ผลของการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่มีต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วระหว่างกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม

นางสาววิภาวรรณ กาฬสุวรรณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF SOYBEAN AND PALM OLEIN OIL BLENDS ON FORMATION OF POLAR COMPOUNDS DURING DEEP-FAT FRYING OF FRENCH FRIES

Miss Wipawan Kansuwan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่มีต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วระหว่างกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม
โดย	นางสาววิภาวรรณ กาฬสุวรรณ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นินนาท ชินประหัษฐ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเธียร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิภาวรรณ กาฬสุวรรณ : ผลของการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่มีต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วระหว่างกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม (EFFECTS OF SOYBEAN AND PALM OLEIN OIL BLENDS ON FORMATION OF POLAR COMPOUNDS DURING DEEP-FAT FRYING OF FRENCH FRIES) อ.ที่ปรึกษา : ดร.ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์ , 94 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่มีต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม จากการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพก่อนการทอดของน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่แปรสัดส่วนต่างๆ กัน ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลืองต่อปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 และ 30:70 (w/w) พบว่าน้ำมันทุกชนิดมีองค์ประกอบของกรดไขมัน ค่าความหนืด และค่าสี แตกต่างกัน และมีค่าสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด การศึกษาผลของอัตราส่วนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม โดยทอดมันฝรั่งแท่ง จำนวน 300 กรัม (ขนาด 0.6×0.6×7 เซนติเมตร) ในน้ำมันผสมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที ต่อครั้ง ทอดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าชนิดของน้ำมันมีผลต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) มีปริมาณสารประกอบมีขั้วต่ำที่สุด และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าความหนืด และค่าสี ต่ำกว่าน้ำมันผสมสูตรอื่นๆ อีกด้วย จึงเลือกใช้น้ำมันผสมสูตรดังกล่าวเพื่อศึกษาในขั้นต่อไป และจากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการใช้น้ำมันผสมสูตรที่เลือก โดยทอดมันฝรั่งแท่งในน้ำมันผสมสูตรดังกล่าว โดยแปรภาวะในการทอด 9 ภาวะ คือ อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส เวลาทอด 6 8 และ 10 นาที ตามลำดับ พบว่าภาวะในการทอดมีผลต่อการเกิดสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าความหนืด และค่าสี อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่าสารประกอบมีขั้วจะแปรผันตามอุณหภูมิและเวลาทอดที่เพิ่มขึ้น และเมื่อนำมันฝรั่งแท่งที่ทอดที่ภาวะต่างๆ มาทดสอบทางประสาทสัมผัสเพื่อดูความแตกต่างด้านสี กลิ่นหืน และความแข็ง โดยใช้การทดสอบ Quantitative descriptive analysis พบว่ามันฝรั่งแท่งที่ทอดที่ภาวะต่างกัน มีสี กลิ่นหืน และความแข็ง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การทดสอบความชอบของผู้บริโภคต่อมันฝรั่งแท่ง โดยใช้การทดสอบ 9-point hedonic scale พบว่ามันฝรั่งแท่งที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที ต่อครั้ง มีคะแนนเฉลี่ยด้านสี กลิ่นหืน ความแข็ง และความชอบโดยรวมสูงที่สุด และเมื่อใช้สมการ regression เพื่อทำนายระยะเวลาในการใช้ทอดนานที่สุดจนมีสารประกอบมีขั้วในน้ำมันที่ระดับ 25 เปอร์เซนต์ พบว่าการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) ทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที ต่อครั้ง สามารถทอดมันฝรั่งแท่งอย่างต่อเนื่องได้นานถึง 6.81 ชั่วโมง

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อนิสิต.....วิภาวรรณ กาฬสุวรรณ.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์.....

ปีการศึกษา....2550.....

4872464223 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORD : POLAR COMPOUNDS / BLENDED OIL / DEEP-FAT FRYING

WIPAWAN KANSUWAN : EFFECTS OF SOYBEAN AND PALM OLEIN OIL BLENDS ON FORMATION OF POLAR COMPOUNDS DURING DEEP-FAT FRYING OF FRENCH FRIES. THESIS ADVISOR : SASIKAN KUPONGSAK, Ph.D., 94 pp.

The purpose of this study was to investigate the effect of soybean and palm olein oil blends on formation of polar compounds during deep-fat frying of french fries. From the studies of chemical and physical properties of soybean oil, palm olein oil, and the blends of these oils before frying (soybean oil, the blends of soybean and palm olein oil at the proportion of 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70 (w/w), and palm olein oil), the results showed that all oils had differences in fatty acid composition, viscosity, and color values. The measured values of polar compound, free fatty acid, and peroxide of those oils in all formulas were within The Food and Drug Administration standard limits. The results from the study of the effect of the proportion of oil in the formula, by frying 300 g of french fries at 180 °C for 6 minutes per batch and continuous frying each batch untill the frying time reached 12 hours, demonstrated that oil formula had significant effect on the formation of polar compounds ($p \leq 0.05$). Moreover, the soybean and palm olein oil blend in the proportion of 30:70 (w/w showed the lowest polar compound formation and the rate of changes of this formula on free fatty acid, peroxide value, viscosity, and color were lower than those of the other formulas. Therefore, this soybean and palm olein oil blend was chosen to study in the next step. By varying the frying condition of temperature and time for 160, 180, 200 °C and 6, 8, and 10 minutes, respectively, the results showed that frying condition had significant effect on the formation of polar compounds, free fatty acid, peroxide, viscosity, and color values ($p \leq 0.05$). With the increasing of frying temperature and frying time, the polar compounds increased. The results from sensory evalutions by using quantitative descriptive analysis demonstrated that frying condition had significant differences on color, rancid, and hardness of french fries ($p \leq 0.05$). The preference test results by using 9-point hedonic scale indicated that french fries, which were fried at 180 °C for 6 minutes per batch, gave the highest score on color, rancid, hardness, and overall acceptance ($p \leq 0.05$). The regression analysis was used to predict the frying time untill 25% polar compounds in each formula were reached, it was found that soybean oil blended with palm oil at the proportion of 30:70 (w/w) for deep-fat frying french fries at the 180 °C for 6 minutes per batch could be fried continuously for 6.81 hours.

Department.....Food Technology..... Student's signature.....Wipawan Kansuwan.....

Field of study.....Food Technology..... Advisor's signature.....

Academic year....2007.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาแนะนำแนวทางในการวิจัย และให้คำปรึกษาที่มีประโยชน์ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.นินนาท ชินประหัษฐ์ ประธานสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเธียร และอาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ กลั่นกรอง และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ และขอบคุณเพื่อนๆ ระดับปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับกำลังใจ และน้ำใจที่มีให้ และผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือที่มิได้กล่าวนาม ก็ขอให้ได้รับความขอบคุณจากผู้วิจัยไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนพี่น้องทุกคนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือในทุกด้านแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 วารสารปริทัศน์..... 2

2.1 น้ำมันและองค์ประกอบของกรดไขมัน..... 2

2.2 ชนิดและองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน..... 6

2.3 กระบวนการทอดและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน..... 7

2.4 สารประกอบมีขั้ว (polar compounds)..... 16

2.5 การใช้น้ำมันผสมในกระบวนการทอด..... 20

3 การดำเนินงานวิจัย..... 22

3.1 ขอบเขตงานวิจัย..... 22

3.2 วัตถุดิบ..... 22

3.3 อุปกรณ์..... 23

3.4 สารเคมี..... 23

3.5 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันก่อนและหลังการทอด..... 23

3.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย..... 24

3.6.1 ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันก่อนการทอด..... 24

3.6.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่มีต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม..... 25

บทที่ **หน้า**

3.6.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการใช้น้ำมันผสมสูตรที่เลือกในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม…….. 26
3.6.4 สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างภาวะในการทอดที่มีต่อปริมาณสารประกอบมีขั้ว……..... 28
4 ผลการทดลองและวิจารณ์……..... 29
4.1 ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันก่อนการทอด…… 29
4.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่มีต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม…… 32
4.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการใช้น้ำมันผสมสูตรที่เลือกในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม…… 43
4.4 สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างภาวะในการทอดที่มีต่อปริมาณสารประกอบมีขั้ว……... 56
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ…… 59
รายการอ้างอิง…….. 61
ภาคผนวก…… 64
ภาคผนวก ก…… 65
ภาคผนวก ข…….. 68
ภาคผนวก ค…….. 74
ภาคผนวก ง…….. 76
ภาคผนวก จ…….. 78
ภาคผนวก ฉ…….. 83
ภาคผนวก ช…….. 88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์…… 94

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	กรดไขมันชนิดต่างๆ และสมบัติที่เกี่ยวข้อง.....	5
3.1	ภาวะในการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมในน้ำมันผสมสูตรที่เลือก.....	26
4.1	ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันแต่ละสูตร.....	29
4.2	สมบัติทางเคมีของน้ำมันแต่ละสูตรก่อนการทอด.....	30
4.3	สมบัติทางกายภาพของน้ำมันแต่ละสูตรก่อนการทอด.....	31
4.4	ค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันแต่ละสูตรที่ผ่านการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม ที่ระยะเวลา 0 4 8 และ 12 ชั่วโมง และอัตราการเปลี่ยนแปลงสารประกอบมีขั้ว.....	34
4.5	ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันแต่ละสูตรที่ผ่านการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม ที่ระยะเวลา 0 4 8 และ 12 ชั่วโมง และอัตราการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิสระ.....	37
4.6	ค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันผสมที่พิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอด.....	45
4.7	ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันผสมที่พิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอด.....	46
4.8	ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมที่พิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอด.....	47
4.9	ค่าความหนืดของน้ำมันผสมที่พิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอด.....	49
4.10	คะแนนเฉลี่ยด้านสีของมันฝรั่งแท่งที่ทอดโดยใช้น้ำมันผสม เมื่อพิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาทอด ทดสอบโดยใช้ QDA.....	52
4.11	คะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นหืนของมันฝรั่งแท่งที่ทอดโดยใช้น้ำมันผสม เมื่อพิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาทอด ทดสอบโดยใช้ QDA.....	53
4.12	คะแนนเฉลี่ยด้านสีของมันฝรั่งแท่งที่ทอดโดยใช้น้ำมันผสม เมื่อพิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาทอด ทดสอบโดยใช้ 9-point hedonic scale	54
4.13	คะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นหืนของมันฝรั่งแท่งที่ทอดโดยใช้น้ำมันผสม เมื่อพิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาทอด ทดสอบโดยใช้ 9-point hedonic scale	54

ตารางที่ **หน้า**

4.14 คะแนนเฉลี่ยด้านความแข็งของมันฝรั่งแท่งที่ทอดโดยใช้น้ำมันผสม เมื่อพิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาทอด ทดสอบโดยใช้ 9-point hedonic scale..... 55

4.15 คะแนนเฉลี่ยด้านความชอบโดยรวมของมันฝรั่งแท่งที่ทอดโดยใช้น้ำมันผสม เมื่อพิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาทอด ทดสอบโดยใช้ 9-point hedonic scale..... 55

4.16 ค่าสารประกอบมีขั้วที่ได้จากการทดลองและที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ regression..... 58

ข.1 น้ำหนักตัวอย่าง ปริมาตรของเอทิลแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เหมาะสมกับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในตัวอย่าง..... 69

ง.1 อัตราส่วนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน และปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิด..... 77

ช.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ก่อนการทอด..... 88

ช.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืด และค่าสี (L* a* และ b*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ก่อนการทอด..... 88

ช.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 4 8 และ 12 ชั่วโมง..... 89

ช.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 4 8 และ 12 ชั่วโมง..... 89

ช.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 4 8 และ 12 ชั่วโมง..... 89

ช.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 4 8 และ 12 ชั่วโมง..... 90

ช.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีความสว่าง (L*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 4 8 และ 12 ชั่วโมง..... 90

ช.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 4 8 และ 12 ชั่วโมง..... 90

ตารางที่ **หน้า**

ช.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 4 8 และ 12 ชั่วโมง..... 91

ช.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสารประกอบมีขั้ว กรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w)..... 91

ช.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืด และค่าสี (L* a* และ b*) ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w)..... 92

ช. 12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของมันฝรั่งแท่ง โดยใช้แบบทดสอบ Quantitative descriptive analysis (QDA)..... 92

ช. 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการประเมินผลทางประสาทสัมผัสของมันฝรั่งแท่ง โดยใช้แบบทดสอบ 9- point hedonic scale..... 93

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์หรือไตรเอซิลกลีเซอรอล..... 2

4.1 ค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันแต่ละสูตรที่ผ่านการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมที่ ระยะเวลาในการใช้ทอด 0 4 8 และ 12 ชั่วโมง..... 39

4.2 ค่าความหนืดของน้ำมันแต่ละสูตรที่ผ่านการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมที่ ระยะเวลาในการใช้ทอด 0 4 8 และ 12 ชั่วโมง..... 41

4.3 ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันแต่ละสูตรที่ผ่านการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมที่ ระยะเวลาในการใช้ทอด 0 4 8 และ 12 ชั่วโมง..... 42

4.4 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมในการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมที่ภาวะต่างๆ กับระยะเวลาในการใช้ทอด..... 48

4.5 ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันผสมในการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมที่ภาวะ ต่างๆ กับระยะเวลาในการใช้ทอด..... 50

4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอดที่มีต่อปริมาณ สารประกอบมีขั้ว ที่อุณหภูมิทอด 180 องศาเซลเซียส..... 57

ข.1 เครื่องวัดปริมาณสารประกอบมีขั้ว Testo 265..... 72

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

กระบวนการทอด เป็นการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูง เป็นเวลานาน โดยอาศัยน้ำมันเป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนไปยังอาหาร (เนื้อทอง วนานุวัธ, 2546) ทำให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งปฏิกิริยาสำคัญที่เกิดขึ้น ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซีส และพอลิเมอไรเซชัน (Jack, 2000) จากปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดสารประกอบมีขั้ว (polar compounds) ในน้ำมันส่งผลให้น้ำมันทอดเสื่อมคุณภาพ สารประกอบมีขั้วสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพของน้ำมัน พบว่าหากเกิดสารประกอบมีขั้วปริมาณมาก แสดงว่าน้ำมันชนิดนั้นมีความคงตัวต่อการทอดต่ำ เพราะจะเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ง่ายเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน และจากการวิจัยในหนูทดลอง พบว่าสารประกอบมีขั้วบางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง ซึ่งจะก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังหรือมะเร็งลำไส้ หากผู้บริโภคได้รับในปริมาณมากอาจเป็นอันตรายแก่ร่างกาย (Besbes และคณะ, 2005) ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วในน้ำมันเมื่อผ่านกระบวนการทอด คือ องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน โดยน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง จะมีโอกาสสร้างสารประกอบมีขั้วได้ง่ายกว่าน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ เพราะกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ในสายโมเลกุล จึงไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นน้ำมันแต่ละชนิดจึงมีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดแตกต่างกัน น้ำมันถั่วเหลืองไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในกระบวนการทอดที่ใช้ความร้อนสูง เป็นเวลานาน เนื่องจากน้ำมันชนิดนี้มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง โดยเฉพาะกรดลิโนเลอิกและกรดลิโนเลนิก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่สองและสามพันธะตามลำดับ กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งสองชนิดนี้จะไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพได้เร็วและมีอายุการใช้งานสั้น น้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน จึงมีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดได้ดีกว่าน้ำมันถั่วเหลือง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่มีต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วระหว่างกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดให้มีความคงตัวต่อความร้อนมากขึ้น

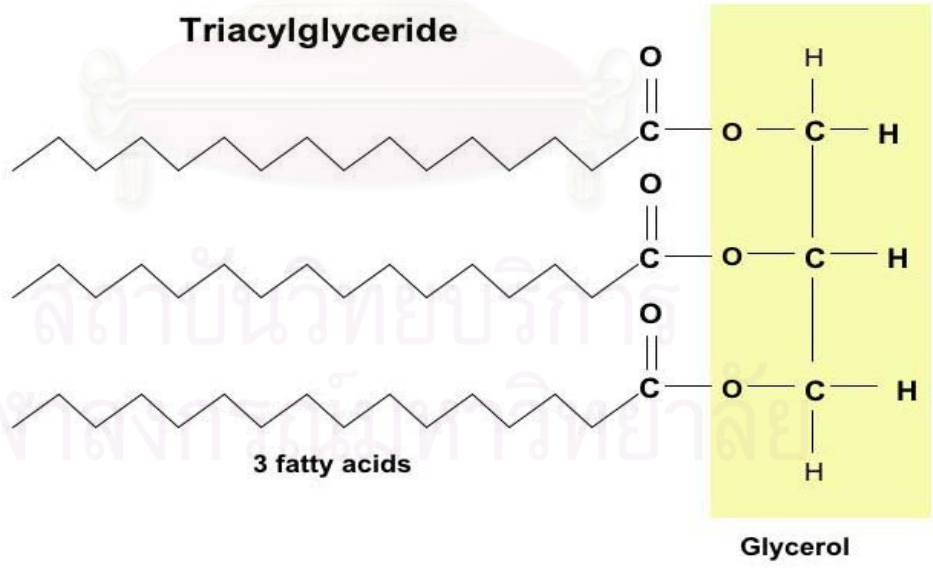
บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 น้ำมันและองค์ประกอบของกรดไขมัน

2.1.1 **น้ำมันหรือไขมัน** (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

น้ำมันหรือไขมัน หมายถึง ลิปิดประเภทไตรกลีเซอไรด์หรือไตรเอซิลกลีเซอรอล ซึ่งเป็นสารที่ประกอบด้วยกลีเซอรอล 1 โมเลกุล จับกับกรดไขมัน 3 โมเลกุล ด้วยพันธะเอสเทอร์ แสดงในรูปที่ 2.1 โดยทั่วไปไตรกลีเซอไรด์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดเดียวกันทั้ง 3 โมเลกุล จับกับกลีเซอรอล เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ธรรมดา ถ้ากรดไขมันที่เข้าจับกับกลีเซอรอลเป็นต่างชนิดกัน เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ผสม โดยทั่วไปไตรกลีเซอไรด์ที่พบในน้ำมันพืชจะเป็นไตรกลีเซอไรด์ผสม เพราะมีกรดไขมันหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ โดยมีทั้งกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์หรือไตรเอซิลกลีเซอรอล
ที่มา: Gunstone (2002)

2.1.2 **กรดไขมัน** (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์สายตรงที่มีสูตรโมเลกุลเป็น R-COOH ซึ่งในโมเลกุลประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) 1 หมู่ และหมู่แอลคิล (R-) โดยพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลของกรดไขมันมีทั้งที่เป็นพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ กรดไขมันที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมด เรียกว่า กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) ส่วนกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 พันธะหรือมากกว่า 1 พันธะ ในสายโมเลกุล เรียกว่า กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ในธรรมชาติจะพบกรดไขมันเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในน้ำมัน ไขมันและฟอสโฟกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ ที่พบในรูปกรดไขมันอิสระมีน้อยมาก น้ำมันและไขมันแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันที่ชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ พบว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ของไขมันจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัว ในขณะที่กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันจะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว

กรดไขมันอิ่มตัว

กรดไขมันอิ่มตัว มีสูตรทั่วไปเป็น $C_nH_{2n}O_2$ เป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในสายโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด และไม่สามารถรับไฮโดรเจนได้อีก ซึ่งจะมีความไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีน้อยที่สุด และมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันชนิดอื่นที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากันแต่มีพันธะคู่ในสายโมเลกุล ตัวอย่างกรดไขมันอิ่มตัว ได้แก่ butyric acid (C-4:0), lauric acid (C-12:0), myristic acid (C-14:0), palmitic acid (C-16:0), stearic acid (C-18:0), arachidic acid (C-20:0) และ behenic acid (C-22:0) เป็นต้น

กรดไขมันไม่อิ่มตัว

กรดไขมันไม่อิ่มตัว เป็นกรดไขมันที่พันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลบางตำแหน่งเป็นพันธะคู่ ทำให้สามารถเติมไฮโดรเจนอะตอมเข้าไปในโมเลกุลของกรดไขมันชนิดนี้ได้อีก ด้วยเหตุนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวจึงมีความไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีค่อนข้างมาก แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตามจำนวนพันธะคู่ ได้ดังนี้

ก. กรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง (Monounsaturated fatty acids) มีสูตรทั่วๆ ไปเป็น $C_nH_{2n-1}COOH$ ตัวอย่างกรดไขมันชนิดนี้ ได้แก่ palmitoleic acid (C-16:1), oleic acid (C-18:1) กรดไขมันทั้ง 2 ชนิดนี้พบได้ในไขมันและน้ำมันพืชทั่วไป

ข. กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (Polyunsaturated fatty acids) กรดไขมันชนิดนี้จะมีพันธะคู่ในสายโมเลกุลมากกว่า 1 พันธะ ส่วนใหญ่มีคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 18-22 อะตอม และมีพันธะคู่ 2-6 พันธะ ตัวอย่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง ได้แก่ linoleic acid (C-18:2) ซึ่งมีพันธะคู่สองพันธะ และ linolenic acid (C-18:3) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่สามพันธะในสายโมเลกุล กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งสองชนิดนี้จัดเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์เองได้ ต้องได้รับจากอาหารที่รับประทาน พบมากในน้ำมันพืช โดยเฉพาะในน้ำมันถั่วเหลือง

เนื่องจากกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ในโมเลกุล ทำให้การเรียงตัวของอะตอมหรือหมู่ที่เกาะอยู่กับคาร์บอนอะตอมระหว่างพันธะคู่มีโอกาสเรียงตัวได้แตกต่างกัน เกิดเป็นไอโซเมอร์ของกรดไขมัน โดยถ้าหมู่หรืออะตอมที่เหมือนกันเกาะอยู่ด้านเดียวกันกับคาร์บอนอะตอมระหว่างพันธะคู่ เรียกว่า cis-form แต่ถ้าหมู่หรืออะตอมที่เหมือนกันเกาะอยู่ด้านตรงข้ามระหว่างพันธะคู่ เรียกว่า trans-form ในธรรมชาติกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวส่วนใหญ่มีโครงสร้างแบบซิสไอโซเมอร์ แต่เมื่อน้ำมันผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น การให้ความร้อน หรือปฏิกิริยาไฮโดร-จิเนชัน กรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันจะมีลักษณะโครงสร้างแบบทรานส์ไอโซเมอร์ โดยลักษณะโครงสร้างที่เป็นซิสและทรานส์ที่อยู่ในกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำให้เกิดความแตกต่างทางด้านกายภาพ กรดไขมันแต่ละชนิดที่พบในน้ำมันพืชมีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากความยาวของสายโซ่ ระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน ส่งผลให้กรดไขมันแต่ละชนิดมีจุดหลอมเหลวที่แตกต่างกัน แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 กรดไขมันชนิดต่างๆ และสมบัติที่เกี่ยวข้อง

Fatty acid	Carbon atoms	Double bonds	Melting Point	
			°F	°C
Butyric	4	0	17.6	-8.0
Caproric	6	0	25.9	-3.4
Caprylic	8	0	62.1	16.7
Lauric	12	0	111.6	44.2
Myristic	14	0	129.9	54.4
Myristolic	14	1 cis	65.3	18.5
Palmitic	16	0	145.2	62.9
Palmitoleic	16	1 cis	113.0	45.0
Stearic	18	0	157.3	69.6
Oleic	18	1 cis	60.8	16.0
Elaidic	18	1 trans	111.1	44.0
Linoleic	18	2 cis cis	19.4	-7.0
Linolenic	18	3 cis cis cis	8.6	-13.0
Arachidic	20	0	167.5	75.3
Behenic	22	0	175.8	79.9
Erucic	22	1 cis	92.3	33.5
Lignoceric	24	0	183.6	84.5

ที่มา : Gunstone (2002)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ชนิดและองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน

2.2.1 **น้ำมันถั่วเหลือง** (พันธิพา จันทวัฒน์ และคณะ, 2548)

น้ำมันถั่วเหลืองเป็นน้ำมันพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เพราะเป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัว 10-19 เปอร์เซนต์ และกรดไขมันไม่อิ่มตัว 80-90 เปอร์เซนต์ กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีกรดลิโนเลอิกเป็นองค์ประกอบ 35-60 เปอร์เซนต์ กรดโอเลอิก 20-50 เปอร์เซนต์ และกรดลิโนเลนิก 2-13 เปอร์เซนต์ ดังนั้นน้ำมันถั่วเหลืองจึงมีสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) :กรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง (MUFA) :กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (PUFA) เป็น 1:2:4 นอกจากนี้น้ำมันถั่วเหลืองยังมีองค์ประกอบที่ไม่ใช่กลีเซอไรด์ ประกอบด้วย สเตอรอล โทโคฟีรอล และสเควลีน โดยโทโคฟีรอลมีสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ ป้องกันการออกซิเดชันของน้ำมัน จากองค์ประกอบของกรดไขมัน พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึง 54 เปอร์เซนต์ ดังนั้นน้ำมันถั่วเหลืองจึงเป็นน้ำมันพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เพราะเป็นแหล่งของกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย คือ กรดลิโนเลอิก จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้ในการประกอบอาหาร แต่เมื่อพิจารณาถึงความคงตัวของน้ำมันชนิดนี้ พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองไม่เหมาะที่จะใช้เป็นน้ำมันสำหรับการทอด โดยเฉพาะการทอดที่ใช้อุณหภูมิสูง เป็นเวลานาน เนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีกรดลิโนเลนิกเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญ และมีแสงเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น นอกจากปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนแล้ว น้ำมันถั่วเหลืองยังไวต่อการเกิดปฏิกิริยารีเวอร์ชั่น (reversion) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของน้ำมันถั่วเหลืองอีกด้วย

