corrected Model	8	186.370	23.296	18.790**
	Intercept	1	16693.4	16693.4	13464.1**
	Temperature	2	31.238	15.619	12.598**
	Time	2	143.419	71.710	57.838**
	Temperature x Time	4	11.713	2.928	2.362ns
	Error	9	11.159	1.240	
	Total	18	16890.9		

** = Significant different ($p < 0.05$).

ns = non significant different ($p \geq 0.05$).

Appendix Table E4. Univariate analysis of variance of chicken drumstick color after frying various temperatures and times

Analysis		DF	SS	MS	F
*L**	Corrected Model	8	183.775	22.972	28.852**
	Intercept	1	41567.7	41567.7	52208.1**
	Temperature	2	113.111	56.556	71.033**
	Time	2	41.227	20.613	25.890**
	Temperature x Time	4	29.437	7.359	9.243**
	Error	18	14.331	0.796	
	Total	27	41765.8		
*a**	Corrected Model	8	100.703	12.588	26.535**
	Intercept	1	5025.522	5025.52	10593.5**
	Temperature	2	77.953	38.976	82.160**
	Time	2	5.863	2.932	6.179**
	Temperature x Time	4	16.888	4.222	8.899**
	Error	18	8.539	0.474	
	Total	27	5134.764		
*b**	Corrected Model	8	315.330	39.416	40.641**
	Intercept	1	13405.9	13405.9	138225**
	Temperature	2	249.229	124.614	128.487**
	Time	2	37.272	18.636	19.215**
	Temperature x Time	4	28.829	7.207	7.431**
	Error	18	17.457	0.970	
	Total	27	13738.7		

** = Significant different ($p < 0.05$).

ns = non significant different ($p \geq 0.05$).

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสุนิสา วิชาชูเชิด

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4911020043

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนการพัฒนาสาขาอุตสาหกรรมเกษตรสู่ความเป็นเลิศ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Wichachuchoet, S., Usawakesmanee, W., Siripongvutikorn, S., Jitbunjerdkul, S. and Wattanachant, S. 2007. Effect of frying on quality changes of chicken frying oil. Proceeding of 9th National Grad Research Conference, Graduate School, Burapha University. 14-15 March 2008.