2.2.2 **น้ำมันปาล์มโอเลอิน** (พันธิพา จันทวัฒน์ และคณะ, 2548)

น้ำมันปาล์มโอเลอิน เป็นน้ำมันที่ได้จากส่วนของเนื้อปาล์ม โดยนำมาแยกส่วนภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิ เพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็ง (palm stearin) ออกจากส่วนที่เป็นของเหลวหรือปาล์มโอเลอิน (palm olein) น้ำมันปาล์มโอเลอินมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว 51-58 เปอร์เซนต์ ที่เหลือเป็นองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัว ดังนั้นน้ำมันชนิดนี้จึงนับเป็นน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนใกล้เคียงกัน กรดไขมันอิ่มตัวมีกรดปาล์มมิติกเป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 38-42 เปอร์เซนต์ ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว มีกรดโอเลอิก 41-44 เปอร์เซนต์ และกรดลิโนเลอิก 10-13 เปอร์เซนต์ น้ำมันปาล์มโอเลอินจึงเป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งพันธะคู่ในปริมาณสูงรองจากน้ำมันคาโนลา ขณะที่ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งมีต่ำกว่าในน้ำมันถั่วเหลือง ดังนั้นน้ำมัน

ชนิดนี้จึงมีสัดส่วนของ SFA:MUFA:PUFA เป็น 4:4:1 น้ำมันปาล์มโอเลอินนอกจากมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งพันธะคู่ ที่มีผลดีต่อการลดระดับโคเลสเตอรอลแล้ว ยังมีวิตามินอีซึ่งประกอบด้วยโทโคฟีรอล และโทโคไตรอีนอลส์ ซึ่งพบว่าโทโคไตรอีนอลส์ มีผลมากในการลดโคเลสเตอรอลในกลุ่มคนที่มีระดับโคเลสเตอรอลสูง น้ำมันปาล์มโอเลอินที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้ว อาจกล่าวได้ว่าปราศจากโคเลสเตอรอล ข้อมูลจากการศึกษาทางด้านโภชนาการของน้ำมันบริโภครายงานว่า การบริโภคอาหารที่มีน้ำมันปาล์มโอเลอินเป็นองค์ประกอบ ไม่มีผลในการเพิ่มอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคเส้นเลือดหัวใจ น้ำมันปาล์มโอเลอินมีความคงตัวสูงที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิขณะทอด เพราะน้ำมันชนิดนี้มีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังมีโทโคฟีรอลกับโทโคไตรอีนอลส์ ซึ่งเป็นสารกันหืนตามธรรมชาติในปริมาณสูงถึง 500-600 ppm จึงทำให้น้ำมันปาล์มโอเลอินมีอายุการใช้งานค่อนข้างยาว เกิดฟองน้อย และเกิดสารพอลิ-เมอร์โมเลกุลใหญ่น้อยกว่าในน้ำมันถั่วเหลือง และมีความคงตัวต่อปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดกลิ่นหืน ดังนั้น อาหารที่ผ่านการทอดโดยใช้น้ำมันปาล์มโอเลอินจึงไม่เกิดกลิ่นรสไม่พึงประสงค์

2.3 กระบวนการทอดและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน

2.3.1 กระบวนการทอด

Deep-fat frying หรือการทอดอาหารแบบน้ำมันท่วม เป็นกระบวนการทอดโดยใช้น้ำมันปริมาณมาก ซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนไปยังภายในชิ้นเนื้ออาหาร โดยที่ทุกส่วนที่ผิวหน้าของอาหารจะได้รับความร้อนเท่าๆ กัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีและลักษณะปรากฏสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้น การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นหน่วยปฏิบัติการ (unit operation) ที่ใช้ในการเปลี่ยนคุณภาพอาหารให้เหมาะสำหรับการบริโภค นอกจากนั้นยังมีผลในการเก็บถนอมอาหาร โดยการทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ในอาหารด้วยความร้อน (Fellows, 2000) และเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัส และกลิ่นรสที่ดีเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค กระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วมจึงเป็นวิธีการเตรียมอาหารที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง Moreira และคณะ (1999) กล่าวว่าวัตถุประสงค์หลักของการทอดแบบน้ำมันท่วม คือ การพัฒนาลักษณะสี และกลิ่นรสของอาหาร ซึ่งคุณภาพของอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันทอด และภาวะที่ใช้ในการทอด ตลอดจนคุณภาพของอาหารที่นำมาทอด

การทอดเป็นวิธีการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูง โดยอาศัยน้ำมันเป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนไปยังอาหาร เมื่ออาหารที่ต้องการทอดสัมผัสกับน้ำมันที่ร้อน อุณหภูมิของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำในอาหารจะเคลื่อนที่ออกจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนบริเวณผิวของอาหาร และน้ำมันจะเคลื่อนที่เข้าไปแทนที่น้ำหรือไอน้ำที่เคลื่อนที่ออกมา ส่งผลให้อาหารที่ผ่านการทอดมีความชื้นลดลงและมีการดูดกลืนน้ำมัน ผลของการให้ความร้อนแก่น้ำมันทำให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยปฏิกิริยาเคมีหลักที่เกิดขึ้น ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และพอลิเมอไรเซชัน (Jack, 2000) จากปฏิกิริยาดังกล่าวส่งผลต่อคุณภาพด้านสี ความหนืด และความคงตัวของน้ำมัน รวมทั้งคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทอดอีกด้วย องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันขณะทอด เนื่องจากในน้ำมันแต่ละชนิดมีองค์ประกอบของกรดไขมันแตกต่างกัน จะส่งผลให้บทบาท หน้าที่ และคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันแตกต่างกันด้วย การเลือกใช้น้ำมันสำหรับการทอดจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรพิจารณา โดยควรคำนึงถึงความคงตัวของน้ำมันเป็นหลัก เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันขณะทอด และได้ผลิตภัณฑ์อาหารทอดที่มีคุณภาพ ดังนั้นน้ำมันที่นำมาใช้ในกระบวนการทอดควรมีปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูง เพราะกรดไขมันชนิดนี้มีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดได้ดี (เนื้อทอง วนานุวัธ, 2546)

2.3.2 **ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทอด** (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548)

จากที่กล่าวข้างต้น จะเห็นว่าเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากกระบวนการทอดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมัน ซึ่งปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้น ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และพอลิเมอไรเซชัน โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ดังนี้

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

ในกระบวนการทอด เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนสูง และมีการสัมผัสกับออกซิเจน ซึ่งออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่ร้อนตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมัน เรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นผลให้พันธะคู่ในโมเลกุลของน้ำมันลดจำนวนลง เกิดสารชนิดใหม่ขึ้นในน้ำมัน ทำให้น้ำมันทอดเสื่อมคุณภาพ กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เริ่มจากออกซิเจนทำปฏิกิริยากับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวตรงตำแหน่งพันธะคู่ เกิดเป็นอนุมูลอิสระของกรดไขมัน จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารตัวกลางที่ไม่คงตัว สามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบอื่นได้ สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะเกิดการสลายตัวได้ 3 แบบ คือ เกิดการแตกตัว (fission) ได้เป็นแอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ กรด และไฮโดรคาร์บอน เกิดการสูญเสียน้ำได้เป็นคีโตน

และเกิดการก่อรูปของอนุมูลอิสระ ได้เป็น oxidative monomers, oxidative dimers, oxidative polymers, trimers, epoxides, alcohols, hydrocarbons, nonpolar dimers และ polymers ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ทำให้น้ำมันและอาหารที่ผ่านการทอดเกิดกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ (Perkins และ Erickson, 1996)

<u>ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันในกระบวนการทอด</u>

เนื่องจากในน้ำมันประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่างๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งสมบัติทางเคมีและกายภาพ ส่งผลให้น้ำมันมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ต่างกัน นอกจากนี้ส่วนประกอบในอาหารที่นำมาทอดอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน เพราะอาหารที่นำมาทอดจะทำหน้าที่ร่วมออกซิไดซ์ หรือทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่ถูกออกซิไดซ์แล้ว ดังนั้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน จึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและค่อนข้างสลับซับซ้อน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน มีดังนี้

ก.ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน เนื่องจากชนิดของกรดไขมันในโมเลกุลของไขมันและน้ำมันมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่ากรดไขมันอิ่มตัว และอัตราในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดอะราคิโดนิก (C20:4) : กรดลิโนเลนิก (C18:3) : กรดลิโนเลอิก (C18:2) : กรดโอเลอิก (C18:1) เป็น 40:20:10:1 นอกจากนี้กรดไขมันที่อยู่ในรูปซิสไอโซเมอร์จะเกิดการออกซิไดซ์ได้เร็วกว่ากรดไขมันที่อยู่ในรูปทรานส์ไอโซเมอร์

ข.กรดไขมันอิสระ กรดไขมันที่อยู่ในรูปอิสระจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายกว่ากรดไขมันที่อยู่ในรูปเอสเทอร์กับกลีเซอรอล

ค.ความเข้มข้นของออกซิเจน ในภาวะที่มีออกซิเจนมาก อัตราการเกิดออกซิเดชันจะไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน แต่ในภาวะที่มีออกซิเจนน้อยอัตราการเกิดออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน อย่างไรก็ตามผลของออกซิเจนยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย เช่น อุณหภูมิและพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับออกซิเจน

ง.อุณหภูมิ การเพิ่มอุณหภูมิในการทอด จะเป็นการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้น

จ.พื้นที่ผิว อัตราเร็วของการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อพื้นที่ผิวของน้ำมันที่สัมผัสกับอากาศ ดังนั้นหากอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น การเกิด

ออกซิเดชันจะเร็วขึ้น สำหรับอาหารที่เป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ การเกิดออกซิเดชันจะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่กระจายของออกซิเจนเข้าไปยังส่วนที่เป็นน้ำมัน

ฉ.Pro-oxidants แร่ธาตุหรือโลหะบางชนิด เช่น โคบอลต์ ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และนิกเกล มีสมบัติเป็น pro-oxidants ได้ที่ความเข้มข้นต่ำเพียง 0.1 ส่วนต่อล้านส่วน ซึ่งจะเร่งอัตราการเกิดออกซิเดชัน แร่ธาตุหรือโลหะเหล่านี้ได้มาจากดินที่ปลูกพืชและปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันพืชหรือมาจากสัตว์ และอุปกรณ์โลหะที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปและเก็บรักษา

ช.Radiant energy แสงและรังสีต่างๆ เช่น visible light แสงอัลตราไวโอเลต และแกมมาเรดิเอชัน มีผลช่วยเร่งให้เกิดออกซิเดชันได้เร็วขึ้น

ซ.สารต้านออกซิเดชัน สารต้านออกซิเดชันจะช่วยยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ซึ่งมีทั้งสารต้านออกซิเดชันธรรมชาติ เช่น วิตามินอีในน้ำมันพืช และสารต้านออกซิเดชันที่เป็นสารสังเคราะห์และอนุญาตให้เติมลงในอาหารได้ เช่น Propyl gallate Butylated hydroxyanisole (BHA) และ Butylated hydroxytoluene (BHT) เป็นต้น

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดอาหารแบบน้ำมันท่วม โดยเมื่อมีการทอดอาหารในน้ำมันที่ร้อน น้ำในอาหารที่ออกสู่น้ำมันในรูปของไอน้ำจะทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ จากปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดสารประกอบมีขั้วในน้ำมัน ได้แก่ กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และกลีเซอรอล (Bennion, 1995) อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หรือการเกิดกรดไขมันอิสระขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลายปัจจัย โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมันขณะทอด ได้แก่ ปริมาณน้ำจากอาหาร หากอาหารที่นำมาทอดมีปริมาณน้ำมากทำให้เกิดกรดไขมันอิสระมาก หรือการทอดอาหารอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน น้ำในอาหารที่ออกสู่น้ำมันในรูปของไอน้ำทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์มีมากขึ้น ส่งผลให้เกิดกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการทอดก็มีผลต่อการเกิดกรดไขมันอิสระเช่นกัน เพราะการใช้อุณหภูมิในการทอดสูงจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสได้อย่างรวดเร็ว และปริมาณเศษอาหารที่ตกค้างอยู่ในหม้อทอด เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เร่งการเกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมัน (Perkins และ Erickson, 1996)

ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization)

การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เป็นกระบวนการที่น้ำมันโมเลกุลเล็กๆ เกิดการรวมตัวกันเป็นสายโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นตรงบริเวณพันธะคู่ของกรดไขมัน ปฏิกิริยานี้จะเกิดต่อเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนสูง โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดการสร้างพันธะระหว่าง carbon-carbon หรือ carbon-oxygen-carbon ภายในโมเลกุลของกรดไขมันหรือระหว่างโมเลกุล ส่งผลให้เกิดสารประกอบที่มีสายโมเลกุลใหญ่และน้ำหนักโมเลกุลสูงจำพวก cyclic monomers, dimers และ polymers ซึ่งเป็นผลให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีสีคล้ำ นอกจากนี้น้ำมันอาจเกิดฟองเนื่องจากความหนืดที่สูงขึ้น ทำให้น้ำมันปลดปล่อยความชื้นออกสู่ภายนอกได้ยากขึ้น (Bennion, 1995)

2.3.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันระหว่างกระบวนการทอด

การให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูง เป็นเวลานาน โดยมีออกซิเจนและน้ำจากอาหารเป็นปัจจัยร่วม ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำมัน ส่งผลให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางด้านเคมีและกายภาพ โดยจะเกิดสารระเหยประเภทคาร์บอนิล กรดไฮดรอกซีและคีโตน ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำและมีกลิ่นหืน น้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในสภาพไม่มีออกซิเจน และให้สารพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง หรือให้สารประกอบไซคลิก น้ำมันจึงมีความหนืดสูงขึ้น นอกจากนี้เกิดการออกซิไดซ์วิตามินที่ละลายได้ในน้ำมัน ทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ โดยเรตินอล แคโรทีนอยด์ และโทโคฟีรอลจะถูกทำลายส่งผลให้สีและกลิ่นของน้ำมันเปลี่ยนไป (วิไล รังสาดทอง, 2547)

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันเมื่อได้รับความร้อน คือ ระดับความไม่อิ่มตัว (degree of unsaturation) ของกรดไขมันในน้ำมัน ซึ่งอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันในน้ำมันทอด Paul และ Mittal (1997) ได้รายงานว่ากรดลิโนเลนิกเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่สามตำแหน่ง ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายกว่ากรดโอเลอิกซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่หนึ่งตำแหน่ง น้ำมันถั่วเหลืองเป็นน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดลิโนเลนิกสูง จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้เป็นน้ำมันสำหรับทอดที่ใช้อุณหภูมิสูง เพราะจะเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ง่ายกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันอิ่มตัว การพิจารณาเลือกใช้น้ำมันให้เหมาะสำหรับใช้ทอด ควรคำนึงถึงความคงตัวของน้ำมันเป็นหลัก ดังนั้นน้ำมันปาล์มโอเลอินจึงเป็นน้ำมันที่เหมาะสำหรับนำมาใช้ทอดมากกว่าน้ำมันถั่วเหลือง เนื่องจากมีความคงตัวต่อความร้อน

ขณะทอดดีกว่า การพิจารณาถึงคุณภาพของน้ำมันเมื่อผ่านกระบวนการทอด สามารถพิจารณาได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมัน ดังนี้

ปริมาณกรดไขมันอิสระ

กรดไขมันอิสระเป็นองค์ประกอบอีกชนิดหนึ่งที่มีอยู่ในน้ำมัน โดยอาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการแปรรูปหรือระหว่างการเก็บรักษา ในกระบวนการทอดปริมาณกรดไขมันอิสระเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส โดยเมื่อมีการทอดอาหารในน้ำมันที่ร้อน น้ำในอาหารจะเคลื่อนที่ออกจากอาหารในรูปของไอน้ำทำปฏิกิริยากับพันธะเอสเทอร์ของไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมัน ได้เป็นกรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และกลีเซอรอล ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ จะแสดงถึงการแตกตัวของกรดไขมันเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน โดยน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งจะแตกตัวได้ดี จึงเกิดเป็นกรดไขมันอิสระได้มากหลังเสร็จกระบวนการทอด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) ตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 (พ.ศ.2543) กำหนดให้น้ำมันที่ผ่านกระบวนการทอดมีค่ากรดไขมันอิสระได้ไม่เกิน 0.6 เปอร์เซนต์ ผลของกระบวนการทอดต่อการเกิดกรดไขมันอิสระ มีดังงานวิจัยต่อไปนี้

Goburdhun และ Jhurree (1995) ได้ศึกษาความคงตัวของน้ำมันถั่วเหลืองในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยทอดมันฝรั่งแผ่นในน้ำมันถั่วเหลือง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มเคอร์เนล (17.27 เปอร์เซนต์ของปาล์มเคอร์เนล) และน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารแอนติออกซิแดนท์ โดยทอดที่อุณหภูมิ 180 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 7 นาทีต่อครั้ง และให้ความร้อนแก่น้ำมันโดยไม่มีการทอด 15 นาที แล้วนำไปทอดครั้งต่อไป รวมทอดทั้งสิ้น 16 ครั้ง เป็นเวลาทั้งหมด 337 นาที พบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันและสารแอนติออกซิแดนท์ มีผลต่อความคงตัวของน้ำมันในกระบวนการทอด โดยเมื่อพิจารณากรดไขมันอิสระ พบว่าหลังการทอดน้ำมันถั่วเหลืองทั่วไปมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มเคอร์เนล และน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารแอนติ-ออกซิแดนท์ ดังนั้นการผสมน้ำมันถั่วเหลืองกับน้ำมันปาล์มเคอร์เนล เพื่อปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน ให้มีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลง จะช่วยให้น้ำมันถั่วเหลืองมีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดได้ดีขึ้น นอกจากนี้การเติมสารแอนติออกซิแดนท์มีผลช่วยยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน ส่งผลให้น้ำมันมีความคงตัวต่อความร้อนได้เช่นกัน

Tan และ Cheman (1999) ได้ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อความคงตัวของน้ำมัน โดยนำน้ำมันข้าวโพด น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันถั่วเหลืองมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยไม่มีการทอดอาหาร สุ่มตัวอย่างน้ำมันเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมีทุก 2 ชั่วโมง พบว่าหลังการให้ความร้อนเป็นเวลา 12 ชั่วโมง น้ำมันทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณสารประกอบมีขั้ว และค่าเปอร์ออกไซด์ เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการทอด

ค่าเปอร์ออกไซด์

ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นการวัดปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่ร้อนตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมัน เกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของการออกซิเดชันในขั้น primary oxidation โดยสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่ไม่คงตัว เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง เป็นเวลานานจะกลายเป็น secondary oxidation products ได้แก่ แอลดีไฮด์ คีโตน กรด ไฮโดรคาร์บอน โมโนเมอร์ ไดเมอร์ และไตรเมอร์ เป็นต้น การวัดค่าเปอร์ออกไซด์จึงเป็นการพิจารณาถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันที่เกิดขึ้นในช่วงแรกก่อนที่สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะกลายเป็นผลิตภัณฑ์อื่น การออกซิเดชันของน้ำมันจะเกิดขึ้นตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมัน ดังนั้นน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดออกซิเดชันได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังได้กล่าวแล้วว่าค่าเปอร์ออกไซด์เป็นการวัดปริมาณสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการออกซิเดชัน ได้สารที่ไม่คงตัวซึ่งอาจสลายตัวได้ในภายหลัง ดังนั้นในการประเมินคุณภาพของน้ำมันทอด ควรใช้ค่าอื่นๆ ในการร่วมพิจารณาด้วย เช่น ค่าสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าความหนืด และค่าสี ซึ่งตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 (พ.ศ.2543) กำหนดให้น้ำมันที่ผ่านกระบวนการทอดมีค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน 10 meqv.O_2/kg งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ในกระบวนการทอด มีดังต่อไปนี้

Cheman และคณะ (2003) ได้ศึกษาความคงตัวของน้ำมันปาล์มโอเลอินในกระบวนการทอดกล้วยแผ่นแบบน้ำมันท่วม โดยทอดกล้วยแผ่นในน้ำมันปาล์มโอเลอิน 4 ชนิด คือ ชนิดที่หนึ่ง น้ำมันปาล์มโอเลอินทั่วไป (control) ชนิดที่สอง น้ำมันปาล์มโอเลอินที่เติม α-tocopherol (0.2 กรัมต่อกิโลกรัม) ชนิดที่สาม น้ำมันปาล์มโอเลอินที่เติม oleoresin rosemary (1 กรัมต่อกิโลกรัม) และชนิดที่สี่ น้ำมันปาล์มโอเลอินที่เติม α-tocopherol และ oleoresin

rosemary ในอัตราส่วน 0.1:0.5 กรัมต่อกิโลกรัม โดยทอดที่อุณหภูมิ 180±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาทีต่อครั้ง และให้ความร้อนแก่น้ำมันโดยไม่มีการทอด 17 นาที แล้วนำไปทอดครั้งต่อไป รวมทอดทั้งสิ้น 6 ครั้งต่อวัน (ทอดทั้งสิ้น 30 ครั้ง เป็นเวลา 5 วัน) เก็บตัวอย่างน้ำมันหลังทอดเสร็จในแต่ละวันเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมี พบว่าสารแอนติออกซิแดนท์สามารถยับยั้งการออกซิเดชันของน้ำมันได้ โดยเมื่อพิจารณาค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่าหลังการทอดปริมาณค่าเปอร์-ออกไซด์เพิ่มขึ้นในน้ำมันทุกชนิดที่นำมาวิเคราะห์ และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของสารแอน-ติออกซิแดนท์ในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันปาล์มโอเลอินที่ดีที่สุด ตามลำดับ ได้ดังนี้ oleoresin rosemary > α-tocopherol กับ oleoresin rosemary > α-tocopherol > control

Naz และคณะ (2004) ได้ศึกษาผลขององค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันและสภาวะต่างๆ ต่อความคงตัวของน้ำมันในกระบวนการทอด โดยนำน้ำมันพืช 3 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันมะกอก ทดลองด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ คือ สภาวะที่หนึ่ง น้ำมันถูกเก็บในที่มีออกซิเจน สภาวะที่สอง น้ำมันถูกเก็บในที่มีออกซิเจนร่วมกับแสง และสภาวะที่สาม การทอดแบบน้ำมันท่วม นำตัวอย่างน้ำมันที่ทดลองด้วยสภาวะต่างกันวิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่าองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันและสภาวะต่างๆ มีผลต่อความคงตัวของน้ำมัน โดยเมื่อพิจารณาค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าน้ำมันข้าวโพดและน้ำมันมะกอก นอกจากนี้สภาวะในการทดลองก็มีผลต่อความคงตัวของน้ำมันเช่นกัน โดยน้ำมันที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมมีปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าน้ำมันที่เก็บไว้ในสภาวะมีออกซิเจนร่วมกับแสง และน้ำมันที่เก็บไว้ในที่มีออกซิเจนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการทอดแบบน้ำมันท่วม เป็นการทอดที่ใช้อุณหภูมิสูง โดยมีแสงและออกซิเจนเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้ในสภาวะดังกล่าวนี้น้ำมันมีความคงตัวต่อความร้อนต่ำกว่า

ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติทางกายภาพ ที่ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงคุณภาพของน้ำมัน ซึ่งความหนืดเป็นผลมาจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ที่เกิดจากการ cross-linking ภายในโมเลกุลหรือระหว่างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นตรงบริเวณพันธะคู่ของกรดไขมัน โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดการสร้างพันธะระหว่าง carbon-carbon หรือ carbon-oxygen-carbon ภายในโมเลกุลของกรดไขมันหรือระหว่างโมเลกุล ส่งผลให้เกิดสารประกอบที่มีสายโมเลกุลใหญ่และน้ำหนักโมเลกุลสูงจำพวก cyclic monomers, dimers และ polymers เป็นผลให้น้ำมันมี

ความหนืดเพิ่มขึ้นและมีสีคล้ำ นอกจากนี้น้ำมันอาจเกิดฟองเนื่องจากความหนืดที่สูงขึ้น (Bennion, 1995)

Besbes และคณะ (2005) ได้ศึกษาความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันเมล็ดอินทผลัม โดยทดลองใช้น้ำมันเมล็ดอินทผลัม 2 สายพันธุ์จากประเทศตูนีเซีย คือ พันธุ์ Deglet nour และ พันธุ์ Allig ให้ความร้อนแก่น้ำมันเมล็ดอินผลัมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างน้ำมันวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมี พบว่า น้ำมันเมล็ดอินทผลัมทั้ง 2 สายพันธุ์ มีความคงตัวต่อความร้อนแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาค่าความหนืด พบว่าหลังการให้ความร้อนแก่น้ำมันเมล็ดอินทผลัมพันธุ์ Allig มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันเมล็ดอินผลัมพันธุ์ Deglet nour เพราะน้ำมันเมล็ดอินทผลัมพันธุ์ Allig มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่า ดังนั้นอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงสูง เกิดสารประกอบชนิดใหม่ที่สามารถทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน โดยการสร้างพันธะ carbon-carbon หรือ carbon-oxygen-carbon ภายในโมเลกุลของกรดไขมันหรือระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้น้ำมันชนิดนี้มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันเมล็ดอินผลัมพันธุ์ Deglet nour

สีของน้ำมัน

เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนสูง เป็นเวลานาน จะเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมัน ซึ่งปฏิกิริยาสำคัญที่เกิดขึ้น คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซีส และพอลิเมอไร-เซชัน จากปฏิกิริยาดังกล่าวจะมีผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพของน้ำมัน คือ น้ำมันจะมีสีเข้มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ree Housson และ Ziprin (1992) ที่กล่าวว่า เมื่อระยะเวลาในการใช้ทอดนานขึ้น สีของน้ำมันที่ใช้ทอด beef nugget จะเข้มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส และปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นระหว่างการทอด ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลชนิดไม่อิ่มตัวที่ส่งผลให้สีของน้ำมันเข้มขึ้น นอกจากนี้สีของอาหารที่นำมาทอดสามารถละลายในน้ำมัน ทำให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้นเช่นกัน กล่าวคือ ในกระบวนการทอดสีของผลิตภัณฑ์เกิดจากปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเกิดจากการให้ความร้อนทำให้น้ำตาลรีดิวซ์ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนของโปรตีนเกิดสารพอลิเมอร์ซึ่งให้สารสีน้ำตาล คือ melanoidins ปฏิกิริยานี้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดมีสี และสามารถละลายในน้ำมันได้ ทำให้น้ำมันมีสีเข้มข้น (Bemiller และ Whistler, 1996) งานวิจัยที่กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันในกระบวนการทอด มีดังต่อไปนี้

Goburdhun Seebun และ Ruggoo (2000) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยตัวอย่างอาหารที่นำมาทดลอง คือ มันฝรั่งแผ่น และ chicken drumsticks ทอดอาหารอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยมันฝรั่งแผ่นใช้เวลาทอด 7 นาทีต่อครั้ง และ chicken drumsticks ใช้เวลาทอด 15 นาทีต่อครั้ง รวมทอดอาหารแต่ละชนิดจำนวน 15 ครั้ง เวลาทอดทั้งหมด 315 นาที อัตราส่วนของอาหารทอดต่อน้ำมันเป็น 1:6 เก็บตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ทอดทุก 45 นาที เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลือง เมื่อพิจารณาคุณสมบัติด้านสีของน้ำมันถั่วเหลืองหลังการทอด พบว่าเมื่อเวลาในการทอดนานขึ้น น้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ทอดมันฝรั่งแผ่น และ chicken drumsticks มีค่าสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันในกระบวนการทอดเกิดจากหลายปัจจัย คือ ก) มีผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซีส และพอลิเมอไรเซชัน จากปฏิกิริยาเหล่านี้ทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่ไม่อิ่มตัวขึ้นในน้ำมัน ซึ่งสารดังกล่าวจะดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงแสงอินฟาเรด ส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้น ข) เนื่องจากรงควัตถุในอาหาร เช่น แคโรทีนอยด์ ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนจะสามารถละลายได้ในน้ำมัน ค) เป็นผลมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีของผลิตภัณฑ์อาหารขณะทอด คือ ปฏิกิริยา Maillard ที่ทำให้เกิดสารสีน้ำตาล ที่เรียกว่า melanoidin ซึ่งสามารถละลายในน้ำมันได้ ง) เมื่อเวลาในการทอดนานขึ้นสารประกอบในน้ำมันที่มีการจับตัวกันในลักษณะ conjugated double bonds สามารถดูดกลืนแสงสีน้ำเงินได้มากขึ้น ทำให้เห็นน้ำมันเป็นสีส้มหรือสีน้ำตาลมากขึ้น และนอกจากนี้เมื่อระยะเวลาในการใช้ทอดนานขึ้นอาจเกิดการสะสมของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในน้ำมันจึงส่งผลให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีสีเข้มขึ้นด้วย

2.4 **สารประกอบมีขั้ว** (polar compounds)

สารประกอบมีขั้ว คือ สารประกอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด ซึ่งปฏิกิริยาเคมีหลักที่ส่งผลให้เกิดสารประกอบมีขั้ว ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซีส และพอลิเมอไรเซชัน จากปฏิกิริยาเหล่านี้ส่งผลให้ไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันเปลี่ยนจากสารไม่มีขั้วเป็นสารมีขั้ว หรือ polar compounds ตัวอย่างสารประกอบมีขั้ว ได้แก่ กรดไขมันอิสระ โมโนเอซิลกลีเซอรอล และไดเอซิลกลีเซอรอล เป็นต้น เนื่องจากสารประกอบมีขั้วเป็นสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาต่างๆ เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด จึงสามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกความคงตัวของน้ำมัน กล่าวคือ หากเกิดสารประกอบมีขั้วในน้ำมันปริมาณมาก แสดงว่าน้ำมันชนิดนั้นมีความคงตัวต่อการทอดต่ำ เพราะ

จะเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ง่ายเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน ส่งผลให้น้ำมันทอดเสื่อมคุณภาพได้เร็ว ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283 (พ.ศ.2547) ได้กำหนดให้น้ำมันที่ผ่านกระบวนการทอดมีค่าสารประกอบมีขั้วได้ไม่เกิน 25 เปอร์เซนต์ หากในน้ำมันมีสารประกอบมีขั้วเกินที่กำหนด จัดเป็นน้ำมันที่มีอันตรายต่อสุขภาพ เพราะสารประกอบมีขั้วบางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง จากการวิจัยในหนูทดลอง พบว่าสารประกอบมีขั้วในน้ำมันบางชนิดอาจก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังหรือมะเร็งลำไส้ ซึ่งเป็นอันตรายแก่ผู้บริโภค (Besbes และคณะ, 2005) การเกิดสารประกอบมีขั้วในน้ำมันมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น กรดไขมันในน้ำมันพืชแต่ละชนิด ซึ่งจะมีความแตกต่างกันที่ชนิด และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอร์-ไรด์ น้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบจะไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่ในสายโมเลกุล คาร์บอนอะตอมตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันสามารถทำปฏิกิริยากับอะตอมอื่นๆ ได้ เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากกระบวนการทอดจึงเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ง่ายกว่าน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วในน้ำมัน คือ อุณหภูมิและระยะเวลาในการใช้ทอด ซึ่งจะเป็นตัวเร่งให้ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ของน้ำมันเกิดได้เร็วขึ้น ทำให้น้ำมันมีการแตกตัวเกิดเป็นสารประกอบมีขั้วมากขึ้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) งานวิจัยอื่นๆ ที่กล่าวถึงการเกิดสารประกอบมีขั้วในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม มีดังนี้

Warner และคณะ (1994) ได้ศึกษาผลของชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันทอดต่อคุณภาพและความคงตัว โดยทอดมันฝรั่งแผ่นในน้ำมันคาโนลาทั่วไป และน้ำมันคาโนลาที่ผ่าน mutation breeding เพื่อให้มีองค์ประกอบของกรดไขมันแตกต่างกัน ทดลองให้ความร้อนแก่น้ำมันคาโนลาชนิดต่างๆ วันละ 9 ชั่วโมง เป็นเวลา 2 วัน เก็บตัวอย่างน้ำมันวิเคราะห์ทุก 3 ชั่วโมง พบว่า น้ำมันคาโนลาที่ผ่าน mutation breeding ให้มีปริมาณกรดโอเลอิกสูงถึง 78 เปอร์เซนต์ จะมีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าน้ำมันคาโนลาทั่วไป โดยมีปริมาณสารประกอบมีขั้ว และสารประกอบที่ระเหยได้ (volatile compounds) ต่ำสุดทุกช่วงเวลา

Su และ White (2004a) ได้ศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันถั่วเหลืองต่อความคงตัวของน้ำมันชนิดนี้ในกระบวนการทอด โดยทอดขนมปัง (ขนาด 2.54×2.54×1.27 เซนติเมตร) ที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ในน้ำมันถั่วเหลือง 4 ชนิด ที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันแตกต่างกันจากการ mutation breeding คือ น้ำมันถั่วเหลืองชนิดมีกรดโอเลอิกสูง (โอเลอิก 79 เปอร์เซนต์) น้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป (โอเลอิก 21.5 เปอร์เซนต์) น้ำมัน

ถั่วเหลืองชนิดมีกรดลิโนเลนิกต่ำ (ลิโนเลนิก 1.4 เปอร์เซนต์ และโอเลอิก 25.3 เปอร์เซนต์) และน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองชนิดมีกรดโอเลอิกสูงกับน้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองชนิดมีกรดโอเลอิกสูง (โอเลอิก 79 เปอร์เซนต์) มีความคงตัวดีที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองชนิดอื่น โดยน้ำมันถั่วเหลืองชนิดนี้จะเกิดสารประกอบมีขั้วในระดับต่ำกว่าน้ำมันถั่วเหลืองชนิดอื่น เนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดลิโนเลอิกและกรดลิโนเลนิกในปริมาณต่ำ เมื่อได้รับความร้อนจึงเกิดปฏิกิริยาได้ช้า ส่งผลให้น้ำมันชนิดนี้มีความคงตัวต่อความร้อนได้ดี

Warner และ Gupta (2003) ได้ศึกษาคุณภาพและความคงตัวของน้ำมันถั่วเหลืองในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยทอดมันฝรั่งแผ่นในน้ำมัน 3 ชนิด คือ น้ำมันเมล็ดฝ้าย น้ำมันถั่วเหลืองที่มีการปรับปรุงสายพันธุ์ให้มีปริมาณกรดลิโนเลนิก 0.8-2 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ โดยทอดมันฝรั่งแผ่นที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 ชั่วโมง พบว่าหลังการทอดน้ำมันถั่วเหลืองที่มีปริมาณกรดลิโนเลนิกในระดับ 0.8-2 เปอร์เซนต์ จะเกิดสารประกอบมีขั้วน้อยกว่าการทอดด้วยน้ำมันเมล็ดฝ้าย เพราะการลดปริมาณกรดลิโนเลนิกจะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน จึงทำให้น้ำมันถั่วเหลืองดังกล่าวมีความคงตัวต่อความร้อนได้ดีและส่งผลให้คุณภาพด้านกลิ่นของอาหารดีขึ้นขณะเก็บรักษา

Sanibal และ Mancini-Filho (2004) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองหลังกระบวนการทอด โดยทอดมันฝรั่งแผ่นในน้ำมันถั่วเหลือง 2 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป (มีปริมาณกรดลิโนเลนิก 4.79 เปอร์เซนต์) และน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการไฮโดรจิ-เนชัน (มีปริมาณกรดลิโนเลนิก 0.42 เปอร์เซนต์) ทอดมันฝรั่งแผ่นที่อุณหภูมิ 180±5 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 4 นาทีต่อครั้ง โดยปริมาณของมันฝรั่งแผ่นที่ใช้ทอดต่อน้ำมัน คิดเป็น 10 เปอร์เซนต์ (w/v) ทอดตัวอย่างวันละ 10 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วัน รวมเวลาทอดทั้งหมด 50 ชั่วโมง มันฝรั่งแผ่นที่ใช้จำนวน 2310 กรัมต่อชนิดน้ำมัน เก็บตัวอย่างน้ำมันหลังทอดแต่ละวันเพื่อวิเคราะห์ค่าทางเคมี พบว่า หลังทอดน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันจะมีปริมาณสารประกอบมีขั้ว 23 เปอร์เซนต์ ซึ่งต่ำกว่าในน้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป ที่มีปริมาณสารประกอบมีขั้วถึง 40.5 เปอร์เซนต์ เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเป็นปฏิกิริยาที่มีการเติมไฮโดรเจนเพื่อจับกับคาร์บอนตรงพันธะคู่ของกรดไขมัน ทำให้ระดับความไม่อิ่มตัวของน้ำมันลดลง จึงส่งผลให้น้ำมันถั่วเหลืองชนิดนี้มีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดมากกว่าน้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป

Yaghmur และคณะ (2001) ได้ศึกษาผลขององค์ประกอบของกรดไขมันต่อความคงตัวของน้ำมัน โดยทดลองใช้น้ำมัน 3 ชนิด คือ Argen oil (พืชน้ำมันที่พบทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศโมรอคโค ซึ่งมีปริมาณกรดโอเลอิก 54.4 เปอร์เซนต์ และกรดลิโนเลอิก 24.4 เปอร์เซนต์) High oleic olive oil (กรดโอเลอิก 78.2 เปอร์เซนต์ และกรดลิโนเลอิก 7.9 เปอร์เซนต์) และ cottonseed oil (กรดโอเลอิก 19.8 เปอร์เซนต์ และกรดลิโนเลอิก 52.0 เปอร์เซนต์) โดยให้ความร้อนแก่น้ำมันทั้ง 3 ชนิดนี้ ที่อุณหภูมิ 180±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยไม่มีการทอดอาหารแต่จะหยดน้ำเปล่าปริมาตร 2 มิลลิลิตร ทุก 4 ชั่วโมงของการให้ความร้อน จากนั้นปรับอุณหภูมิเป็น 170±2 องศาเซลเซียส ทอดมันฝรั่งแผ่น (หนา 10 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร) จำนวน 4 ชิ้นลงทอดเป็นเวลา 5 วินาทีต่อครั้ง และให้ความร้อนแก่น้ำมันโดยไม่มีการทอด 5 นาที ทอดมันฝรั่งทั้งหมด 11 ครั้ง เก็บตัวอย่างน้ำมันวิเคราะห์ค่าทางเคมี พบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมีผลต่อความคงตัว โดยที่หลังการทอด Argen oil และ High oleic olive oil มีความคงตัวต่อการทอดดีกว่า cottonseed oil โดยมีค่าสารประกอบมีขั้ว ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าความหนืดต่ำกว่าในทุกช่วงเวลาของการทอด

Houhoula Oreopoulou และ Tzia (2003) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการใช้ทอดต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วในกระบวนทอดแบบน้ำมันท่วม อุณหภูมิที่ใช้ทอด คือ 155 165 175 185 และ 195 องศาเซลเซียส โดยทอดมันฝรั่งแผ่นที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าในกระบวนการทอดการเกิดสารประกอบมีขั้วมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการใช้ทอด คือ ปริมาณสารประกอบมีขั้วเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการใช้ทอดเพิ่มขึ้น

Razali และ Badri (2006) พบว่ามันฝรั่งจะมีการดูดซับน้ำมันหลังผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมและมีความชื้นลดลง เพราะไอน้ำจะระเหยออกจากอาหารเมื่อได้รับความร้อนและถูกแทนที่ด้วยโมเลกุลของน้ำมัน และพบว่าจะเกิดสารพอลิเมอร์และสารประกอบมีขั้วในน้ำมันเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อได้รับความร้อนซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะส่งผลต่อคุณภาพของน้ำมันหลังการทอด

2.5 การใช้น้ำมันผสมในกระบวนการทอด

องค์ประกอบของกรดไขมัน (fatty acid composition) ในน้ำมันแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ส่งผลให้บทบาท หน้าที่ และคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันแตกต่างกันด้วย ในกระบวนการทอด ปัจจัยที่ควรใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา เพื่อเลือกน้ำมันสำหรับใช้ทอด คือ ความคงตัวของน้ำมัน เพราะการทอดเป็นการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูง เป็นเวลานาน น้ำมันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมัน และมีผลต่อผลิตภัณฑ์อาหารทอดอีกด้วย กรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมัน จะไวต่อการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ เมื่อน้ำมันได้รับความร้อน น้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดนี้อยู่ในปริมาณมากจะมีความคงตัวต่อความร้อนต่ำ ปัจจุบันได้มีการวิจัยเกี่ยวข้องกับการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันบริโภค และการใช้น้ำมันผสมเพื่อทดแทนการใช้น้ำมันเพียงชนิดเดียวในการประกอบอาหาร เพื่อทำให้น้ำมันมีความคงตัวต่อความร้อนดีขึ้น และมีคุณค่าทางโภชนาการให้คุณประโยชน์ต่อร่างกายตามที่ต้องการ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำมันผสมในกระบวนการทอด มีดังต่อไปนี้

Bastida และ Sanchez-Muniz (2002) ได้ศึกษาผลขององค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันต่อการเกิดสารประกอบมีขั้ว และ Triacylglycerols oligomer (TAG-oligomer) ในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยทดลองใช้น้ำมัน 3 ชนิด คือ น้ำมันมะกอก น้ำมันเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันมะกอกกับน้ำมันเมล็ดทานตะวัน อัตราส่วน 50:50 (v/v) ทอดอาหารชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลาในการทอดขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร เมื่อพิจารณาค่าสารประกอบมีขั้ว พบว่า น้ำมันผสมสามารถลดการเกิดสารประกอบมีขั้วหลังการทอดซ้ำได้ โดยเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดให้มีสารประกอบมีขั้วในน้ำมันทอดได้สูงสุด 25 เปอร์เซนต์ พบว่าน้ำมันมะกอกสามารถทอดซ้ำได้ 32.2 ชั่วโมง (คำนวณโดยใช้ linear transformation) น้ำมันผสมทอดซ้ำได้ 27.5 ชั่วโมง และการใช้น้ำมันเมล็ดทานตะวันเพียงอย่างเดียวสามารถใช้ทอดซ้ำได้เพียง 22.5 ชั่วโมง ดังนั้น น้ำมันผสมสูตรดังกล่าวสามารถทดแทนการใช้น้ำมันมะกอกและน้ำมันเมล็ดทานตะวันเพียงอย่างเดียวได้

Su และ White (2004b) ได้ศึกษาผลของกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วมต่อคุณภาพและกลิ่นรสของอาหาร โดยทอดขนมปังในน้ำมันถั่วเหลืองแต่ละชนิดที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันต่างกันโดยการ mutation breeding คือ น้ำมันถั่วเหลืองชนิดมีกรดโอเลอิกสูง (โอเลอิก 79 เปอร์เซนต์) น้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป (โอเลอิก 21.5 เปอร์เซนต์) น้ำมันถั่วเหลืองชนิดมีกรดลิโนเลนิกต่ำ (ลิโนเลนิก 1.4 เปอร์เซนต์ และโอเลอิก 25.3 เปอร์เซนต์) และน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองชนิดมีกรดโอเลอิกสูงกับน้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป โดยทอดขนมปัง (ขนาด 2.54×2.54×1.27 เซนติเมตร) จำนวน 5 ชิ้น ที่อุณหภูมิ 185±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาทีต่อครั้ง ให้ความร้อนแก่น้ำมันโดยไม่ทอดตัวอย่าง 3 นาที ทอดสลับกับการให้ความร้อนตามที่กล่าวข้างต้น จนครบ 2.5 ชั่วโมงต่อวัน (รวมเวลาในการทอดทั้งหมด 7.5 ชั่วโมงต่อชนิดน้ำมัน) พบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันมีผลต่อคุณภาพของขนมปังทอด โดยขนมปังที่ผ่านการทอดโดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองชนิดมีกรดลิโนเลนิกต่ำจะมีคุณภาพและกลิ่นรสดีที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น

Chatzilazarou และคณะ (2006) ได้ศึกษาการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันมะกอกกับน้ำมันข้าวโพด อัตราส่วน 50:50 (w/w) เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันมะกอกเพียงอย่างเดียว โดยทอดมันฝรั่งแผ่น (หนา 0.5 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร) และปลาคอด (ขนาด 3×3×1.5 เซนติเมตร) แบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส โดยมันฝรั่งแผ่นทอดนาน 6 นาทีต่อครั้ง และปลาคอดทอดนาน 8 นาทีต่อครั้ง ทอดมันฝรั่งแผ่นและปลาคอด ตัวอย่างละ 5 ครั้ง เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมงต่อวัน (ทอดทั้งหมด 2 วัน เป็นเวลา 10 ชั่วโมงต่อน้ำมัน 1 ชนิด) เก็บตัวอย่างน้ำมันหลังทอดเสร็จในแต่ละวัน เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมัน เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบมีขั้ว โดยใช้เกณฑ์ข้อกำหนดที่อนุญาตให้มีสารประกอบมีขั้วในน้ำมันทอดได้ 27 เปอร์เซนต์ พบว่า การใช้น้ำมันมะกอกเพียงอย่างเดียวสามารถทอดมันฝรั่งแผ่นและปลาคอดได้นาน 43 และ 36.9 ชั่วโมง ตามลำดับ (คำนวณโดยใช้สมการ linear regression) และการใช้น้ำมันผสมสามารถทอดมันฝรั่งแผ่นและปลาคอดได้นาน 32.7 และ 29.1 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนการใช้น้ำมันข้าวโพดเพียงอย่างเดียวจะเกิดสารประกอบมีขั้วในน้ำมันในระดับเดียวกันหลังการทอดมันฝรั่งแผ่นและปลาคอดที่ 19.9 และ 18.4 ชั่วโมง ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้น้ำมันผสมในการทอดมันฝรั่งและปลาคอดจะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันมะกอกมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันข้าวโพด ดังนั้นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันมะกอกกับน้ำมันข้าวโพด อัตราส่วน 50:50 (w/w) จึงมีประสิทธิภาพเพียงพอเพื่อทดแทนการใช้น้ำมันมะกอกเพียงอย่างเดียว

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

3.1.1 ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันก่อนการทอด

3.1.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่มีต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม

3.1.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการใช้น้ำมันผสมสูตรที่เลือกในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม

3.1.4 สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างภาวะในการทอดต่อปริมาณสารประกอบมีขั้ว

3.2 วัตถุดิบ

3.2.1 น้ำมันถั่วเหลือง จากบริษัทอุตสาหกรรมวิวัฒน์ ผลิตเมื่อ วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2550

3.2.2 น้ำมันปาล์มโอเลอิน จากบริษัทมรกต อินดัสตรี้ส์ จำกัด ผลิตเมื่อ วันที่ 7 ธันวาคม 2549

3.2.3 มันฝรั่งแท่งสำเร็จรูปแช่แข็ง ยี่ห้อ Tesco Lotus ผลิตโดย บริษัทโตไกย่า จำกัด

มันฝรั่งแท่งที่นำมาทดลองมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ไขมัน 4.5 เปอร์เซนต์ โปรตีน 2 เปอร์เซนต์ คาร์โบไฮเดรต 28 เปอร์เซนต์ และความชื้น 65.5 เปอร์เซนต์ และมีขนาด 0.6×0.6×7 เซนติเมตร นำมันฝรั่งแท่งเก็บรักษาไว้ในตู้แช่แข็ง ที่อุณหภูมิ –18 องศา-เซลเซียส จนกระทั่งนำมาใช้ทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 อุปกรณ์

- เครื่องวัดความหนืด (Brookfield รุ่น DV I, USA)
- เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter, รุ่น CR-300,Japan)
- เครื่องวัดสารประกอบมีขั้ว (Testo 265, Germany)
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Satorius, A 200s)
- นาฬิกาจับเวลา (Alba, sw01-x002)
- หม้อทอด ขนาด 4 ลิตร (Princess 2626 Deep Fryer, Netherland)

3.4 สารเคมี

- กรดอะซิติก (Acetic acid; CH_3COOH, A.R. Grade)
- กรดไฮโดรคลอริก 1 M (Hydrochloric acid 1M; HCl, A.R. Grade)
- คลอโรฟอร์ม (Chloroform; $CHCl_3$, A.R. Grade)
- โซเดียมไทโอซัลเฟท (Sodium Thiosulphate ; $Na_2S_2O_3.5H_2O$, A.R. Grade)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH, A.R. Grade)
- โพแทสเซียมไดโครเมท (Potassium Dichromate; $K_2Cr_2O_7$, A.R. Grade)
- โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide; KI, A.R. Grade)
- โพแทสเซียมไฮโดรเจนธาเลท (Potassium hydrogen phthalate; $KOOC.C_6H_4COOH$, A.R. Grade)
- ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein; $C_{20}H_{14}O_4$, A.R. Grade)
- สารละลายน้ำแป้งสุก (Starch solution; A.R. Grade)
- เอทิลแอลกอฮอลล์ 95 % (Ethyl alcohol 95% ; C_2H_5OH, Commercial Grade)

3.5 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันก่อนและหลังการทอด

3.5.1 วิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมัน ตามวิธีของ AOCS:Ce 1f-96 (1998)

วิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมัน โดยใช้เครื่อง gas chromatography (Agilent รุ่น 6890N, USA) ส่งตรวจที่ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รายละเอียดในภาคผนวก ก)

3.5.2 วัดและวิเคราะห์สมบัติทางเคมี (รายละเอียดในภาคผนวก ข)

- วัดค่าสารประกอบมีขั้ว โดยใช้เครื่อง Testo 265
- วิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมัน โดยวิธี Titration (AOCS:Ca5a-40, 1998)
- วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน โดยวิธี Titration (AOCS:Cd 8-53, 1998)

3.5.3 วัดสมบัติทางกายภาพ (รายละเอียดในภาคผนวก ค)

- วัดค่าสี โดยใช้เครื่อง Minolta Chroma Meter, รุ่น CR-300
- วัดค่าความหนืด โดยใช้เครื่อง Brookfield รุ่น DVI

3.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.6.1 ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันก่อนการทอด

3.6.1.1 ผสมน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์มโอเลอินตามอัตราส่วนที่กำหนด เพื่อให้ได้น้ำมันผสมที่มีปริมาณของกรดไขมันแต่ละชนิดในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (รายละเอียดในภาคผนวก ง) น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง มีทั้งหมด 7 สูตร ดังนี้

สูตร 1 น้ำมันถั่วเหลือง (SO)
สูตร 2 SO: PO (70: 30 w/w)
สูตร 3 SO: PO (60: 40 w/w)
สูตร 4 SO: PO (50: 50 w/w)
สูตร 5 SO: PO (40: 60 w/w)
สูตร 6 SO: PO (30:70 w/w)
สูตร 7 น้ำมันปาล์มโอเลอิน (PO)

3.6.1.2 นำน้ำมันแต่ละสูตรมาวัดและวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ องค์ประกอบกรดไขมัน (รายละเอียดในภาคผนวก ก) ค่าสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข) และสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนืด และค่าสี (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค) เพื่อศึกษาคุณภาพเบื้องต้นของน้ำมันแต่ละสูตรก่อนนำไปใช้ทอด

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT)

3.6.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่มีต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม

นำน้ำมันทั้ง 7 สูตร (ตามข้อ 3.6.1.1) ที่ผ่านการวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพแล้ว มาใช้ทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม โดยใช้ตัวอย่างน้ำมันแต่ละสูตรปริมาตร 4 ลิตร ใส่ในหม้อทอดไฟฟ้าแบบมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันให้คงที่ระหว่างการทอด ทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส มันฝรั่งแท่งที่ใช้ทอด (ขนาด 0.6×0.6 ×7 เซนติเมตร) จำนวน 300 กรัมต่อการทอด 1 ครั้ง เวลาในการทอดมันฝรั่งแท่ง 6 นาที ต่อครั้ง เมื่อทอดครบ 6 นาที จะตักมันฝรั่งแท่งขึ้นจากหม้อทอด และนำมันฝรั่งแท่งชุดต่อไปลงทอดตามปริมาณและเวลาที่กำหนดข้างต้น ทอดอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่จนระยะเวลาในการทอดมันฝรั่งแท่งครบ 6 ชั่วโมงต่อการทอด 1 วัน ทอดจนครบ 12 ชั่วโมง (ทอดทั้งหมด 2 วันต่อน้ำมัน 1 สูตร) เก็บตัวอย่างน้ำมันจำนวน 300 มิลลิลิตร ทุก 4 ชั่วโมงของการทอด เพื่อวัดและวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข) และสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนืดและค่าสี (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค)

วิเคราะห์คุณภาพน้ำมันทางด้านเคมีและกายภาพ โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 2 ซ้ำ โดยมีสูตรของน้ำมันเป็นปัจจัยในการศึกษา วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DNMRT

3.6.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการใช้น้ำมันผสมสูตรที่เลือกในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม

กำหนดให้ภาวะที่ใช้ในการทอดมันฝรั่งแท่งในน้ำมันผสมสูตรที่เลือก จากข้อ 3.6.2 มีทั้งหมด 9 ภาวะ แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ภาวะในการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมในน้ำมันผสมสูตรที่เลือก

ภาวะการทอด	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาทอด (นาที)
1	160	6
2	160	8
3	160	10
4	180	6
5	180	8
6	180	10
7	200	6
8	200	8
9	200	10

นำน้ำมันผสมสูตรที่เลือก จากข้อ 3.6.2 ปริมาตร 1 ลิตร ใส่ในหม้อทอดไฟฟ้าแบบมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันให้คงที่ระหว่างการทอด ใส่มันฝรั่งแท่ง (ขนาด 0.6×0.6×7 เซนติเมตร) จำนวน 75 กรัมต่อการทอด 1 ครั้ง ลงทอดตามภาวะที่กำหนด (แสดงในตารางที่ 3.1) เมื่อทอดครบตามเวลาที่กำหนด ตักมันฝรั่งแท่งขึ้นจากหม้อทอด และนำมันฝรั่งแท่งชุดต่อไปลงทอดตามปริมาณและเวลาที่กำหนดข้างต้น ทอดอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการเติมน้ำมันใหม่จนระยะเวลาในการใช้ทอดมันฝรั่งแท่งครบ 2 ชั่วโมงต่อการทอด 1 ภาวะ เก็บตัวอย่างน้ำมันจำนวน 300 มิลลิลิตร ทุก 1 ชั่วโมงของการทอด เพื่อวัดและวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข) และสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนืดและค่าสี (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค)

วิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันทางด้านเคมีและกายภาพ โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ขนาด 3×3×3 โดยมีปัจจัยในการศึกษา 3 ปัจจัย ปัจจัยแรก คือ อุณหภูมิในการทอด มี 3 ระดับ (160 180 และ 200 องศาเซลเซียส) ปัจจัยที่สอง คือ เวลาทอด มี 3 ระดับ (6 8 และ 10 นาที) และปัจจัยที่สาม คือ ระยะเวลาในการใช้ทอด มี 3 ระดับ (0 1 และ 2 ชั่วโมง) ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DNMRT

เมื่อทอดมันฝรั่งแท่งในน้ำมันผสมสูตรที่เลือกตามภาวะที่กำหนด (แสดงในตารางที่ 3.1) จนระยะเวลาในการใช้ทอดครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำมันฝรั่งแท่งทอดในน้ำมันผสมสูตรที่เลือกด้วยภาวะต่างๆ อีกครั้ง เพื่อประเมินผลทางประสาทสัมผัสของมันฝรั่งแท่ง เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาทอด ที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของมันฝรั่งแท่ง โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

แบบทดสอบที่หนึ่ง คือ Quantitative Descriptive Analysis (QDA) เพื่อทดสอบผลของอุณหภูมิ และเวลาทอด ที่มีต่อความแตกต่างด้านสี กลิ่นหืน และความแข็งของมันฝรั่งแท่ง โดยใส่ตัวอย่างมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันผสมสูตรที่เลือกด้วยภาวะการทอดต่างๆ ลงในถ้วยพลาสติกที่มีรหัสติดไว้ ให้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝน 10 คน ทดสอบตัวอย่างทีละตัวอย่าง โดยชิมจากซ้ายไปขวา ผู้ทดสอบพิจารณาตัวอย่างมันฝรั่งแท่ง และให้คะแนนเพื่อดูความแตกต่างด้านสี กลิ่นหืน และความแข็ง โดยกำหนดระดับคะแนน 0-10 โดย 10 หมายถึง ผลิตภัณฑ์มีสี กลิ่นหืน และความแข็งมากที่สุด และ 0 หมายถึง ผลิตภัณฑ์มีสี กลิ่นหืน และความแข็งน้อยที่สุด (รายละเอียดในภาคผนวก จ)

แบบทดสอบที่สอง คือ 9-point hedonic scale เพื่อทดสอบว่าการใช้น้ำมันผสมสูตรที่เลือกทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม ด้วยอุณหภูมิ และเวลาทอดเท่าไหร่ ที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับต่อมันฝรั่งแท่งในด้านสี กลิ่นหืน ความแข็ง และความชอบโดยรวมมากที่สุด โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 30 คน ทดสอบตัวอย่างทีละตัวอย่าง โดยชิมจากซ้ายไปขวา ผู้ทดสอบพิจารณาตัวอย่างมันฝรั่งแท่ง และให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นหืน ความแข็ง และความชอบโดยรวม โดยกำหนดระดับคะแนน 1-9 โดย 9 หมายถึง ผู้ทดสอบมีความชอบในด้านสี กลิ่นหืน ความแข็ง และความชอบโดยรวมมากที่สุด และ 1 หมายถึง ผู้ทดสอบมีความชอบในด้านสี กลิ่นหืน ความแข็ง และความชอบโดยรวมน้อยที่สุด

ประเมินผลทางประสาทสัมผัสของมันฝรั่งแท่งที่ทอดในน้ำมันผสมสูตรที่เลือกด้วยภาวะการทอดต่างๆ โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD ขนาด 3×3 โดยมีปัจจัยในการศึกษา 2 ปัจจัย ปัจจัยแรก คือ อุณหภูมิในการทอด มี 3 ระดับ (160 180 และ 200 องศาเซลเซียส) และปัจจัยที่สอง คือ เวลาทอด มี 3 ระดับ (6 8 และ 10 นาที) ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DNMRT

3.6.4 สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างภาวะในการทอดที่มีต่อปริมาณสารประกอบมีขั้ว

ใช้สมการ regression เพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างภาวะในการทอดที่มีต่อปริมาณสารประกอบมีขั้ว และหาระยะเวลาในการใช้ทอดนานที่สุดของการใช้น้ำมันผสมสูตรที่เลือกจนมีปริมาณสารประกอบมีขั้วที่ระดับ 25 เปอร์เซนต์ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันก่อนการทอด

4.1.1 สมบัติทางเคมีของน้ำมันแต่ละสูตรก่อนการทอด

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมัน พบว่าน้ำมันแต่ละสูตรมีองค์ประกอบของกรดไขมันแตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 4.1 โดยน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (PUFA) สูงที่สุด และมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง (MUFA) และกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันสูตรอื่น เมื่อพิจารณาองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มโอเลอิน พบว่าน้ำมันชนิดนี้มีกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบนั้นจะเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่งถึง 43.34 เปอร์เซนต์ และน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินแต่ละสูตรจะมีปริมาณของกรดไขมันแต่ละชนิดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน พบว่าปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะเพิ่มขึ้นเมื่อการผสมกันมีอัตราส่วนของน้ำมันถั่วเหลืองมากขึ้น

ตารางที่ 4.1 ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันแต่ละสูตร

สูตรน้ำมัน (w/w)	ปริมาณกรดไขมัน (%)		
	กรดไขมันอิ่มตัว (SFA)	กรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง (MUFA)	กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (PUFA)
ถั่วเหลือง (SO)	17.55	25.82	58.03
SO:PO (70:30)	25.79	31.07	44.12
SO:PO (60:40)	28.53	32.83	39.48
SO:PO (50:50)	31.28	34.81	34.48
SO:PO (40:60)	34.02	36.33	30.21
SO:PO (30:70)	36.77	38.09	25.57
ปาล์มโอเลอิน (PO)	45.00	43.34	11.66

สมบัติทางเคมีของน้ำมันแต่ละสูตรก่อนการทอด แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าน้ำมันทุกสูตรที่นำมาวิเคราะห์มีค่าสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข มาพิจารณาร่วม พบว่าน้ำมันทุกสูตรมีค่าเหล่านี้อยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด คือ มีค่าสารประกอบมีขั้วไม่เกิน 25 เปอร์เซนต์ (ตามประกาศฉบับที่ 283 พ.ศ.2547) ค่ากรดไขมันอิสระไม่เกิน 0.6 เปอร์เซนต์ และค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน 10 meqv.O_2/kg (ตามประกาศฉบับที่ 205 พ.ศ.2543)

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีของน้ำมันแต่ละสูตรก่อนการทอด

สูตรน้ำมัน (w/w)	สมบัติทางเคมี		
	สารประกอบมีขั้ว (%)	กรดไขมันอิสระ (% as oleic acid)	เปอร์ออกไซด์ (meqv.O_2/kg)
ถั่วเหลือง (SO)	10.00^{a} ± 1.41	0.03^{d} ± 0.00	2.89^{a} ± 0.08
SO:PO (70:30)	9.50^{ab} ± 0.70	0.04^{c} ± 0.01	2.24^{b} ± 0.01
SO:PO (60:40)	9.25^{ab} ± 0.35	0.04^{c} ± 0.00	2.17^{c} ± 0.02
SO:PO (50:50)	9.00^{bc} ± 0.00	0.05^{b} ± 0.00	1.88^{d} ± 0.01
SO:PO (40:60)	8.75^{c} ± 0.35	0.05^{b} ± 0.01	1.67^{e} ± 0.02
SO:PO (30:70)	7.50^{d} ± 0.70	0.06^{a} ± 0.00	1.55^{f} ± 0.01
ปาล์มโอเลอิน (PO)	6.50^{e} ± 0.00	0.06^{a} ± 0.00	0.80^{g} ± 0.42

a,b,c,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.1.2 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันแต่ละสูตรก่อนการทอด

สมบัติทางกายภาพของน้ำมันแต่ละสูตรก่อนการทอด แสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าน้ำมันทุกสูตรที่นำมาวิเคราะห์มีค่าสี และค่าความหนืด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่าความสว่าง (L*) ต่ำกว่าน้ำมันสูตรอื่นๆ แต่มีค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) สูงกว่า เนื่องจากน้ำมันปาล์โอเลอินมีปริมาณของแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารที่ให้สีเหลืองหรือสีแดง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) ดังนั้นน้ำมันชนิดนี้จึงมีสีเข้มกว่าน้ำมันสูตรอื่นๆ และเมื่อพิจารณาค่าความหนืด พบว่าความหนืดเริ่มต้นของน้ำมันแต่ละสูตรจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันชนิดนั้นๆ โดยน้ำมันถั่วเหลืองมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง จึงมีความหนืดเริ่มต้นสูงกว่าน้ำมันสูตรอื่นๆ ที่นำมาวิเคราะห์

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันแต่ละสูตรก่อนการทอด

สูตรน้ำมัน (w/w)	สมบัติทางกายภาพ			
	สี			ความหนืด (cps)
	L*	a*	b*	
ถั่วเหลือง (SO)	101.26[a] ± 0.02	-5.59[g] ± 0.01	11.76[g] ± 0.03	86.70[a] ± 0.28
SO:PO (70:30)	101.08[b] ± 0.02	-5.35[f] ± 0.01	14.07[f] ± 0.01	86.75[a] ± 0.07
SO:PO (60:40)	101.03[c] ± 0.01	-5.27[e] ± 0.01	14.55[e] ± 0.01	76.70[b] ± 0.14
SO:PO (50:50)	99.91[d] ± 0.02	-4.87[d] ± 0.02	16.48[d] ± 0.02	60.40[c] ± 0.14
SO:PO (40:60)	99.80[e] ± 0.13	-4.52[c] ± 0.01	17.41[c] ± 0.02	53.54[d] ± 0.34
SO:PO (30:70)	99.12[f] ± 0.02	-4.44[b] ± 0.01	19.04[b] ± 0.01	46.63[e] ± 0.11
ปาล์มโอเลอิน (PO)	99.12[f] ± 0.02	-3.98[a] ± 0.01	20.87[a] ± 0.03	46.80[e] ± 0.13

a,b,c,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวัดและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันแต่ละสูตรก่อนการทอด จะเห็นได้ว่าน้ำมันทุกสูตรที่นำมาวิเคราะห์ มีองค์ประกอบของกรดไขมัน ค่าความหนืด และค่าสีแตกต่างกัน นอกจากนี้น้ำมันแต่ละสูตรมีค่าสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ อยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข โดยค่าสารประกอบมีขั้ว อ้างอิงตามประกาศฉบับที่ 283 พ.ศ.2547 และค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ อ้างอิงตามประกาศฉบับที่ 205 พ.ศ.2543 ดังนั้นน้ำมันทุกสูตรที่นำมาวิเคราะห์เป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดี มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทดลองในขั้นตอนต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่มีต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม

เมื่อนำน้ำมันผสมแต่ละสูตรมาใช้ทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม จากนั้นวัดและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ เพื่อพิจารณาถึงความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันเมื่อผ่านการทอดที่ระยะเวลาในการใช้ทอดต่างๆ ได้ผลการศึกษา ดังต่อไปนี้

จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของน้ำมันระหว่างกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม พบว่าชนิดของน้ำมันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทุกช่วงเวลาของการทอด (การวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงในภาคผนวก ช)

เมื่อพิจารณาค่าสารประกอบมีขั้ว พบว่าน้ำมันแต่ละสูตรมีปริมาณสารประกอบมีขั้วแตกต่างกัน โดยเมื่อทอดมันฝรั่งแท่งในน้ำมันแต่ละสูตรเป็นเวลา 12 ชั่วโมง น้ำมันถั่วเหลืองเกิดสารประกอบมีขั้วสูงที่สุด คือ 17 เปอร์เซนต์ และน้ำมันปาล์มโอเลอินเกิดสารประกอบมีขั้วต่ำที่สุด คือ 12 เปอร์เซนต์ เมื่อพิจารณาในส่วนของน้ำมันผสม พบว่าน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) มีปริมาณสารประกอบมีขั้วต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันผสมสูตรอื่นๆ แสดงในตารางที่ 4.4

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าน้ำมันแต่ละสูตรเกิดสารประกอบมีขั้วในปริมาณที่แตกต่างกัน เนื่องจากน้ำมันแต่ละสูตรมีองค์ประกอบของกรดไขมันแตกต่างกัน เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจึงไวต่อการเกิดปฏิกิริยาได้ต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบมีขั้วที่เกิดขึ้นต่างกันด้วย น้ำมันถั่วเหลืองมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง โดยเฉพาะกรดลิโนเลอิกและกรดลิโนเลนิก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่สองและสามพันธะ ตามลำดับ กรดไขมันทั้งสองชนิดนี้จะไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพราะเมื่อได้รับความร้อนขณะทอดออกซิเจนในอากาศสามารถเข้าจับตรงพันธะคู่ของกรดไขมัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างรวดเร็ว จากอนุพันธ์ของการออกซิเดชัน ส่งผลให้เกิดเป็นสารมีขั้วในน้ำมัน ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Warner และคณะ (1994) ที่รายงานว่า ชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันทอดมีผลต่อคุณภาพและความคงตัวของน้ำมัน และน้ำมันคาโนลาที่ผ่านการ mutation breeding ให้มีปริมาณกรดโอเลอิกสูงถึง 78 เปอร์เซนต์ มีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันสูงกว่าน้ำมันคาโนลาทั่วไป โดยมีปริมาณสารประกอบมีขั้วและสารประกอบที่

ระเหยได้ต่ำกว่าในทุกช่วงเวลาของการทอด Warner และ Gupta (2003) ได้รายงานว่า การทอดมันฝรั่งแผ่นในน้ำมันถั่วเหลืองที่มีปริมาณกรดลิโนเลนิก ในระดับต่ำ (0.8-2 เปอร์เซนต์) จะเกิดสารประกอบมีขั้วน้อยกว่าการทอดด้วยน้ำมันเมล็ดฝ้าย เพราะการลดปริมาณกรดลิโนเลนิกจะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมัน จึงทำให้น้ำมันถั่วเหลืองมีความคงตัวต่อความร้อนได้ดี และส่งผลให้คุณภาพด้านกลิ่นรสของอาหารดีขึ้นขณะเก็บรักษา นอกจากนี้ Sanibal และ Mancini-Filho (2004) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองหลังกระบวนการทอด โดยทอดมันฝรั่งแผ่นในน้ำมันถั่วเหลือง 2 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลืองทั่วไปที่มีปริมาณกรดลิโนเลนิก 4.79 เปอร์เซนต์ และน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันให้มีปริมาณกรดลิโนเลนิก 0.42 เปอร์เซนต์ พบว่าหลังการทอดน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันจะมีปริมาณสารประกอบมีขั้วต่ำกว่าการทอดด้วยน้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป เนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันเป็นปฏิกิริยาที่มีการเติมไฮโดรเจนเพื่อจับกับคาร์บอนตรงพันธะคู่ของกรดไขมัน ทำให้ระดับความไม่อิ่มตัวของน้ำมันลดลง ส่งผลให้น้ำมันถั่วเหลืองชนิดนี้มีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดมากกว่าน้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันแต่ละสูตรที่ผ่านการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมที่ระยะเวลา 0 4 8 และ 12 ชั่วโมง และอัตราการเปลี่ยนแปลงสารประกอบมีขั้ว

สูตรน้ำมัน (w/w)	ระยะเวลาในการใช้ทอด (ชั่วโมง)				อัตราการเปลี่ยนแปลงสารประกอบมีขั้ว
	0	4	8	12	
ถั่วเหลือง (SO)	10.00 ^{a} ± 1.41	13.25 ^{a} ± 0.35	14.50 ^{a} ± 0.71	17.00 ^{a} ± 1.41	0.580
SO:PO (70:30)	9.50 ^{a} ± 0.71	12.50 ^{a} ± 0.71	13.75 ^{ab} ± 0.35	15.25 ^{ab} ± 0.35	0.479
SO:PO (60:40)	9.25 ^{a} ± 0.35	11.50 ^{ab} ± 0.71	12.50 ^{abc} ± 0.71	15.00 ^{ab} ± 1.41	0.479
SO:PO (50:50)	9.00 ^{ab} ± 0.00	9.75 ^{bc} ± 0.35	12.00 ^{abc} ± 1.41	14.75 $^{a b}$ ± 0.35	0.479
SO:PO (40:60)	8.75 ^{ab} ± 0.35	9.50 ^{c} ± 0.71	11.50 ^{bc} ± 0.71	14.00 ^{bc} ± 0.00	0.438
SO:PO (30:70)	7.50 ^{bc} ± 0.71	9.00 ^{c} ± 1.41	10.00 ^{c} ± 1.41	13.50 ^{bc} ± 0.71	0.500
ปาล์มโอเลอิน (PO)	6.50 ^{c} ± 0.00	8.50 ^{c} ± 0.71	10.00 ^{c} ± 1.41	12.00 ^{c} ± 1.41	0.458

a,b,c,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันแต่ละสูตร จากตารางที่ 4.4 พบว่า การผสมน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน จะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมัน เมื่อได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด ส่งผลให้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสารประกอบมีขั้วต่ำกว่าน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 40:60 (w/w) มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสารประกอบมีขั้วต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับน้ำมันผสมสูตรอื่นๆ

การวิเคราะห์ความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันแต่ละสูตรในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม จากค่าสารประกอบมีขั้ว พบว่า น้ำมันถั่วเหลืองมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน เพราะมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง แต่เมื่อนำน้ำมันถั่วเหลืองมาผสมกับปาล์มโอเลอิน ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีความคงตัวต่อความร้อนสูง เพราะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันอิ่มตัว ทำให้น้ำมันผสมที่ได้มีความคงตัวต่อการทอดมากขึ้น โดยน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) มีค่าสารประกอบมีขั้วต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันผสมสูตรอื่นๆ เมื่อทอดที่ระยะเวลาเท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสารประกอบมีขั้ว พบว่า น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 40:60 (w/w) มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสารประกอบมีขั้วต่ำที่สุด ดังนั้นในการพิจารณาเลือกน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่เหมาะต่อการนำไปใช้ทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม จึงควรใช้การวิเคราะห์ค่าอื่นๆ ร่วมด้วย เพื่อบ่งบอกถึงความคงตัวของน้ำมัน

โดยเมื่อพิจารณาความคงตัวของน้ำมันในกระบวนการทอด จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่าหลังการทอดน้ำมันแต่ละสูตรมีปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกัน น้ำมันถั่วเหลืองมีค่ากรดไขมันอิสระสูงที่สุด และน้ำมันปาล์มโอเลอินมีค่ากรดไขมันอิสระต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาในส่วนของน้ำมันผสม พบว่าน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) มีค่ากรดไขมันอิสระต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันผสมสูตรอื่นๆ และเมื่อพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันแต่ละสูตร พบว่าสอดคล้องกับผลข้างต้น โดยน้ำมันถั่วเหลืองมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระสูงที่สุด คือ 0.025 และน้ำมันปาล์มโอเลอินมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระต่ำที่สุด คือ 0.013 แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส โดยเมื่อมีการทอดอาหารในน้ำมันที่ร้อน น้ำในอาหารจะเคลื่อนที่ออกจากอาหารในรูปของไอน้ำทำปฏิกิริยากับพันธะเอสเทอร์ของไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมัน ได้เป็นกรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และกลีเซอรอล ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระจะแสดงถึงการแตกตัวของกรดไขมันเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน โดยน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะแตกตัวได้ดี (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) เกิดเป็นกรดไขมันอิสระได้มากหลังเสร็จกระบวนการทอด น้ำมันถั่วเหลืองซึ่งมีกรดลิโนเลอิกและกรดลิโนเลนิกเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อได้รับความร้อนจากกระบวนการทอดจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสได้อย่างรวดเร็ว น้ำมันถั่วเหลืองจึงมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันสูตรอื่น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Goburdhun และ Jhurree (1995) ซึ่งได้ศึกษาความคงตัวของน้ำมันถั่วเหลืองในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยทอดมันฝรั่งแผ่นในน้ำมันถั่วเหลือง 3 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลืองทั่วไป น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มเคอร์เนล และน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมสารแอนติออกซิแดนท์ พบว่าองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันและสารแอนติออกซิแดนท์ มีผลต่อความคงตัวของน้ำมันในกระบวนการทอด โดยหลังการทอด น้ำมันถั่วเหลืองทั่วไปมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มเคอร์เนล และน้ำมันถั่วเหลืองที่มีการเติมสารแอนติออกซิแดนท์ ดังนั้นการผสมน้ำมันถั่วเหลืองกับน้ำมันปาล์มเคอร์เนล เพื่อปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน ให้มีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลง จะช่วยให้น้ำมันถั่วเหลืองมีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดได้ดีขึ้น นอกจากนี้การเติมสารแอนติออกซิแดนท์มีผลช่วยยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน ส่งผลให้น้ำมันมีความคงตัวต่อความร้อนได้เช่นกัน และจากผลการวิเคราะห์ พบว่าน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระต่ำที่สุดเช่นเดียวกับน้ำมันปาล์มโอเลอิน แสดงว่าน้ำมันผสมสูตรดังกล่าวมีความคงตัวที่ดีเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันแต่ละสูตรที่ผ่านการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมที่ระยะเวลา 0 4 8 และ 12 ชั่วโมง และอัตราการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิสระ

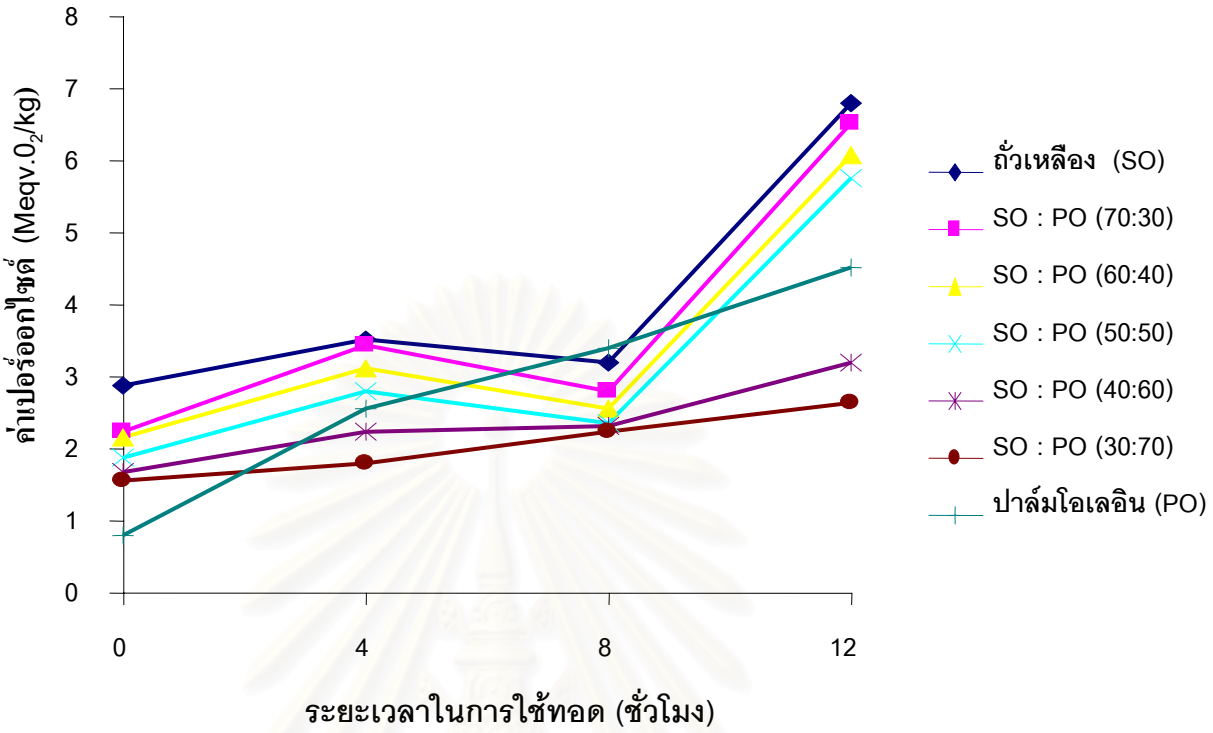
สูตรน้ำมัน (w/w)	ระยะเวลาในการใช้ทอด (ชั่วโมง)				อัตราการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิสระ
	0	4	8	12	
ถั่วเหลือง (SO)	0.03 ^{c} ± 0.00	0.14 ^{a} ± 0.01	0.23 ^{a} ± 0.03	0.33 ^{a} ± 0.03	0.025
SO:PO (70:30)	0.04 ^{bc,} ± 0.01	0.12 ^{ab} ± 0.00	0.20 ^{ab} ± 0.03	0.31 ^{ab} ± 0.01	0.023
SO:PO (60:40)	0.04 ^{bc} ± 0.00	0.11 ^{b} ± 0.01	0.17 ^{bc} ± 0.01	0.29 ^{abc} ± 0.01	0.020
SO:PO (50:50)	0.05 ^{abc} ± 0.00	0.08 ^{c} ± 0.00	0.15 ^{cd} ± 0.01	0.26 ^{bcd} ± 0.00	0.018
SO:PO (40:60)	0.05 ^{abc} ± 0.01	0.07 ^{c} ± 0.01	0.13 ^{cd} ± 0.01	0.24 ^{cd} ± 0.00	0.016
SO:PO (30:70)	0.06 ^{ab} ± 0.00	0.08 ^{c} ± 0.01	0.11 ^{d} ± 0.01	0.22 ^{d} ± 0.03	0.013
ปาล์มโอเลอิน (PO)	0.06 ^{a} ± 0.00	0.10 ^{bc} ± 0.01	0.14 ^{cd} ± 0.01	0.21 ^{d} ± 0.04	0.013

a,b,c,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อพิจารณาค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่า หลังการทอดน้ำมันแต่ละสูตรมีปริมาณเปอร์ออกไซด์แตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 4.1 ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นค่าที่วัดการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน โดยน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อได้รับความร้อนจากกระบวนการทอดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายกว่าน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นองค์ประกอบ ทำให้มีปริมาณเปอร์ออกไซด์สูง จากรูปที่ 4.1 พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าน้ำมันสูตรอื่น เพราะน้ำมันถั่วเหลืองสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างรวดเร็ว โดยมีกรดลิโนเลนิกซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยา น้ำมันปาล์มโอเลอินมีแนวโน้มของค่าเปอร์ออกไซด์สูงขึ้นเรื่อยๆ แต่เมื่อเสร็จกระบวนการทอดน้ำมันชนิดนี้มีค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าน้ำมันถั่วเหลือง แสดงว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินมีความคงตัวต่อความร้อนสูง สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ดี และเมื่อพิจารณาถึงน้ำมันผสม พบว่า น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) มีค่าเปอร์-ออกไซด์ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันผสมสูตรอื่น เพราะน้ำมันผสมสูตรดังกล่าวมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งในปริมาณต่ำ จึงมีความคงตัวต่อความร้อน อัตราการออกซิเดชันต่ำ ค่าเปอร์ออกไซด์จึงน้อยกว่าน้ำมันผสมสูตรอื่น ซึ่งผลการทอดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Naz และคณะ (2004) ที่ได้ศึกษาผลขององค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันและสภาวะต่างๆ ต่อความคงตัวของน้ำมันในกระบวนการทอด โดยนำน้ำมันพืช 3 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด และน้ำมันมะกอก มาทดลองด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ คือ เก็บน้ำมันในที่มีออกซิเจน เก็บน้ำมันในที่มีออกซิเจนร่วมกับแสง และการทอดแบบน้ำมันท่วม พบว่าองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันและสภาวะต่างๆ มีผลต่อความคงตัวของน้ำมัน โดยน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าน้ำมันข้าวโพดและน้ำมันมะกอก ตามลำดับ นอกจากนี้สภาวะในการทดลองก็มีผลต่อความคงตัวของน้ำมันเช่นกัน โดยน้ำมันที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมมีปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าน้ำมันที่เก็บไว้ในสภาวะมีออกซิเจนร่วมกับแสง และน้ำมันที่เก็บไว้ในที่มีออกซิเจนเพียงอย่างเดียว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

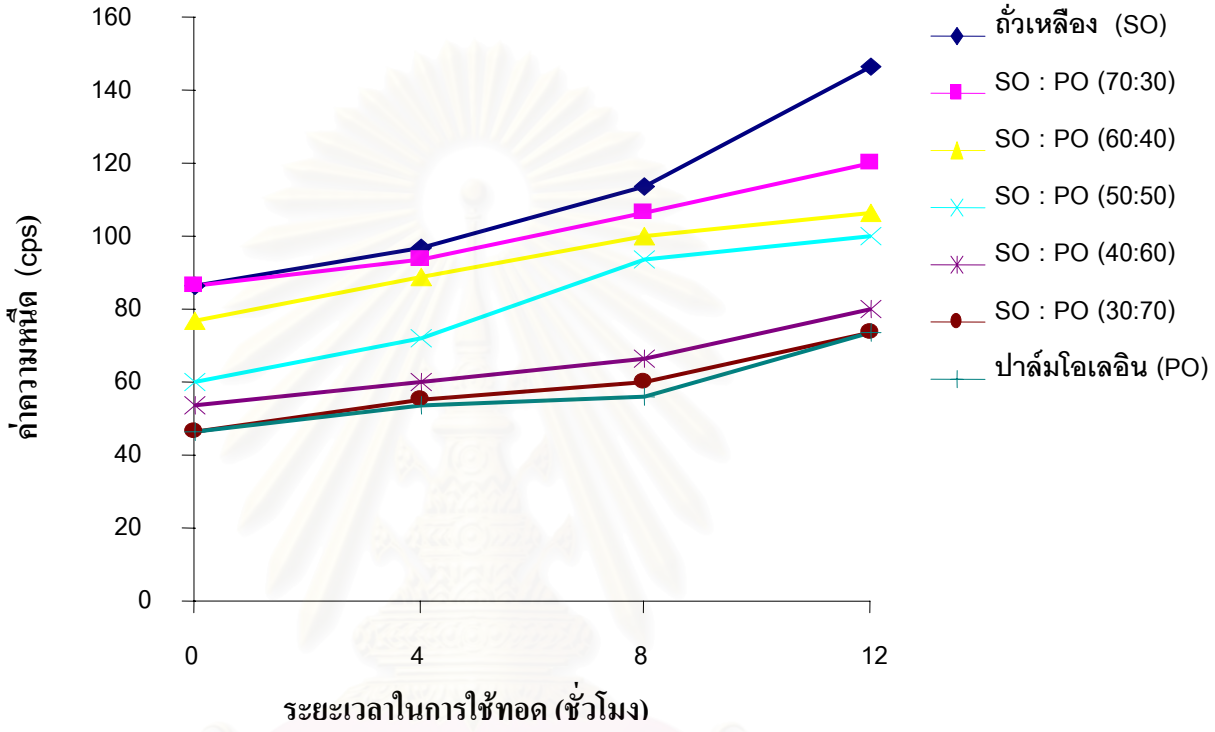


รูปที่ 4.1 ค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันแต่ละสูตรที่ผ่านการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 0 4 8 และ 12 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.1 พบว่าในช่วงแรกของระยะเวลาในการใช้ทอด ค่าเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันทุกสูตรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมัน ได้สารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ค่าเปอร์ออกไซด์จึงเพิ่มขึ้น ช่วงต่อมาสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารตัวกลางที่ไม่คงตัว จะสลายตัวได้เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่สอง จึงทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ในช่วงนี้ลดลง จากนั้นค่าเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการทอด เนื่องจากการทอดเป็นระยะเวลานาน ออกซิเจนมีโอกาสทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้อีกครั้ง จึงทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการประเมินคุณภาพของน้ำมันทอด จึงไม่สามารถใช้ค่าเปอร์ออกไซด์เพียงค่าเดียวในการพิจารณา เพราะเป็นค่าที่ไม่คงที่ โดยมีโอกาสที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่สอง ได้แก่ แอลดีไฮด์ คีโตน กรด ไฮโดรคาร์บอน โมโนเมอร์ ไดเมอร์ และไตรเมอร์ เป็นต้น จึงควรใช้ค่าอื่นๆ ร่วมในการพิจารณาด้วย เช่น ค่าสารประกอบมีขั้ว และค่ากรดไขมันอิสระ เป็นต้น

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมัน พบว่าชนิดของน้ำมันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนขณะทอด ซึ่งปฏิกิริยาเคมีหลักที่เกิดขึ้น ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซีส และพอลิเมอไรเซชัน ปฏิกิริยาดังกล่าวนอกจากจะส่งผลให้สมบัติทางเคมีของน้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลง ยังมีผลต่อการสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเช่นกัน จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าชนิดของน้ำมันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันสูตรอื่นๆ แสดงไว้ในรูปที่ 4.2 ความหนืดของน้ำมันเป็นผลจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ที่เกิดจากการ cross-linking ภายในโมเลกุลหรือระหว่างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นตรงบริเวณพันธะคู่ของกรดไขมัน โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดการสร้างพันธะระหว่าง carbon-carbon หรือ carbon-oxygen-carbon ภายในโมเลกุลของกรดไขมันหรือระหว่างโมเลกุล ส่งผลให้เกิดสารประกอบที่มีโมเลกุลสูงจำพวก cyclic monomers, dimers และ polymers เป็นผลให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีสีคล้ำ (Bennion, 1995) ดังนั้นน้ำมันถั่วเหลืองซึ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่งในปริมาณสูง สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ดี น้ำมันชนิดนี้จึงมีความหนืดสูงขึ้นและเกิดฟองขณะทอด จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินมีความหนืดต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันสูตรอื่นๆ เพราะน้ำมันชนิดนี้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันอิ่มตัว ซึ่งกรดไขมันดังกล่าวจะมีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดได้ดี อัตราการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีต่ำ ส่งผลให้น้ำมันปาล์มโอเลอินมีความหนืดต่ำกว่าน้ำมันสูตรอื่นๆ และเมื่อพิจารณาน้ำมันผสม พบว่าการผสมน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน น้ำมันผสมแต่ละสูตรจะมีความคงตัวต่อความร้อนได้ดีขึ้น จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าความหนืดเป็นผลจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมัน ดังนั้น การผสมน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินเป็นการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมัน โดยมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลง น้ำมันผสมจึงมีความคงตัวต่อความร้อนมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืดของน้ำมันลดลงเช่นกัน งานวิจัยที่กล่าวถึงผลขององค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันมีแพร่หลาย เช่น Besbes และคณะ (2005) ได้ศึกษาความคงตัวต่อความร้อนของน้ำมันเมล็ดอินทผลัม โดยทดลองใช้น้ำมันเมล็ดอินทผลัม 2 สายพันธุ์ จากประเทศตูนีเซีย คือ พันธุ์ Deglet nour และพันธุ์ Allig พบว่าน้ำมันเมล็ดอินทผลัม 2 สายพันธุ์ มีความคงตัวต่อความร้อนแตกต่างกัน โดยหลังการให้ความร้อนน้ำมันเมล็ดอินทผลัมพันธุ์ Allig มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันเมล็ดอินผลัมพันธุ์ Deglet nour เพราะน้ำมันเมล็ดอินทผลัมพันธุ์ Allig มีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่า ดังนั้นจึงมีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง ได้สารประกอบชนิด

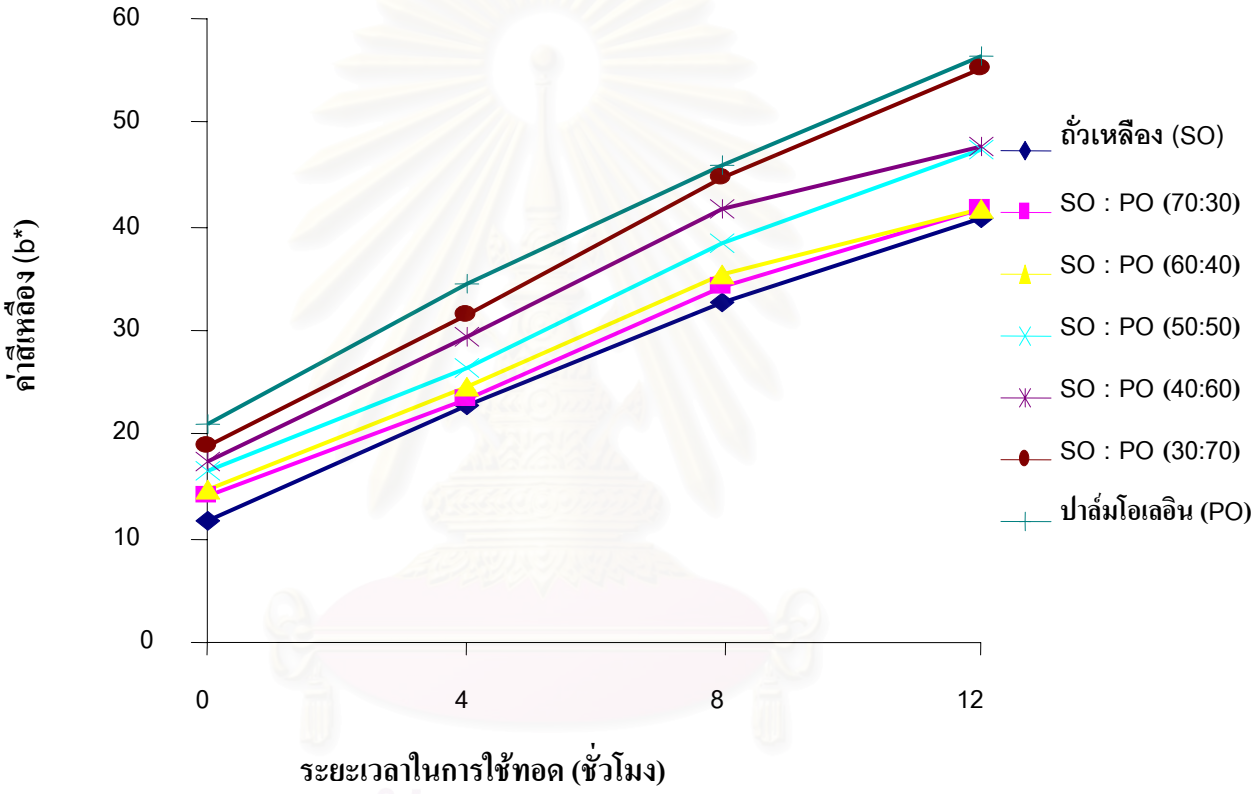
ใหม่ที่สามารถทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เกิดเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น ส่งผลให้น้ำมันชนิดนี้มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันเมล็ดอินผลัมพันธุ์ Deglet nour



รูปที่ 4.2 ค่าความหนืดของน้ำมันแต่ละสูตรที่ผ่านการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 0 4 8 และ 12 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาค่าสีของน้ำมัน พบว่าชนิดของน้ำมันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทุกช่วงเวลาของการทอด โดยเมื่อระยะเวลาในการใช้ทอดนานขึ้นน้ำมันแต่ละสูตรจะมีสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น แสดงในรูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันขณะทอดเกิดขึ้นจากหลายปัจจัย Goburdhun และคณะ (2000) ได้รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันขณะทอดเกิดจากปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ก) สีของน้ำมันเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซีส และพอลิเมอไรเซชัน จากปฏิกิริยาเหล่านี้ทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่ไม่อิ่มตัวในน้ำมัน ซึ่งสารดังกล่าวจะดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงแสงอินฟาเรด ส่งผลให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้น ข) เนื่องจากรงควัตถุจากอาหาร เช่น แคโรทีนอยด์ ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนจะสามารถละลายในน้ำมันได้ ค) เป็นผลมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีของผลิตภัณฑ์อาหารขณะทอด คือ ปฏิกิริยา

Maillard ที่ทำให้เกิดสารสีน้ำตาล ที่เรียกว่า melanoidins ซึ่งสามารถละลายในน้ำมันได้ ง) เมื่อเวลาในการทอดนานขึ้นสารประกอบในน้ำมันมีการจับตัวกันในลักษณะ conjugated double bonds สามารถดูดกลืนแสงสีน้ำเงินได้มากขึ้น ทำให้เห็นน้ำมันเป็นสีส้มหรือสีน้ำตาลมากขึ้น และนอกจากนี้เมื่อระยะเวลาในการใช้ทอดนานขึ้นอาจเกิดการสะสมของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในน้ำมันจึงส่งผลให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีสีเข้มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.3 ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันแต่ละสูตรที่ผ่านการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 0 4 8 และ 12 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.3 น้ำมันปาล์มโอเลอินจะมีสีเข้มกว่าน้ำมันสูตรอื่น เนื่องจากน้ำมันปาล์มโอเลอินมีส่วนประกอบของแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารให้สีเหลืองหรือแดง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2548) จึงทำให้น้ำมันชนิดนี้มีสีเหลืองเข้มกว่าน้ำมันสูตรอื่น นอกจากนี้จากการรายงานของ Tan และคณะ (1999) ที่กล่าวถึงสาเหตุที่ทำให้น้ำมันปาล์มโอเลอินเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อนขณะทอด เป็นผลมาจากสารประกอบฟีนอลลิกบางชนิด เช่น para-hydroxybenzoic acid และแทนนินที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในผลปาล์ม สารเหล่านี้จะยังคง

เหลืออยู่ในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ ดังนั้นเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนสารเหล่านี้จะเกิดการพอลิเมอไรเซชันได้สารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ที่มีลักษณะการเชื่อมพันธะแบบ conjugation ส่งผลให้น้ำมันปาล์มโอเลอินมีสีเข้มขึ้น

จากการศึกษาผลของชนิดของน้ำมันต่อความคงตัวของน้ำมันในกระบวนการทอด พบว่า เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีหลายปฏิกิริยา และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมัน โดยน้ำมันแต่ละสูตรมีปริมาณสารประกอบมีขั้ว ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าความหนืด และค่าสีเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดให้มีความคงตัวต่อความร้อนมากขึ้น โดยพิจารณาจากค่าต่างๆ พบว่าน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) มีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันผสมอื่นๆ ดังนั้นจึงสามารถใช้น้ำมันผสมสูตรนี้แทนการใช้น้ำมันถั่วเหลืองเพียงอย่างเดียวและน้ำมันปาล์มโอเลอินเพียงอย่างเดียวในการทอดได้ จึงเลือกน้ำมันสูตรนี้เพื่อนำไปหาภาวะที่เหมาะสมในการใช้งานต่อไป

4.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการใช้น้ำมันผสมสูตรที่เลือกในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม

เมื่อพิจารณาผลของชนิดของน้ำมันต่อความคงตัวในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม พบว่าน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) มีความคงตัวต่อการทอดดีที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันผสมสูตรอื่นๆ จึงเลือกน้ำมันผสมสูตรดังกล่าวมาทดลองในขั้นตอนนี้ โดยนำน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) ทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมที่ภาวะต่างๆ โดยมีอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอดเป็นปัจจัยในการศึกษา วัดและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันหลังการทอด เพื่อพิจารณาถึงภาวะที่เหมาะสมต่อการใช้งานของน้ำมันผสมสูตรดังกล่าว ได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วในน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) ในการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอด ไม่มีผลต่อการเกิดสารประกอบมีขั้ว อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แสดงในตารางที่ 4.6 แต่พบอิทธิพลร่วมของสองปัจจัย คือ อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาทอดกับระยะเวลาในการใช้ทอดมีผลต่อการเกิดสารประกอบมีขั้ว อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) จากตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อเวลาทอดและระยะเวลาในการใช้ทอดนานขึ้น ส่งผลให้ค่าสารประกอบมีขั้วเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มเวลาทอดและระยะเวลาในการใช้ทอด ทำให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างรวดเร็ว โดยน้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และพอลิเมอไรเซชัน ส่งผลให้เกิดสารประกอบมีขั้วในน้ำมันเพิ่มขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Houhoula และคณะ (2003) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการใช้ทอดต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วในกระบวนการทอดมันฝรั่งแผ่นแบบน้ำมันท่วมในน้ำมันเมล็ดฝ้าย อุณหภูมิที่ใช้ทอด คือ 155 165 175 185 และ 195 องศาเซลเซียส โดยทอดมันฝรั่งแผ่นที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าในกระบวนการทอด การเกิดสารประกอบมีขั้วมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการใช้ทอด คือ ปริมาณสารประกอบมีขั้วเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการใช้ทอดเพิ่มขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันผสมที่พิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอด

ภาวะที่ใช้ในการทอด		(%)สารประกอบมีขั้ว [ns]		
		ระยะเวลาในการใช้ทอด (ชั่วโมง)		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาทอด (นาที)	0	1	2
160	6	5.75 ± 0.35	9.25 ± 0.35	11.25 ± 0.35
	8	5.75 ± 0.35	10.25 ± 1.06	12.25 ± 0.35
	10	5.75 ± 0.35	11.50 ± 0.00	13.00 ± 0.00
180	6	8.25 ± 0.35	11.25 ± 0.35	13.00 ± 0.00
	8	8.25 ± 0.35	12.50 ± 0.00	14.25 ± 0.35
	10	8.12 ± 0.18	13.25 ± 0.35	14.75 ± 0.35
200	6	8.50 ± 0.71	11.50 ± 0.00	13.75 ± 0.35
	8	8.50 ± 0.71	13.50 ± 0.00	14.75 ± 0.35
	10	8.50 ± 0.71	14.25 ± 0.35	15.75 ± 0.35

ns หมายถึง ตัวเลขที่อยู่ในแถวนอนและแถวตั้ง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอด มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระ อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอดให้สูงขึ้น ค่ากรดไขมันอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงในตารางที่ 4.7 เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาทอด จะเป็นการเร่งให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ระยะเวลาในการใช้ทอดที่นานถึง 2 ชั่วโมง ปริมาณมันฝรั่งแท่งที่ใช้ในการทอดเพิ่มขึ้น จึงมีน้ำจากมันฝรั่งที่สามารถทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสกับไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันได้มากขึ้น กรดไขมันอิสระจึงเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการใช้ทอดนานขึ้น

ตารางที่ 4.7 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันผสมที่พิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอด

ภาวะที่ใช้ในการทอด		กรดไขมันอิสระ (%)		
อุณหภูมิ	เวลาทอด	ระยะเวลาในการใช้ทอด (ชั่วโมง)		
(องศาเซลเซียส)	(นาที)	0	1	2
160	6	$0.06^{j} \pm 0.01$	$0.08^{i} \pm 0.00$	$0.11^{h} \pm 0.01$
	8	$0.06^{j} \pm 0.01$	$0.11^{h} \pm 0.00$	$0.12^{gh} \pm 0.01$
	10	$0.06^{j} \pm 0.01$	$0.11^{h} \pm 0.01$	$0.14^{fg} \pm 0.01$
180	6	$0.06^{j} \pm 0.01$	$0.12^{gh} \pm 0.01$	$0.16^{ef} \pm 0.01$
	8	$0.06^{j} \pm 0.01$	$0.13^{gh} \pm 0.01$	$0.17^{de} \pm 0.01$
	10	$0.06^{j} \pm 0.01$	$0.14^{fg} \pm 0.01$	$0.18^{d} \pm 0.00$
200	6	$0.06^{j} \pm 0.01$	$0.14^{fg} \pm 0.01$	$0.17^{de} \pm 0.01$
	8	$0.06^{j} \pm 0.01$	$0.17^{de} \pm 0.01$	$0.23^{c} \pm 0.02$
	10	$0.06^{j} \pm 0.01$	$0.26^{b} \pm 0.02$	$0.35^{a} \pm 0.01$

a,b,c,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอด มีผลต่อการเกิดค่าเปอร์ออกไซด์ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอดให้สูงขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงในตารางที่ 4.8 เนื่องจากค่าเปอร์ออกไซด์เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน โดยออกซิเจนจะทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่ร้อนตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมัน ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิ เวลาทอด ประกอบกับการทอดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานถึง 2 ชั่วโมง จึงทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันเกิดได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น

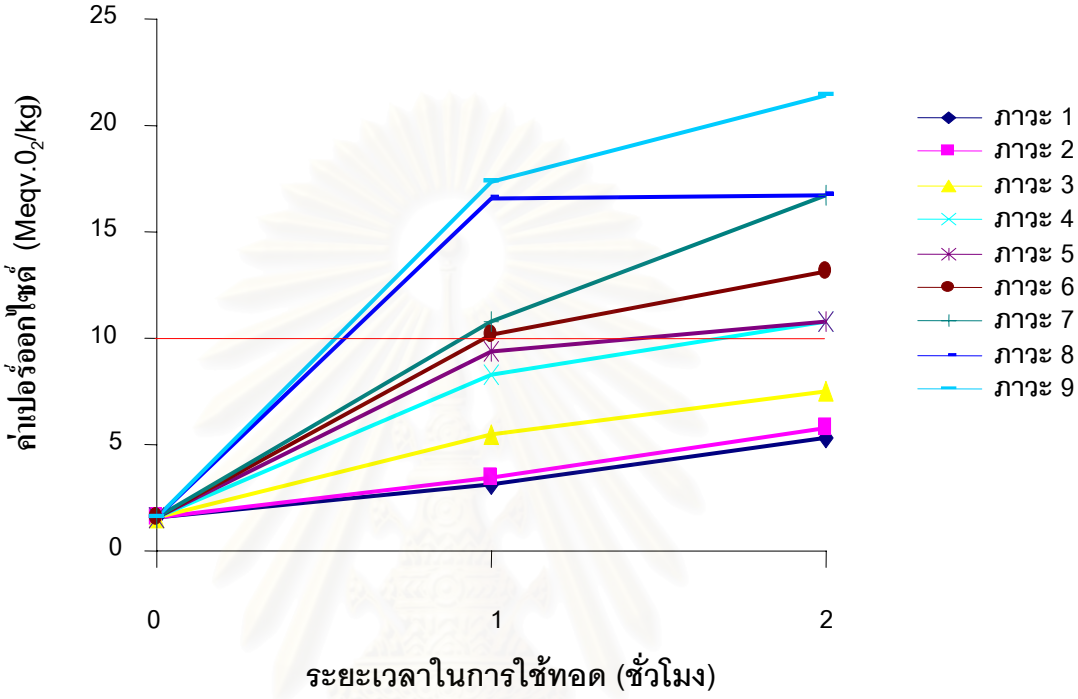
ตารางที่ 4.8 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมที่พิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอด

ภาวะที่ใช้ในการทอด		เปอร์ออกไซด์ (meqv.O_2/kg)		
		ระยะเวลาในการใช้ทอด (ชั่วโมง)		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาทอด (นาที)	0	1	2
160	6	$1.55^{i} \pm 0.00$	$3.10^{hi} \pm 0.34$	$5.31^{g} \pm 0.10$
	8	$1.55^{i} \pm 0.00$	$3.51^{h} \pm 0.59$	$5.80^{g} \pm 0.95$
	10	$1.55^{i} \pm 0.00$	$5.51^{g} \pm 0.83$	$7.50^{f} \pm 0.38$
180	6	$1.55^{i} \pm 0.00$	$8.32^{ef} \pm 1.53$	$10.82^{d} \pm 0.49$
	8	$1.55^{i} \pm 0.00$	$9.37^{de} \pm 0.33$	$10.82^{d} \pm 0.49$
	10	$1.55^{i} \pm 0.00$	$10.18^{d} \pm 0.17$	$13.14^{c} \pm 0.52$
200	6	$1.55^{i} \pm 0.00$	$10.79^{d} \pm 0.01$	$16.73^{b} \pm 0.33$
	8	$1.55^{i} \pm 0.00$	$16.54^{b} \pm 0.05$	$16.73^{b} \pm 0.33$
	10	$1.55^{i} \pm 0.00$	$17.35^{b} \pm 0.74$	$21.45^{a} \pm 0.95$

a,b,c,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากรูปที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากการทอดมันฝรั่งแท่งในน้ำมันผสมที่ภาวะต่างๆ กับระยะเวลาในการใช้ทอด พบว่า การทอดมันฝรั่งแท่งที่ใช้อุณหภูมิสูง เวลานาน จะมีแนวโน้มเกิดค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น เมื่อนำข้อกำหนดตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข (ตามประกาศฉบับที่ 205 พ.ศ.2543) มาพิจารณาเพื่อดูคุณภาพของน้ำมันทอด ซึ่งกำหนดให้น้ำมันที่ผ่านการทอดมีค่าเปอร์ออกไซด์ได้ไม่เกิน 10 meqv.O_2/kg พบว่าเมื่อทอดมันฝรั่งแท่งในน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมง ด้วยภาวะการทอดที่ 1 2 3 4 และ 5 ปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นยังอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด แต่เมื่อทอดมันฝรั่งแท่งในน้ำมันผสมสูตรดังกล่าวครบสองชั่วโมง พบว่าการทอดมันฝรั่งแท่งในน้ำมันผสม ด้วยภาวะการทอดที่ 4 5 6 7 8 และ 9 มีปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์เกินเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ดังนั้น อุณหภูมิและเวลาทอดที่ภาวะดังกล่าว จึงไม่เหมาะแก่การนำมาใช้ในกระบวนการทอด แต่ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นค่าที่ไม่คงที่ โดยมีโอกาสที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นที่สอง ซึ่งได้แก่ แอลดีไฮด์ คีโตน กรด ไฮโดรคาร์บอน โมโนเมอร์ ไดเมอร์ และไตรเมอร์ เป็นต้น ดังนั้นในการพิจารณาเลือกภาวะที่เหมาะสมในการใช้งานน้ำมัน

ผสมสูตรดังกล่าว จึงควรใช้ค่าอื่นๆ ร่วมในการพิจารณาด้วย เช่น ค่าสารประกอบมีขั้ว และค่ากรดไขมันอิสระ เป็นต้น



รูปที่ 4.4 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมในการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมที่ภาวะต่างๆ กับระยะเวลาในการใช้ทอด

ภาวะ 1 : อุณหภูมิ 160°C/ 6 นาที	ภาวะ 2 : อุณหภูมิ 160°C/ 8 นาที	ภาวะ 3 : อุณหภูมิ 160°C/ 10 นาที
ภาวะ 4 : อุณหภูมิ 180°C/ 6 นาที	ภาวะ 5 : อุณหภูมิ 180°C/ 8 นาที	ภาวะ 6 : อุณหภูมิ 180°C/ 10 นาที
ภาวะ 7 : อุณหภูมิ 200°C/ 6 นาที	ภาวะ 8 : อุณหภูมิ 200°C/ 8 นาที	ภาวะ 9 : อุณหภูมิ 200°C/ 10 นาที

เมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆ ต่อค่าความหนืดของน้ำมันผสมในการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอด ไม่มีผลต่อค่าความหนืด อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แสดงในตารางที่ 4.9 แต่พบอิทธิพลร่วมระหว่างสองปัจจัย คือ อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการใช้ทอด และอิทธิพลร่วมระหว่างเวลาทอดกับระยะเวลาในการใช้ทอด ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยเมื่ออุณหภูมิ และระยะเวลาในการใช้

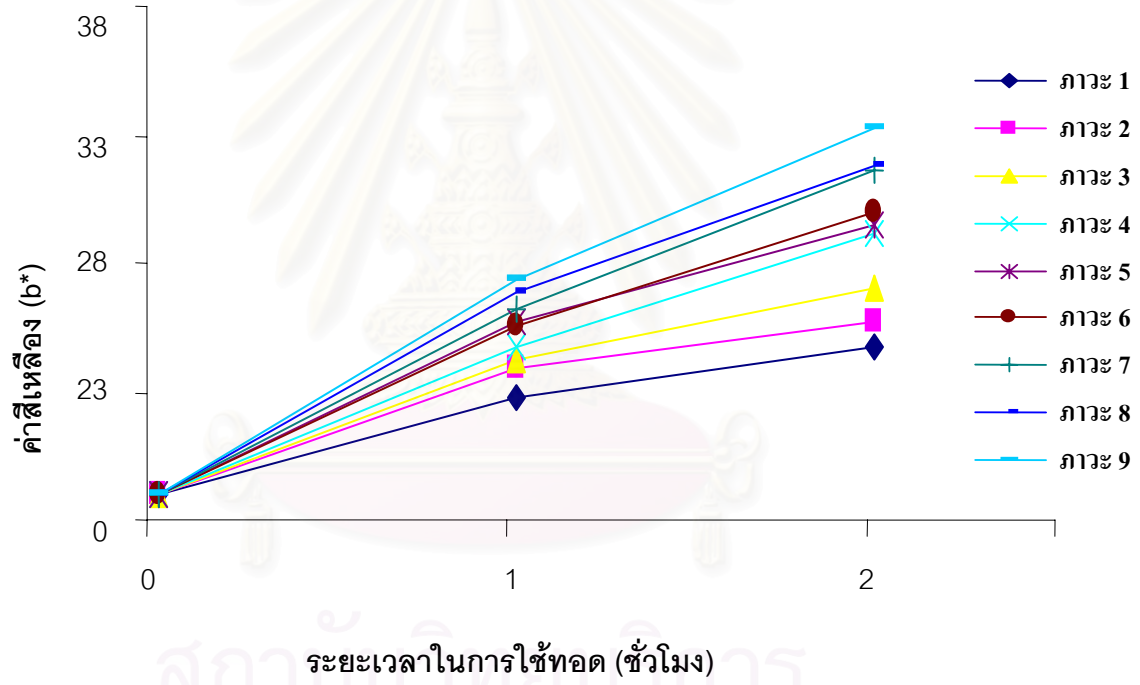
ทอดนานขึ้น ความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิ และระยะเวลาในการใช้ทอด เป็นการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันตรงตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมัน เป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้มากขึ้น เกิดสารพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Besbes และคณะ (2005) ซึ่งพบว่าเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันจากเมล็ดอินทผลัม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ส่งผลให้คุณลักษณะของน้ำมันเปลี่ยนแปลงไป โดยมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และน้ำมันยังมีสีเข้มและมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อเวลาทอดแต่ละครั้งมากขึ้น และระยะเวลาในการใช้ทอดนาน ทำให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาเคมีได้มากขึ้น ส่งผลให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 4.9 ค่าความหนืดของน้ำมันผสมที่พิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอด

ภาวะที่ใช้ในการทอด		ความหนืด [ns] (cps)		
		ระยะเวลาในการใช้ทอด (ชั่วโมง)		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาทอด (นาที)	0	1	2
160	6	46.70 ± 0.00	48.50[i] ± 2.55	54.85 ± 2.19
	8	46.70 ± 0.00	50.00 ± 4.67	61.55 ± 7.28
	10	46.70 ± 0.00	54.85 ± 2.19	70.00 ± 4.67
180	6	46.70 ± 0.00	50.00 ± 4.67	61.55 ± 7.28
	8	46.70 ± 0.00	61.10 ± 1.56	67.75 ± 1.49
	10	46.70 ± 0.00	64.45 ± 3.18	71.75 ± 2.19
200	6	46.70 ± 0.00	61.10 ± 1.56	67.75 ± 1.49
	8	46.70 ± 0.00	67.60 ± 1.70	74.95 ± 2.33
	10	46.70 ± 0.00	68.80 ± 0.00	81.65 ± 2.33

ns หมายถึง ตัวเลขที่อยู่ในแถวนอนและแถวตั้ง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

เมื่อพิจารณาภาวะในการใช้ทอดต่อการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมัน พบว่า ภาวะในการใช้ทอดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่าสีเหลือง (b*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และการทอดมันฝรั่งแท่งในน้ำมันผสม ด้วยภาวะการทอดที่ 9 คือ ทอดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีต่อครั้ง จะมีค่าสีเหลือง (b*) มากที่สุดเมื่อเทียบกับการทอดที่ภาวะอื่นๆ แสดงในรูปที่ 4.5 การใช้อุณหภูมิและเวลาในการทอดนานขึ้น เมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันได้มาก ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำขึ้น และอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้น คือ สีของอาหารที่เกิดขึ้นขณะทอด ซึ่งสามารถละลายในน้ำมันได้ ทำให้น้ำมันมีสีที่เข้มขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4.5 ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันผสมในการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมที่ภาวะต่างๆ กับระยะเวลาในการใช้ทอด

ภาวะ 1 : อุณหภูมิ 160°C/ 6 นาที	ภาวะ 2 : อุณหภูมิ 160°C/ 8 นาที	ภาวะ 3 : อุณหภูมิ 160°C/ 10 นาที
ภาวะ 4 : อุณหภูมิ 180°C/ 6 นาที	ภาวะ 5 : อุณหภูมิ 180°C/ 8 นาที	ภาวะ 6 : อุณหภูมิ 180°C/ 10 นาที
ภาวะ 7 : อุณหภูมิ 200°C/ 6 นาที	ภาวะ 8 : อุณหภูมิ 200°C/ 8 นาที	ภาวะ 9 : อุณหภูมิ 200°C/ 10 นาที

การพิจารณาภาวะที่ใช้ทอดต่อความคงตัวของน้ำมันในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม พบว่า การทอดที่ใช้อุณหภูมิสูง เวลาในการทอดต่อครั้งเพิ่มขึ้น และมีระยะเวลาในการใช้ทอดนานขึ้น จะเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันได้อย่างอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ภาวะในการใช้ทอดยังมีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแท่งเช่นกัน เห็นได้จากเมื่อทอดมันฝรั่งแท่งในน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) ตามภาวะที่กำหนด จนระยะเวลาในการใช้ทอดครบ 2 ชั่วโมง แล้วนำมันฝรั่งแท่งทอดในน้ำมันผสมดังกล่าวด้วยภาวะต่างๆ อีกครั้ง เพื่อประเมินผลทางประสาทสัมผัสของมันฝรั่งแท่ง เพื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิและเวลาทอด ที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของมันฝรั่งแท่ง

เมื่อพิจารณาลักษณะทางประสาทสัมผัสของมันฝรั่งแท่ง โดยใช้แบบทดสอบ Quantitative descriptive analysis (QDA) เพื่อทดสอบผลของอุณหภูมิ และเวลาทอด ที่มีต่อความแตกต่างด้านสี กลิ่นหืน และความแข็งของมันฝรั่งแท่ง กำหนดคะแนน 0-10 โดย 10 หมายถึง ผลิตภัณฑ์มีสี กลิ่นหืน และความแข็งมากที่สุด และ 0 หมายถึง ผลิตภัณฑ์มีสี กลิ่นหืน และความแข็งน้อยที่สุด พบว่ามันฝรั่งแท่งที่ผ่านการทอดโดยใช้อุณหภูมิ และเวลาทอดต่างกัน จะมีสี และกลิ่นหืน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่อุณหภูมิและเวลาทอดไม่มีผลต่อค่าความแข็งของมันฝรั่งแท่ง จากตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าการใช้อุณหภูมิในการทอดสูง และเวลาในการทอดแต่ละครั้งนานขึ้น ส่งผลให้สีของมันฝรั่งแท่งเข้มขึ้น เนื่องจากเมื่อมันฝรั่งแท่งได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนของโปรตีน เกิดสารพอลิเมอร์ซึ่งให้สารสีน้ำตาล คือ melanoidins จากปฏิกิริยานี้ทำให้มันฝรั่งแท่งเกิดสีเมื่อผ่านการทอด และเมื่อใช้อุณหภูมิในการทอดสูง และเวลาในการทอดแต่ละครั้งนานขึ้น จะเป็นการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนของโปรตีนได้มากขึ้น สีของมันฝรั่งแท่งจึงเข้มขึ้น และจากตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่ามันฝรั่งแท่งที่ทอดด้วยภาวะการทอดที่ 9 คือ ทอดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีต่อครั้ง จะมีคะแนนเฉลี่ยด้านสีของมันฝรั่งแท่งมากที่สุด เมื่อเทียบกับมันฝรั่งแท่งที่ผ่านการทอดด้วยภาวะอื่นๆ

ตารางที่ 4.10 คะแนนเฉลี่ยด้านสีของมันฝรั่งแท่งที่ทอดโดยใช้น้ำมันผสม เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาทอด ทดสอบโดยใช้ QDA

ภาวะที่ใช้ในการทอด	สีของมันฝรั่งแท่ง		
	เวลาทอด (นาที)		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	6	8	10
160	$1.59^{g} \pm 0.79$	$2.34^{g} \pm 0.88$	$4.15^{f} \pm 0.79$
180	$6.06^{d} \pm 0.56$	$6.70^{c} \pm 0.70$	$7.79^{b} \pm 0.62$
200	$5.44^{e} \pm 0.82$	$7.86^{b} \pm 0.53$	$9.03^{a} \pm 0.56$

a,b,c,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดกลิ่นหืนของมันฝรั่งแท่งที่ผ่านการทอดแบบน้ำมันท่วมด้วยน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลาทอด มีผลต่อการเกิดกลิ่นหืนของมันฝรั่งแท่ง อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงในตารางที่ 4.11 กลิ่นหืนของมันฝรั่งแท่งเกิดจากเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด จะเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมัน เกิดเป็นสารประกอบ เช่น ไฮดรอกซี และคีโตน ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแท่งที่นำมาทอดเกิดกลิ่นหืน ดังนั้นเมื่อใช้อุณหภูมิ และเวลาในการทอดนานขึ้น ปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นหืนของน้ำมันเกิดได้มากขึ้น ส่งผลให้มันฝรั่งแท่งที่นำมาทอดมีกลิ่นหืนมากขึ้นเช่นกัน จากตารางจะเห็นได้ว่ามันฝรั่งแท่งที่ทอดด้วยภาวะการทอดที่ 9 คือ ทอดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีต่อครั้ง จะมีคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นหืนของมันฝรั่งแท่งมากที่สุด เมื่อเทียบกับมันฝรั่งแท่งที่ผ่านการทอดด้วยภาวะอื่นๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 คะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นหืนของมันฝรั่งแท่งที่ทอดโดยใช้น้ำมันผสม เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาทอด ทดสอบโดยใช้ QDA

ภาวะที่ใช้ในการทอด	กลิ่นหืนของมันฝรั่งแท่ง		
	เวลาทอด (นาที)		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	6	8	10
160	$0.85^{f} \pm 0.79$	$1.28^{f} \pm 0.72$	$4.10^{d} \pm 0.56$
180	$3.06^{e} \pm 0.70$	$5.02^{c} \pm 0.93$	$5.78^{b} \pm 1.04$
200	$4.63^{cd} \pm 0.62$	$6.04^{b} \pm 0.21$	$7.71^{a} \pm 0.40$

a,b,c,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมันฝรั่งแท่ง โดยใช้แบบทดสอบ 9-point hedonic scale เพื่อทดสอบหาอุณหภูมิ และเวลาทอดที่เหมาะสมต่อการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) ทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม โดยพิจารณาจากการยอมรับของผู้ทดสอบในด้านสี กลิ่นหืน ความแข็ง และความชอบโดยรวมของมันฝรั่งแท่ง โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 30 คน พิจารณาตัวอย่างมันฝรั่งแท่งและให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่นหืน ความแข็ง และความชอบโดยรวม กำหนดระดับคะแนน 1-9 โดย 9 หมายถึง ผู้ทดสอบมีความชอบในด้านสี กลิ่นหืน ความแข็ง และความชอบโดยรวมมากที่สุด และ 1 หมายถึง ผู้ทดสอบมีความชอบในด้านสี กลิ่นหืน ความแข็ง และความชอบโดยรวมน้อยที่สุด พบว่ามันฝรั่งแท่งที่ผ่านการทอดโดยใช้อุณหภูมิและเวลาทอดต่างกัน มีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นหืน ความแข็ง และความชอบโดยรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมันฝรั่งแท่งที่ทอดด้วยภาวะการทอดที่ 4 คือ ทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาทีต่อครั้ง มีคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสี กลิ่นหืน ความแข็ง และความชอบโดยรวมสูงที่สุด แสดงไว้ในตารางที่ 4.12 4.13 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสีของมันฝรั่งแท่งที่ทอดโดยใช้น้ำมันผสม เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาทอด ทดสอบโดยใช้ 9-point hedonic scale

ภาวะที่ใช้ในการทอด	สีของมันฝรั่งแท่ง		
	เวลาทอด (นาที)		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	6	8	10
160	$4.52^{e} \pm 0.92$	$5.92^{d} \pm 0.64$	$6.60^{bc} \pm 0.33$
180	$8.45^{a} \pm 0.73$	$6.84^{b} \pm 0.71$	$6.22^{cd} \pm 0.73$
200	$6.94^{b} \pm 0.57$	$6.27^{cd} \pm 0.53$	$3.10^{f} \pm 0.14$

a,b,c,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.13 คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านกลิ่นหืนของมันฝรั่งแท่งที่ทอดโดยใช้น้ำมันผสม เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาทอด ทดสอบโดยใช้ 9-point hedonic scale

ภาวะที่ใช้ในการทอด	กลิ่นหืนของมันฝรั่งแท่ง		
	เวลาทอด (นาที)		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	6	8	10
160	$6.60^{bc} \pm 0.14$	$5.57^{d} \pm 0.61$	$5.32^{d} \pm 0.68$
180	$8.30^{a} \pm 0.71$	$6.29^{c} \pm 1.25$	$5.52^{d} \pm 0.78$
200	$6.99^{b} \pm 0.68$	$6.49^{bc} \pm 0.97$	$3.94^{e} \pm 1.14$

a,b,c,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านความแข็งของมันฝรั่งแท่งที่ทอดโดยใช้น้ำมันผสม เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาทอด ทดสอบโดยใช้ 9-point hedonic scale

ภาวะที่ใช้ในการทอด	ความแข็งของมันฝรั่งแท่ง		
	เวลาทอด (นาที)		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	6	8	10
160	$5.02^{f} \pm 0.92$	$5.25^{ef} \pm 1.16$	$6.28^{cd} \pm 1.25$
180	$8.80^{a} \pm 0.75$	$6.87^{bc} \pm 0.85$	$6.59^{cd} \pm 1.25$
200	$7.39^{b} \pm 0.54$	$5.98^{de} \pm 1.25$	$3.02^{g} \pm 0.78$

a,b,c,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.15 คะแนนเฉลี่ยด้านความชอบโดยรวมของมันฝรั่งแท่งที่ทอดโดยใช้น้ำมันผสม เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาทอด ทดสอบโดยใช้ 9-point hedonic scale

ภาวะที่ใช้ในการทอด	ความชอบโดยรวมของมันฝรั่งแท่ง		
	เวลาทอด (นาที)		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	6	8	10
160	$3.15^{e} \pm 0.73$	$4.54^{d} \pm 0.71$	$4.95^{d} \pm 1.01$
180	$9.02^{a} \pm 0.68$	$5.90^{bc} \pm 0.71$	$5.15^{cd} \pm 0.92$
200	$6.12^{b} \pm 0.64$	$5.99^{b} \pm 0.59$	$2.52^{e} \pm 0.68$

a,b,c,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลในด้านต่างๆ เพื่อเลือกภาวะในการใช้งานของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) โดยพิจารณาจากสมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเพื่อดูความแตกต่างด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแท่ง รวมถึงการทดสอบความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแท่งที่ผ่านการทอดโดยใช้อุณหภูมิ และเวลาทอดต่างๆ พบว่า การทอดมันฝรั่งแท่งในน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) ด้วยภาวะการทอดที่ 4 คือ ทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาทีต่อครั้ง น้ำมันมีความคงตัวต่อการทอด

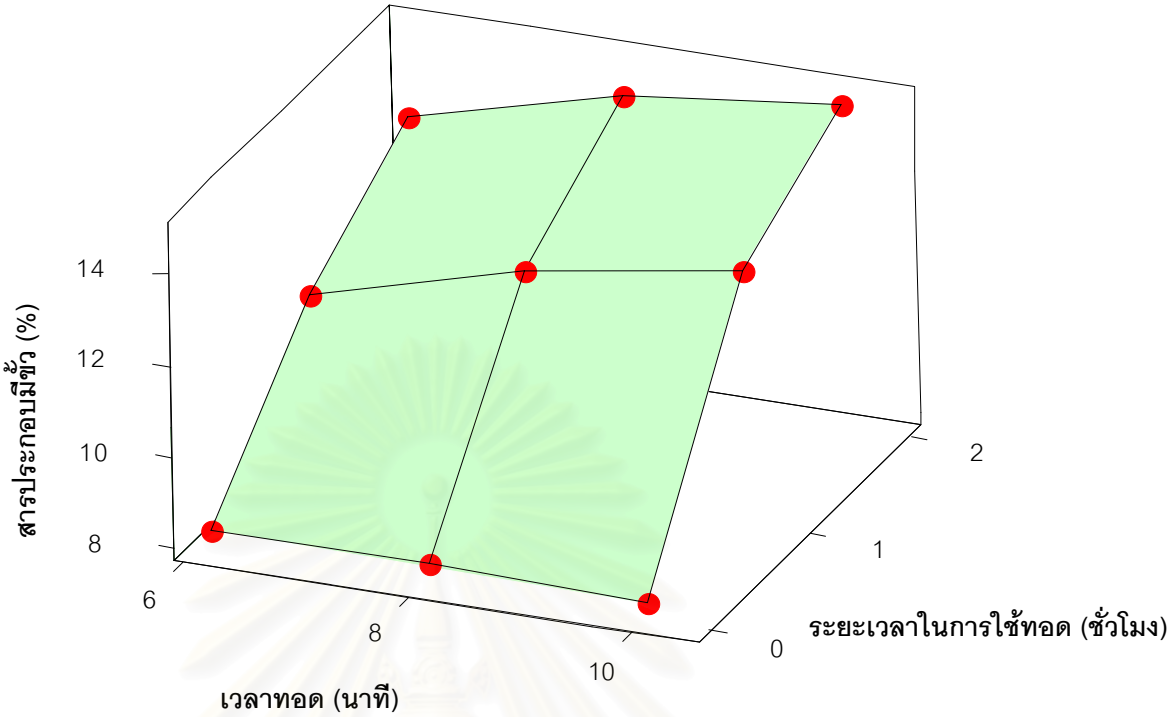
ที่ดี และมันฝรั่งแท่งที่ทอดด้วยภาวะนี้ ได้รับคะแนนการยอมรับในด้านสี กลิ่นหืน ความแข็ง และความชอบโดยรวมสูงที่สุด จึงเลือกใช้ภาวะการทอดดังกล่าว สำหรับใช้ในการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมด้วยน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w)

4.4 สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างภาวะในการทอดที่มีต่อปริมาณสารประกอบมีขั้ว

สารประกอบมีขั้วเป็นสารประกอบที่เกิดจากการแตกตัวของน้ำมันเมื่อได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด ซึ่งปฏิกิริยาเคมีหลักที่ส่งผลให้เกิดสารประกอบมีขั้ว ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซีส และพอลิเมอไรเซชัน การเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวส่งผลให้น้ำมันทอดเสื่อมคุณภาพ ดังนั้นการพิจารณาสารประกอบมีขั้วที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากกระบวนการทอดสามารถบ่งบอกถึงความคงตัวของน้ำมันได้ ซึ่งหากเกิดสารประกอบมีขั้วในน้ำมันปริมาณมากแสดงว่าน้ำมันชนิดนั้นมีความคงตัวต่อการทอดต่ำ เพราะจะเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ง่ายเมื่อน้ำมันได้รับความร้อน ส่งผลให้น้ำมันทอดเสื่อมคุณภาพได้เร็ว

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิ เวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอด ที่มีต่อปริมาณสารประกอบมีขั้ว พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างเวลาทอดกับระยะเวลาในการใช้ทอดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสารประกอบมีขั้ว ดังนั้นจึงนำผลของเวลาทอดและระยะเวลาในการใช้ทอดมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัยนี้ที่มีต่อปริมาณสารประกอบมีขั้ว โดยการใช้สมการ regression จากการใช้โปรแกรม Minitab ซึ่งได้กราฟความสัมพันธ์ แสดงในรูปที่ 4.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอดที่มีต่อปริมาณสารประกอบมีขั้ว ที่อุณหภูมิทอด 180 องศาเซลเซียส

จากกราฟในรูปที่ 4.6 จะได้สมการ regression ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอดต่อปริมาณสารประกอบมีขั้ว ดังนี้

$$z = 8.08 + 0.068x + 1.02y + 0.234xy$$

$R^2 = 0.936$ (คำนวณโดยใช้ระดับความเชื่อมั่น 95%)

เมื่อ z คือ ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (%)

x คือ เวลาทอด (นาที)

y คือ ระยะเวลาในการใช้ทอด (ชั่วโมง)

xy คือ อิทธิพลร่วมระหว่างเวลาทอดกับระยะเวลาในการใช้ทอด

เมื่อทำ validation เพื่อเปรียบเทียบค่าสารประกอบมีขั้วที่ได้จากการทดลองจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ regression โดยนำน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) ที่ทอดมันฝรั่งแท่งด้วยอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาทีต่อครั้ง ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 30 และ 90 นาที มาทำ validation จากรูปที่ 4.16 พบว่า ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 30 นาที ค่าสารประกอบมีขั้วที่ได้จากการทดลอง คือ 10.25 เปอร์เซนต์ และค่าที่คำนวณด้วยสมการ regression คือ 9.70 เปอร์เซนต์ ดังนั้นที่ระยะเวลาในการทอดนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายค่าสารประกอบมีขั้วด้วยสมการ คือ 5.37 เปอร์เซนต์ และที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 90 นาที ค่าสารประกอบมีขั้วที่ได้จากการทดลอง คือ 12.25 เปอร์เซนต์ และค่าที่คำนวณด้วยสมการ regression คือ 12.12 เปอร์เซนต์ ดังนั้นที่ระยะเวลาในการทอดนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายค่าสารประกอบมีขั้วด้วยสมการ คือ 1.06 เปอร์เซนต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้สมการ regression ทำนายค่าสารประกอบมีขั้วที่เกิดขึ้นจากการทอดมันฝรั่งแท่งในน้ำมันสูตรดังกล่าวโดยใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาทีต่อครั้ง พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนจากการใช้สมการ regression นั้นมีค่าน้อยกว่า 6 เปอร์เซนต์ แสดงว่าสมการดังกล่าวมีความแม่นยำสูง จึงสามารถใช้สมการดังกล่าวเพื่อทำนายระยะเวลาในการใช้ทอดนานที่สุดของการใช้น้ำมันผสมสูตรดังกล่าวจนมีปริมาณสารประกอบมีขั้วในน้ำมัน 25 เปอร์เซนต์ ตามที่กฎหมายกำหนดได้

ตารางที่ 4.16 ค่าสารประกอบมีขั้วที่ได้จากการทดลองและที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ regression

ระยะเวลาในการใช้ทอด (นาที)	(%) สารประกอบมีขั้ว		(%) ความคลาดเคลื่อน
	การทดลอง	สมการ regression	
30	10.25	9.70	5.37
90	12.25	12.12	1.06

การใช้สมการ regression เพื่อทำนายระยะเวลาทอดนานที่สุดของการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) ทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมโดยใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลาทอด 6 นาทีต่อครั้ง พบว่าระยะเวลาในการใช้ทอดนานที่สุดของน้ำมันผสมสูตรดังกล่าวจนมีปริมาณสารประกอบมีขั้วในน้ำมัน 25 เปอร์เซนต์ ตามที่กฎหมายกำหนด คือ 6.81 ชั่วโมง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์โอเลอินที่มีต่อการเกิดสารประกอบมีขั้วในกระบวนการทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม เพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดให้มีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดมากขึ้น ซึ่งผลของงานวิจัย สรุปได้ดังนี้

1. จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันก่อนการทอด พบว่าน้ำมันทุกสูตรที่นำมาวิเคราะห์ มีองค์ประกอบของกรดไขมัน ค่าความหนืด และค่าสีแตกต่างกัน และมีค่าสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ อยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข คือ มีค่าสารประกอบมีขั้วไม่เกิน 25 เปอร์เซนต์ (ตามประกาศฉบับที่ 283 พ.ศ.2547) ค่ากรดไขมันอิสระไม่เกิน 0.6 เปอร์เซนต์ และค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน 10 meqv.O_2/kg (ตามประกาศฉบับที่ 205 พ.ศ.2543) ดังนั้นน้ำมันทุกสูตรที่นำมาวิเคราะห์เป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดี เหมาะที่จะนำไปใช้ในการทดลองในขั้นตอนต่อไป

2. น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) มีความคงตัวต่อความร้อนขณะทอดดีที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันผสมสูตรอื่น โดยมีค่าสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าความหนืดและค่าสีต่ำกว่าน้ำมันผสมสูตรอื่นๆ เมื่อทอดที่ระยะเวลาเท่ากัน ดังนั้นจึงเลือกน้ำมันผสมสูตรนี้เป็นน้ำมันสำหรับใช้ทอด ทดแทนการใช้น้ำมันถั่วเหลืองหรือน้ำมันปาล์มโอเลอินเพียงอย่างเดียว

3. ภาวะที่เหมาะสำหรับการใช้งานน้ำมันผสมสูตรที่เลือกเพื่อทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วม คือ ภาวะที่ทอดโดยใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 6 นาที ต่อครั้ง เพราะน้ำมันมีความคงตัวต่อความร้อน มีค่าทางเคมีและกายภาพอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด ทั้งนี้ที่ภาวะดังกล่าวเมื่อนำไปใช้ทอดมันฝรั่งแท่ง ทำให้ได้รับคะแนนการยอมรับในด้านสี กลิ่นหืน ความแข็ง และความชอบโดยรวมสูงที่สุด

4. เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาทอด และระยะเวลาในการใช้ทอดต่อปริมาณสารประกอบมีขั้วโดยใช้สมการ regression เพื่อทำนายระยะเวลาในการใช้ทอดจนมีสารประกอบมีขั้วในน้ำมันที่ระดับ 25 เปอร์เซนต์ พบว่าการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w) ทอดมันฝรั่งแท่งแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลาทอด 6 นาที ต่อครั้ง สามารถทอดมันฝรั่งอย่างต่อเนื่องได้นานถึง 6.81 ชั่วโมง

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาผลของการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันชนิดอื่นๆ เช่น น้ำมันรำข้าว น้ำมันเมล็ดทานตะวัน หรือน้ำมันเมล็ดฝ้าย เพราะน้ำมันแต่ละชนิดมีองค์ประกอบของกรดไขมัน และลักษณะเด่นที่แตกต่างกัน เพื่อปรับปรุงให้เป็นน้ำมันที่เหมาะสำหรับใช้ทอด และมีคุณค่าทางโภชนาการให้ประโยชน์ต่อร่างกายตามที่ต้องการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 244 หน้า.

เนื้อทอง วนานุวัธ. 2546. น้ำมัน ไขมันและผลิตภัณฑ์. ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, หน้า 347-361. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 528 หน้า.

สาธารณสุข, กระทรวง. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2543. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 (พ.ศ.2543). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. 4 หน้า.

สาธารณสุข, กระทรวง. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2547. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283 (พ.ศ.2547). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข. 1 หน้า.

พันธิพา จันทวัฒน์, สุเมธ ตันตระเธียร, ศศิกานต์ กู้พงษ์ศักดิ์ และ อินทาวุธ สรรพวรสถิตย์. 2548. การศึกษาข้อมูลด้านสมบัติทางกายภาพ เคมี และคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันบริโภค. กรุงเทพมหานคร: ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 31 หน้า.

วิไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน. 500 หน้า.

วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2549. การประเมินคุณภาพอาหารโดยประสาทสัมผัส. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 321 หน้า.

ภาษาอังกฤษ

AOCS. 1998. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist's Society, 5th ed. Champaign:American Oil Chemists' Society Press. 1685 pp.

Bastida, S., and Sanchz-Muniez, F.J. 2002. Polar content vs. TAG oligomer content in the frying life assessment of monounsaturated and polyunsaturated oils used in deep-frying. J. Am. Oil Chem. Soc. 79: 447-451.

Bemiller, J.N., and Whistler, R.L. 1996. Carbohydrates. In O.R. Fennema (ed.), Food Chemistry, 3rd ed. New York: Marcel Dekker. 157-225.

Bennion, M. 1995. Introductory Foods. New Jersey: Prentice-Hall. 399-401.

Besbes, S., Blecker, C., Deroanne, C., Lognay, G., Drira, N.E., and Attia, H. 2005. Heating effect on some quality characteristics of date seed oil. Food Chemistry. 91: 469-476.

Chatzilazarou, A., Gortzl, O., Gortzi, O., Lalas, S., Zoidis, E., and Tsaknis, J. 2006. Physicochemical changes of olive oil and selected vegetable oils during frying. Journal of Food Lipid. 13: 27-35.

Cheman, Y.B., Ammawath, W., Rahman, R.A., and Yusof, S. 2003. Quality characteristics of refined, bleached and deodorized palm olein and banana chips after deep-fat frying. J. Sci. Food Agric. 83: 395-401.

Fellows, P.J. 2000. Food Processing Technology: Principle and Practice, 2nd ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited. 355-362.

Goburdhun, D., and Jhurree, B. 1995. Effect of deep-fat frying on fat oxidation in soybean oil. International Journal of Food Science and Nutrition. 46: 363-371.

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.

Gunstone, F.D. 2002. Vegetable Oils in Food Technology : Composition, Properties and Uses. Berlin: Blackwell Publishing. 331pp.

Houhoula, D.P., Oreopoulou, V., and Tzia, C. 2003. The effect of process time and temperature on the accumulation of polar compounds in cottonseed oil during deep- fat frying. J. Sci. Food Agric. 83: 314-319.

Jack, G.T. 2000. International symposium on deep fat frying [Online]. Available from: http://www 3 intersciencewiley.com/abstract [2006,May 10]

Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E., and Barrufet, M.A. 1999. Deep-fat frying: Fundamental and Application. New York: Aspen Publishers. 599-604 pp.

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

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(7): 635-662.

Perkins, E.G. and Erickson, M.D. 1996. Deep Frying: Chemistry nutrition and practical applications. Illinois: AOCS Press. 357 pp.

Razali, I., and Badri, M. 2006. Oil absorption, polymer and polar compounds formation during deep-fat frying of french fries in vegetable oils. Palm oil development [Online]. Available from : http://www.google.com /interscience/Malaysian plam oil[2006, May 10]

Rhee, K.S., Housson, S.E., and Ziprin, Y.A. 1992. A research note: Enhancement of frying oil stability by a natural antioxidative ingredient in the coating system of fried meat nuggets. J. Food Sci. 57: 789-791.

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

Su, C., and White, P. 2004a. Frying stability of high oleate and regular soybean oil blends. J. Am. Oil Chem. Soc. 81: 783-788.

Su, C., and White, P. 2004b. Flavor stability and quality of high oleate and regular soybean oil blends during frying. J. Am. Oil Chem. Soc. 81: 853-859.

Tan, C.P., and Cheman, Y.B. 1999. Differential scanning calorimetric analysis for monitoring the oxidation of heated oils. Food Chemistry. 67: 177-184.

Warner, K., and Gupta, M. 2003. Frying quality and stability of low and ultra low linolenic acid soybean oils. J. Am. Oil Chem. Soc. 80: 275-280.

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

Yaghmur, A., Aserin, A., Mizrahi, Y., Nerd, A., and Garti, N. 2001. Evaluation of argan oil for deep-fat frying[Online]. Available from:http.ingentaconnect.com/content [2006,May 10]

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมัน

ตามวิธีของ AOCS:Ce 1f-96 (1998)

1. การเตรียมกรดไขมันให้อยู่ในรูป fatty acid methyl ester

1.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 0.05 g ใส่ centrifuge tube

1.2 เติม hexane 950 ml และ 2 M ของ Methanolic 500 ml นำไปเขย่าด้วย vortex 1 นาที

1.3 ดูดสารละลายส่วนใส (ชั้นบน) ใส่ใน vial ขนาด 1.5 ml เติม Na_2SO_4 anhydrous ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

1.4 ดูดสารละลายส่วนใสใส่ใน vial ขนาด 1.5 ml และ injet ด้วย GC-FID

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมัน โดยเครื่อง gas chromatography

2.1 ใช้ GC syringe ดูดตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ 1 μl (ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ)

2.2 กดปุ่ม prep run ที่เครื่อง GC และรอจนกระทั่งเครื่องพร้อม โดยสังเกตจากคำว่า ready ที่จะปรากฏบนหน้าจอ

2.3 ฉีดตัวอย่าง เข้าทาง Inlet พร้อมทั้งกดปุ่ม start ที่เครื่อง GC ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีรายละเอียด ดังนี้

สภาวะของเครื่อง Oven

Initial temperature : 130 °C
Initial time : 0.00 min
Final temperature : 220 °C
Final time : 6.00 min
Post temperature : 230 °C
Post time : 1.00 min
Run time : 12 min

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สภาวะของ Column

Model Number : Innovax

Max temperature : 260 °C

Nominal length : 30.0 m

Nominal diameter : 320.0 um

Nominal film thickness : 0.25 um

Mode : constant flow

Initial flow : 1.2 ml/min

Nominal init pressure : 8.52 psi

Average velocity : 26 cm/sec

Inlet : Back Inlet

Outlet : Back Detector

Outlet pressure : ambient

Back Inlet

Model : Split

Initial temperature : 240 °C

Pressure : 8.52 psi

Split flow : 120.0 ml / min

Total flow : 124.0 ml / min

Gas saver : On

Saver flow : 20.0 ml / min

Saver time : 2.0 min

Gas Type : Helium

Back Detector (FID)

Temperature : 240 °C

Hydrogen flow : 40.0 ml / min

Mode : Constant makeup flow

Makeup flow : 25.0 ml / min

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Makeup Gas Type : Nitrogen

Flame : On

Electrometer : On

Lit offset : 2.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

ข.1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid)

ตามวิธีของ AOCS:Ca 5a-40 (1998)

สารเคมี

1.เอทิลแอลกอฮอลล์ 95 % ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายเอทิลแอลกอ-ฮอลล์ 95 % จะต้องมีสีชมพูประมาณ 30 วินาที ก่อนนำไปใช้

2.สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 1% ในเอทิลแอลกอฮอลล์ 95 %

3.สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N

การ Standardization สารละลาย NaOH

1.ชั่งน้ำหนักโพแทสเซียมไฮโดรเจนธาเลท ($KOOC.C_6H_4COOH$) 2 g ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่น 50 ml ปิดฝา เขย่าจนโพแทสเซียมไฮโดรเจนธาเลท ละลายหมด

2.หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด ลงในสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนธาเลท

3.นำไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนเกิดสีชมพูอ่อนที่เสถียร

4.คำนวณความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน จากสูตร

$$\text{ความเข้มข้นของ NaOH} = \frac{\text{g ของ } KOOC.C_6H_4COOH}{\text{ml ของ NaOH} \times 0.204444}$$

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน 56.4 g (ตามตารางที่ ก.1) ลงในขวดรูปชมพู่
2. เติมเอทิลแอลกอฮอลล์ 95 % ปริมาตร 50 ml (ตามตารางที่ ก.1)
3. เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน 2 ml
4. ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่งปรากฏเป็นสีชมพูอ่อนที่เสถียร (สีชมพูอ่อนต้องปรากฏอยู่นานกว่า 30 วินาที)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ จากสูตร

$$\text{Free fatty acid (\%as oleic acid)} = \frac{\text{ml ของสารละลาย NaOH} \times N \times 28.2}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH

ตารางที่ ข.1 น้ำหนักตัวอย่าง ปริมาตรของเอทิลแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เหมาะสมกับปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในตัวอย่าง

ปริมาณกรดไขมันอิสระ(%)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ปริมาตรของเอทิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ (ml)	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮครอกไซด์ (N)
0.00-0.2	56.4 ± 0.20	50	0.1
0.2-1.0	28.2 ± 0.20	50	0.1
1.0-30.0	7.05 ± 0.05	75	0.25
30.0-50.0	7.05 ± 0.05	100	0.25 หรือ 0.1
50.0-100	3.525 ± 0.001	100	0.1

ข.2 การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)

ตามวิธีของ AOCS:Cd 8-53 (1998)

สารเคมี

1.สารละลาย acetic acid-chloroform

เตรียมโดยผสม acetic acid กับ chloroform ในอัตราส่วน 3:2

2.สารละลาย potassium iodide (KI)

เตรียมโดยละลาย potassium iodide (KI) อิ่มตัว เก็บในขวดสีชา

3.สารละลายมาตรฐาน sodium thiosulphate ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) ความเข้มข้น 0.1 N

เตรียมโดยละลาย sodium thiosulphate จำนวน 24.9 g ในน้ำ 1 l เก็บในขวดสีชา สารละลายที่ได้มีความเข้มข้น 0.1 N กรณีที่น้ำมันที่นำมาวิเคราะห์มีค่า PV ต่ำไม่เกิน 2 meq.O_2/kg ควรใช้สารละลาย sodium thiosulphate ความเข้มข้น 0.01 N เตรียมได้โดยปิเปตสารละลาย sodium thiosulphate ความเข้มข้น 0.1 N ที่ทำการ standardized จนทราบความเข้มข้นที่แน่นอน ปริมาตร 100 ml ใส่ใน volumetric flask ขนาด 1000 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการต้มเพื่อไล่ออกซิเจน

4.สารละลายน้ำแป้ง 1%

เตรียมโดยชั่งแป้ง (potato starch iodometry) 1 g ลงในบิกเกอร์ขนาด 250 ml และเติมน้ำกลั่น 100 ml คนให้ละลายและนำไปต้มนาน 2-3 นาที จากนั้นนำลงจากเตาและทำให้เย็น

การ Standardization สารละลาย sodium thiosulphate

1. นำ potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

2. ชั่งน้ำหนัก $K_2Cr_2O_7$ ให้มีน้ำหนักอย่างแน่นอนระหว่าง 0.16–0.2 g ใน flask ขนาด 500 ml เติมน้ำกลั่น 25 ml และ concentrated hydrocholoric acid 5 ml

3. เติม KI อิ่มตัว 20 ml เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ในที่มืดประมาณ 5 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่น 100 ml

4. นำไปไทเทรตด้วยสารละลาย sodium thiosulphate เขย่าตลอดเวลา จนกระทั่งสีเหลืองของสารละลายจางหายไปเกือบหมด เติมน้ำแป้งเพื่อเป็นอินดิเคเตอร์ 2 ml จะได้สารละลายสีน้ำเงิน ไทเทรตต่ออย่างช้าๆ จนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป

5. คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย sodium thiosulphate มาตรฐาน จากสูตร

$$\text{sodium thiosulphate (N)} = \frac{20.394 \times \text{น้ำหนักของ } K_2Cr_2O_7 \text{ ที่ชั่งได้ (g)}}{\text{ml ของสารละลาย sodium thiosulphate}}$$

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน 5.00±0.05 g. ลงใน glass-stoppered Erlenmeyer ขนาด 250 ml

2. เติมสารละลาย acetic acid:chloroform 3:2 ปริมาตร 30 ml ปิดฝาจุก แล้วเขย่าให้ละลาย

3. เติมสารละลาย KI อิ่มตัว 0.5 ml เขย่าตลอดเวลา 1 นาที เมื่อครบเวลาให้เติมน้ำกลั่น 30 ml ลงไปในขวดทันที

4. เติมสารละลายน้ำแป้ง 1% ประมาณ 2 ml สารละลายจะกลายเป็นสีน้ำเงิน

5. ไทเทรตอย่างช้าๆ ด้วยสารละลาย sodium thiosulphate 0.01 N เขย่าอย่างแรง ไทเทรตจนกระทั่งสีฟ้าจางหายไป

6. ทดลองกับ blank (โดยทำเหมือนข้อ1-5 ทุกประการ ยกเว้นไม่ต้องเติมตัวอย่างน้ำมัน) โดยการไทเทรต blank จะต้องใช้สารละลาย sodium thiosulphate 0.01 N ไม่เกิน 1.0 ml

คำนวณค่า Peroxide value จากสูตร

$$\text{Peroxide value (meqv.}O_2\text{/kg)} = \frac{(S-B) \times N \times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

เมื่อ S = ปริมาตร (ml) ของสารละลาย sodium thiosulphate ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่างน้ำมัน

B = ปริมาตร (ml) ของสารละลาย sodium thiosulphate ที่ใช้ในการไทเทรต Blank

N = ความเข้มข้นของสารละลาย sodium thiosulphate

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.3 การวัดค่าสารประกอบมีขั้ว

อุปกรณ์

เครื่องวัดคุณภาพน้ำมัน Testo 265

รูปที่ ข.1 เครื่องวัดปริมาณสารประกอบมีขั้ว Testo 265

หลักการทำงานของเครื่อง

เครื่อง Testo 265 เป็นเครื่องที่ใช้วัดการแตกตัวของน้ำมันเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากกระบวนการทอด โดยจะมีเซนเซอร์อยู่ที่ปลายเครื่อง ตัวเซนเซอร์นี้จะวัดการแตกตัวของน้ำมันทั้งที่เป็นประจุบวกและประจุลบ และเครื่องจะแปรค่าออกมาเป็น (%) สารประกอบมีขั้วปรากฏขึ้นที่หน้าจอวัดผล

วิธีการวิเคราะห์

1.ก่อนการใช้งานต้อง calibrate เครื่องทุกครั้ง โดยใช้ reference oil

วิธี calibrate เริ่มจากเปิดเครื่อง กดปุ่มเลื่อนไปที่โหมด calibrate จากนั้นจุ่มเซนเซอร์ของเครื่องลงในน้ำมัน reference oil ตั้งค่า % TPM ที่ 3.7 เมื่อไฟสัญญาณเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเขียว แสดงว่าการ calibrate เสร็จเรียบร้อย พร้อมใช้งาน

2.การวัดสารประกอบมีขั้วในน้ำมัน เริ่มจากนำอาหารทอดออกจากน้ำมันและรอประมาณ 5 นาที ก่อนทำการวัด ตักน้ำมันใส่บิกเกอร์ขนาด 250 ml จุ่มเครื่อง Testo 265 ในน้ำมันเพื่อวัด

ค่าสารประกอบมีขั้วที่จะแสดงผลทางหน้าจอ ทั้งนี้ไม่ควรจุ่มหัววัดใกล้โลหะ เช่น ตะกร้าโลหะ เพราะอาจมีผลต่อการวัด ควรห่างจากโลหะอย่างน้อย 5 เซนติเมตร

3.อ่านค่า % TPM (total polar material) ซึ่งจะแสดงบนหน้าจอ (เครื่องจะวัดสารประกอบมีขั้วได้ อุณหภูมิของน้ำมันต้องอยู่ในช่วง 40-210 องศาเซลเซียส)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพ

ค.1 การวัดสี

อุปกรณ์

เครื่องวัดสี (Minolta, CR300)

วิธีวิเคราะห์

1.เลื่อนสวิทช์ POWER ON พร้อมกับกดปุ่ม ALL DATA CLEAR แล้วหน้าจอจะแสดงข้อความ ดังนี้

Initial Set OK.
CR-300 Series

2.กดปุ่ม index set หน้าจอจะแสดง ข้อความ ดังนี้

Print: Y
Color Space: N

3.กดปุ่ม ทุกครั้งที่กดหน้าจอจะแสดงข้อความดังนี้

Data Protect: N
Multi Measure: N

Multi Cal. : N
CAL CH00

Light Source : C
(C / D65)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.เลือกแหล่งแสง C หรือ D65 โดยกดปุ่ม ← หรือ → แล้วกดปุ่ม ENTER หน้าจอจะแสดงข้อความ

Index Set OK.
000. Y
x y

5.กดปุ่ม calibrate เพื่อป้อนค่าสีตามแหล่งแสงที่เลือกไว้ในข้อ 4 ตามแผ่น calibrate

6.เติมน้ำกลั่นลงใน sample cell จนถึงเส้นสีขาว

7.กดปุ่ม measure แล้วรอจนเกิดการ reflect ครบ 3 ครั้ง

8.กดปุ่ม color space select เพื่อเลือกระบบสีที่ต้องการใช้งาน นั่นคือ L*, a*, b*

9.เติมน้ำมันลงใน sample cell แทนน้ำกลั่น จากนั้นกดปุ่ม measure

10.ถ้าต้องการวิเคราะห์ทางสถิติให้กดปุ่ม STAT เครื่องก็จะแสดงค่า Max, Min, Mean และ SD

ค.2 การวัดความหนืด

อุปกรณ์

Brookfield Viscometer รุ่น DV I

วิธีวิเคราะห์

1.เลือกขนาดของ spindle ให้เหมาะสมกับตัวอย่างที่จะนำมาวัด ในการทดลองนี้ ใช้หัวเข็มเบอร์ 3 และใช้ความเร็วรอบ 30 rpm ติด spindle เข้ากับแกนของเครื่องวัด จากนั้นจุ่มลงในตัวอย่างน้ำมันที่ใส่ในบิกเกอร์ ขนาด 250 ml ให้ร่องของ spindle อยู่ในระดับเดียวกับผิวหน้าของตัวอย่าง (วัดความหนืดของน้ำมัน โดยน้ำมันมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส)

2. ตั้งค่าของเครื่อง โดยตั้งค่าขนาดหัวเข็ม และความเร็วรอบ ตามที่กำหนด

3. เปิด switch ของเครื่อง เพื่อวัดค่าความหนืด โดยให้ spindle หมุนเป็นเวลา 15 นาที หรือจนกว่าตัวเลขที่ปรากฏบนหน้าจอคงที่

4. อ่านค่าความหนืดที่วัดได้ บนหน้าจอแสดงผล

ภาคผนวก ง

วิธีคำนวณอัตราส่วนของน้ำมันผสม

ง.1 การคำนวณสูตรน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่ใช้ในการทดลอง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์โอเลอิน จะได้ปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง (MUFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (PUFA) ดังนี้

น้ำมันถั่วเหลือง SFA : MUFA : PUFA = 17.55 : 25.82 : 58.03

น้ำมันปาล์มโอเลอิน SFA : MUFA : PUFA = 45.00 : 43.34 : 11.66

ดังนั้น ปริมาณกรดไขมันของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน ในอัตราส่วนต่างๆ มี ดังนี้

1. น้ำมันถั่วเหลืองต่อน้ำมันปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 70:30 w/w

$$\text{SFA:MUFA:PUFA} = \frac{17.55(70) + 45.00(30)}{100} : \frac{25.82(70) + 43.34(30)}{100} : \frac{58.03(70) + 11.66(30)}{100}$$

$$= 25.79 : 31.07 : 44.12$$

2. น้ำมันถั่วเหลืองต่อน้ำมันปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 60:40 w/w

$$\text{SFA:MUFA:PUFA} = \frac{17.55(60) + 45.00(40)}{100} : \frac{25.82(60) + 43.34(40)}{100} : \frac{58.03(60) + 11.66(40)}{100}$$

$$= 28.53 : 32.83 : 39.48$$

3.น้ำมันถั่วเหลืองต่อน้ำมันปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 50:50 w/w

$$\text{SFA:MUFA:PUFA} = \frac{17.55(50) + 45.00(50)}{100} : \frac{25.82(50) + 43.34(50)}{100} : \frac{58.03(50) + 11.66(50)}{100}$$

$$= 31.28 : 34.81: 34.48$$

4.น้ำมันถั่วเหลืองต่อน้ำมันปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 40:60 w/w

$$\text{SFA:MUFA:PUFA} = \frac{17.55(40) + 45.00(60)}{100} : \frac{25.82(40) + 43.34(60)}{100} : \frac{58.03(40) + 11.66(60)}{100}$$

$$= 34.02 : 36.33 : 30.21$$

5.น้ำมันถั่วเหลืองต่อน้ำมันปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 w/w

$$\text{SFA:MUFA:PUFA} = \frac{17.55(30) + 45.00(70)}{100} : \frac{25.82(30) + 43.34(70)}{100} : \frac{58.03(30) + 11.66(70)}{100}$$

$$= 36.77 : 38.09 : 25.57$$

ตารางที่ ง.1 อัตราส่วนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน และปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิด

สูตรน้ำมัน (w/w)	กรดไขมันอิ่มตัว (SFA)	กรดไขมันไม่อิ่มตัวหนึ่งตำแหน่ง (MUFA)	กรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำแหน่ง (PUFA)	อัตราส่วนของ SFA:MUFA:PUFA
ถั่วเหลือง (SO)	17.55	25.82	58.03	1:1.47:3.31
SO:PO (70:30)	25.79	31.07	44.12	1:1.20:1.71
SO:PO (60:40)	28.53	32.83	39.48	1:1.15:1.38
SO:PO (50:50)	31.28	34.81	34.48	1:1.11:1.10
SO:PO (40:60)	34.02	36.33	30.21	1.13:1.20:1
SO:PO (30:70)	36.77	38.09	25.57	1.44:1.49:1
ปาล์มโอเลอิน (PO)	45.00	43.34	11.66	3.89:3.72:1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

การประเมินผลทางประสาทสัมผัส

วิธีการนี้ดัดแปลงมาจากวิธีของ วิวัฒน์ หวังเจริญ (2549)

1. การคัดเลือกผู้ชิม

คัดเลือกผู้ทดสอบที่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด โดยผู้ทดสอบต้องไม่มีโรคประจำตัวที่มีผลต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัส และมีเวลาว่างตลอดการฝึกฝน จำนวน 15 คน

2. การฝึกฝน

ผู้ทดสอบจะได้รับมันฝรั่งทอด จำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อใช้ในการประชุมอภิปรายเพื่อสร้างความเข้าใจที่ตรงกันเกี่ยวกับลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบ โดยผู้ทดสอบแต่ละคนจะพิจารณาลักษณะของมันฝรั่งทอด และเขียนบรรยายลักษณะของผลิตภัณฑ์ทั้งในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส จากนั้นผู้ทดสอบทุกคนร่วมกันกำหนดคำศัพท์ที่ใช้ในการอธิบายลักษณะของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผู้ทดสอบทุกคนมีความเข้าใจตรงกัน โดยมีการบรรยายความหมายของศัพท์แต่ละคำเพื่อไว้อ้างอิง

การฝึกฝนการประเมินความเข้มของลักษณะแต่ละลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยผู้ทดสอบแต่ละคนเสนอความคิดเห็น เพื่อกำหนดสเกลที่ใช้ในการวัดความเข้มของแต่ละลักษณะ จากนั้นกำหนดเกณฑ์ในการพิจารณาความเข้มของแต่ละลักษณะ โดยอาจมีการใช้สิ่งอ้างอิงที่มีความเข้มในระดับต่างๆ เพื่อกำหนดเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาระดับความเข้มของแต่ละลักษณะ

เมื่อกำหนดคำศัพท์ และสเกลที่ใช้ในการวัดความเข้มของแต่ละลักษณะแล้ว ให้ผู้ทดสอบทุกคน ทดสอบตัวอย่างผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด และให้คะแนนความเข้มของแต่ละลักษณะ โดยประเมินซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อพิจารณาความสามารถในการประเมินผลิตภัณฑ์ของผู้ทดสอบ คัดเลือกผู้ทดสอบโดยพิจารณาจากคะแนนการประเมินลักษณะความเข้มของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ครั้ง ว่ามีความเข้าใจในลักษณะ และระดับความเข้มของผลิตภัณฑ์ตรงกัน โดยเลือกผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 10 คน เพื่อนำมาประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดต่อไป

3.แบบฟอร์มคำอธิบายลักษณะของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดสำหรับผู้ทดสอบแต่ละคน

แบบบันทึกคำอธิบายลักษณะของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่ .....

คำแนะนำ: ท่านจะได้รับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 3 ตัวอย่าง กรุณาเปรียบเทียบและทดสอบผลิตภัณฑ์ต่อไปนี้ และระบุคำศัพท์ที่ท่านคิดว่าควรนำมาใช้ในการอธิบายลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ท่านสามารถรับรู้ได้ของผลิตภัณฑ์

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	คำศัพท์ที่ใช้อธิบายและความหมาย
ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.แบบฟอร์มคำอธิบายลักษณะของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดจากการสนทนากลุ่ม ความหมาย และเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาระดับความเข้ม

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	คำศัพท์ที่ใช้อธิบาย	ความหมายที่เข้าใจตรงกันหรือสิ่งอ้างอิง	เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาระดับความเข้ม
สี (color)	สี คือ สีเหลืองของมันฝรั่งที่ผ่านการทอด	-สีเหลืองของมันฝรั่งที่ทอด เป็นเวลา 0 6 และ 10 นาที	-สีขาว = 0 -สีเหลืองเข้มออกน้ำตาล = 10
กลิ่นหืน (rancid)	กลิ่นหืน คือ ความรู้สึกขณะดม ซึ่งเป็นกลิ่นหืนของน้ำมันที่ติดอยู่กับมันฝรั่งหลังทอด	-กลิ่นของน้ำมันใหม่และกลิ่นหืนของน้ำมันที่ใช้แล้ว	-มันฝรั่งทอดไม่มีกลิ่นหืนของน้ำมัน = 0 -มันฝรั่งทอดมีกลิ่นหืนของน้ำมันมาก = 10
ความแข็ง (hardness)	ความแข็ง คือ แรงที่ต้องใช้ในการทำให้มันฝรั่งทอดแตกหักเมื่อรับประทาน	-มันฝรั่งที่ทอดเสร็จใหม่ๆ -มันฝรั่งที่ทอดแล้ววางทิ้งไว้ 10 นาที	-แข็งน้อย = 0 -แข็งมาก = 10

5.แบบทดสอบประเมินความเข้มของลักษณะต่าง ๆ ของมันฝรั่งทอด

แบบทดสอบ Quantitative descriptive analysis (QDA)

ชื่อผลิตภัณฑ์ : มันฝรั่งทอด

ชื่อผู้ชิม .....วันที่ .....

เพศ : ☐ ชาย ☐ หญิง อายุ.....ปี

คำแนะนำ : ท่านจะได้รับตัวอย่างที่มีรหัสกำกับ กรุณาทดสอบลักษณะของผลิตภัณฑ์และประเมินผลโดยพิจารณา สี กลิ่นหืน และความแข็งของผลิตภัณฑ์ โดยชิมตัวอย่างเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนโดยลากเส้นตั้งฉากกับเส้นคะแนนพร้อมทั้งเขียนรหัสตัวอย่างกับกำกับ

1. สี (color)

0 10

สีขาวของมันฝรั่งที่ยังไม่ได้ทอด สีเหลืองเข้มออกน้ำตาล

2. กลิ่นหืน (rancid)

0 10

มันฝรั่งไม่มีกลิ่นหืนของน้ำมัน มันฝรั่งมีกลิ่นหืนของน้ำมันมาก

3. ความแข็ง (hardness)

0 10

มันฝรั่งไม่แข็ง มันฝรั่งแข็งมาก

ข้อเสนอแนะ : .....

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.แบบทดสอบประเมินความชอบของลักษณะต่าง ๆ ของมันฝรั่งทอด

แบบทดสอบสำหรับ 9-point hedonic scale test

ชื่อผลิตภัณฑ์ : มันฝรั่งทอด

ชื่อ……..... วันที่……

เพศ □ ชาย □ หญิง อายุ……ปี

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้ โดยบ้วนปากด้วยน้ำที่เตรียมให้ก่อนทดสอบตัวอย่างทุกตัวอย่าง และทดสอบชิมตัวอย่างตามลำดับจากซ้ายไปขวา ประเมินผลโดยพิจารณาถึงสี กลิ่นหืน ความแข็ง และความชอบโดยรวม แล้วให้คะแนนตามระดับความชอบจากเกณฑ์ตัวเลขที่กำหนดให้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด	4 = ไม่ชอบเล็กน้อย	7 = ชอบปานกลาง
2 = ไม่ชอบมาก	5 = เฉยๆ	8 = ชอบมาก
3 = ไม่ชอบปานกลาง	6 = ชอบเล็กน้อย	9 = ชอบมากที่สุด

ลักษณะทดสอบ	รหัสตัวอย่าง		
สี			
กลิ่นหืน			
ความแข็ง			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

……

……

……

ภาคผนวก ฉ

ฉ.1 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 (พ.ศ. 2543)

เรื่อง กำหนดน้ำมันและไขมันเป็นอาหารควบคุมเฉพาะและกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน วิธีการผลิตและฉลากสำหรับน้ำมันและไขมัน

ข้อ 1 ให้น้ำมันและไขมันใช้เป็นอาหารได้ ซึ่งได้แก่ กลีเซอรอลของกรดไขมันต่างๆ ที่ได้จากพืชหรือสัตว์ ซึ่งใช้เป็นอาหารและบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท กล่อง ซอง หรือสิ่งห่อหุ้มที่ปิดผนึกเพื่อจำหน่ายเป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน ทั้งนี้ไม่รวมถึงเนยหรือเนยเทียม

ข้อ 2 น้ำมันและไขมันที่ใช้เป็นอาหารแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

2.1 น้ำมันและไขมันที่ได้จากพืช

2.2 น้ำมันและไขมันที่ได้จากสัตว์

2.3 น้ำมันและไขมันผสม ได้แก่ น้ำมันและไขมันที่ได้จากพืชต่างชนิดกันไม่เกิน 2 ชนิด หรือน้ำมันและไขมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่ผสมกันโดยผ่านกรรมวิธีไฮโดรจิเนชั่น หรือ เอสเทอร์ริฟิเคชั่น หรือน้ำมันและไขมันผสมตามชนิดและกรรมวิธีอื่นที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 3 พืชหรือไขมันของสัตว์ที่จะนำมาผลิตเอาน้ำมันและไขมัน ต้องมีสภาพที่เหมาะสมจะใช้ผลิตอาหาร และอยู่ในสภาพที่ให้น้ำมันและไขมันซึ่งบริโภคได้โดยปราศจากอันตราย

ข้อ 4 วิธีการผลิตน้ำมันและไขมันให้ทำได้ดังนี้

4.1 วิธีธรรมชาติ ทำโดยการบีบอัด โดยใช้ความร้อนหรือวิธีธรรมชาติอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และนำมาทำให้สะอาดโดยล้าง การตั้งไว้ให้ตกตะกอน การกรอง หรือการหมุนเหวี่ยง

4.2 วิธีผ่านกรรมวิธี ทำโดยนำน้ำมันและไขมันที่ได้จากวิธีธรรมชาติ หรือที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาและนำมาผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง

4.3 วิธีอื่น ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 5 น้ำมันและไขมันต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

5.1 มีค่าของกรด (acid value) คิดเป็นมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กรัม

5.1.1 ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

5.1.2 ได้ไม่เกิน 0.6 สำหรับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธี

5.1.3 ได้ไม่เกิน 4.0 สำหรับน้ำมันและไขมันผสมซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

5.1.4 ได้ไม่เกิน 0.6 สำหรับน้ำมันและไขมันผสมซึ่งทำโดยผ่านกรรมวิธี

5.1.5 ได้ไม่เกิน 1.0 สำหรับน้ำมันและไขมันที่ทำโดยวิธีผ่านกรรมวิธีผสมกับน้ำมันและไขมันซึ่งทำโดยวิธีธรรมชาติ

5.2 มีค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) คิดเป็นมิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม ได้ไม่เกิน 10

5.3 มีน้ำและสิ่งระเหยได้ (water and volatile matter) ที่อุณหภูมิ 105 °C ได้ไม่เกินร้อยละ 0.2 ของน้ำหนัก

5.4 มีปริมาณสบู่ (soap content) ได้ไม่เกินร้อยละ 0.005 ของน้ำหนัก

5.5 มีสิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (insoluble impurities) ได้ไม่เกินร้อยละ 0.05 ของน้ำหนัก

5.6 มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของน้ำมันและไขมัน ยกเว้นน้ำมันและไขมันผสม

5.7 ไม่มีกลิ่นหืน

5.8 ตรวจพบสารปนเปื้อนได้ไม่เกินที่กำหนด ดังต่อไปนี้

5.8.1 ไม่พบน้ำมันแร่ (Mineral oil)

5.8.2 เหล็ก ในน้ำมันหรือไขมันธรรมชาติและในน้ำมันหรือไขมันผสมไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม ในน้ำมันหรือไขมันผ่านกรรมวิธีไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

5.8.3 ทองแดง ในน้ำมันหรือไขมันธรรมชาติและในน้ำมันหรือไขมันผสมไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม ในน้ำมันหรือไขมันผ่านกรรมวิธีไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน1 กิโลกรัม

5.8.4 ตะกั่ว ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

5.8.5 สารหนู ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน 1 กิโลกรัม

5.8.6 อะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) ไม่เกิน 20 ไมโครกรัม ต่อน้ำมันหรือไขมัน

5.8.7 Cyclopropenoid Fatty Acid ไม่เกินร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (ไม่เกิน 20 ส่วนในพันล้านส่วน)

- น้ำมันและไขมันผสมนอกจากต้องมีคุณสมบัติหรือมาตรฐานตามวรรคที่หนึ่งแล้ว อาจมีคุณภาพมาตรฐานอื่นตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาด้วยก็ได้

- น้ำมันและไขมันที่ผลิตตามวิธีอื่นในข้อ 4 (4.3) ให้มีคุณภาพหรือมาตรฐานตามที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 6 การใช้วัตถุเจือปนอาหาร ให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กำหนดไว้ในบัญชีท้ายประกาศนี้ การใช้วัตถุเจือปนอาหารชนิดอื่นนอกจากที่กำหนดให้ใช้ได้ตามวรรคแรก ต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 7 ผู้ผลิตหรือนำเข้าน้ำมันและไขมันเพื่อจำหน่าย ต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร

ข้อ 8 การใช้ภาชนะบรรจุน้ำมันและไขมัน ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องภาชนะบรรจุ

ข้อ 9 การแสดงฉลากของน้ำมันและไขมันที่ได้รับประทานหรือปรุงแต่งอาหาร ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องฉลาก

ข้อ 10 ให้ใบสำคัญการขึ้นทะเบียนตำรับอาหารหรือใบสำคัญการใช้ฉลากอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ.2522) เรื่อง กำหนดน้ำมันและไขมันเป็นอาหารควบคุมเฉพาะ และกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน วิธีการผลิต และฉลาก สำหรับน้ำมันและไขมัน ลงวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 72 (พ.ศ.2525) เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 22 (พ.ศ.2522) ลงวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ.2525 ประกาศกระทรวง สาธารณสุข ฉบับที่ 134 (พ.ศ.2534) เรื่อง น้ำมันและไขมันผสม (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) ลงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2534 และประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 164) พ.ศ.2538 เรื่อง แก้ไขเพิ่มเติมประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง น้ำมันและไขมัน

(ฉบับที่ 3) ลงวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ.2538 ซึ่งออกให้ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับยังคงใช้ต่อไปได้อีกสองปี นับแต่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 11 ให้ผู้ผลิต ผู้นำเข้าน้ำมันและไขมันที่ได้รับอนุญาตอยู่ก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ ยื่นคำขอรับเลขสารบบอาหารภายในหนึ่งปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ เมื่อยื่นคำขอดังกล่าวแล้วให้ได้รับการผ่อนผันการปฏิบัติตามข้อ 8 ภายในสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ และให้คงใช้ฉลากเดิมที่เหลืออยู่ต่อไปจนกว่าจะหมดแต่ต้องไม่เกินสองปี นับแต่วันที่ประกาศนี้ใช้บังคับ

ข้อ 12 ประกาศนี้ ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฉ.2 ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283 (พ.ศ. 2547)

เรื่อง กำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย

ด้วยปรากฏข้อมูลว่าน้ำมันที่นำมาทอดอาหารเพื่อจำหน่าย เมื่อมีการใช้ทอดซ้ำหรือนำไปประกอบอาหารอาจมีสารโพลาร์ในปริมาณสูง และอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้บริโภค ดังนั้นจึงสมควรกำหนดปริมาณสารประกอบโพลาร์ในน้ำมันดังกล่าว

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 และมาตรา 6(3) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 35 มาตรา 39 มาตรา 48 และมาตรา 50 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข ออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ในประกาศนี้ “น้ำมัน” หมายความว่า น้ำมันและไขมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์ และใช้เป็นอาหารได้

ข้อ 2 น้ำมันตามข้อ 1 ที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย มีสารโพลาร์ได้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก

ข้อ 3 ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป ประกาศไว้ ณ วันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ.2547

นางสุดารัตน์ เกยุราพันธุ์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงสาธารณสุข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ช.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสารประกอบมีขั้ว ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ก่อนการทอด

SOV	df	MS		
		สารประกอบมีขั้ว (%)	กรดไขมันอิสระ (% as oleic acid)	เปอร์ออกไซด์ meqv.O_2/kg
สูตรน้ำมัน	6	2.994*	0*	0.851*
error	7	0.464	0.0003	0.027

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ช.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืด และค่าสี (L* a* และ b*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ก่อนการทอด

SOV	df	MS			
		ความหนืด (cps)	L*	a*	b*
สูตรน้ำมัน	6	633.832*	1.730*	0.670*	19.422*
error	7	1.067	0.003	0.00056	0.00007

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ช.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 4 8 และ 12 ชั่วโมง

SOV	df	MS		
		4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
สูตรน้ำมัน	6	6.780*	5.935*	4.875*
error	7	0.607	1.089	0.964

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ช.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 4 8 และ 12 ชั่วโมง

SOV	df	MS		
		4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
สูตรน้ำมัน	6	0.001*	0.003*	0.004*
error	7	0.00001	0.0002	0.001

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ช.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 4 8 และ 12 ชั่วโมง

SOV	df	MS		
		4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
สูตรน้ำมัน	6	0.795*	0.415*	5.408*
error	7	0.001	0.004	0.001

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ช.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 4 8 และ 12 ชั่วโมง

SOV	df	MS		
		4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
สูตรน้ำมัน	6	688.273*	1111.558*	1489.646*
error	7	20.100	10.706	7.057

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ช.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีความสว่าง (L*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 4 8 และ 12 ชั่วโมง

SOV	df	MS		
		4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
สูตรน้ำมัน	6	12.088*	7.041*	5.077*
error	7	0.00054	0.0003	0.00004

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ช.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 4 8 และ 12 ชั่วโมง

SOV	df	MS		
		4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
สูตรน้ำมัน	6	0.951*	2.421*	1.163*
error	7	0.0004	0.0008	0.003

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ช.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันทั้ง 7 สูตร ที่ระยะเวลาในการใช้ทอด 4 8 และ 12 ชั่วโมง

SOV	df	MS		
		4 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
สูตรน้ำมัน	6	39.745*	54.420*	82.498*
error	7	0.018	0.0006	0.00009

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ช.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสารประกอบมีขั้ว กรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w)

SOV	df	MS		
		สารประกอบมีขั้ว (%)	กรดไขมันอิสระ (% as oleic acid)	เปอร์ออกไซด์ meqv.O_2/kg
อุณหภูมิ (A)	2	36.045*	0.022*	263.896*
เวลาทอด (B)	2	8.635*	0.010*	22.737*
ระยะเวลาในการใช้ทอด (C)	2	181.358*	0.071*	535.310*
A×B	4	0.087^{ns}	0.003*	2.787*
A×C	4	0.184^{ns}	0.006*	66.676*
B×C	4	2.378*	0.003*	7.730*
A×B×C	8	0.059^{ns}	0.001*	1.983*
error	27	0.172	0.000001	0.615

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ช.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืด และค่าสี (L* a* และ b*) ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอิน อัตราส่วน 30:70 (w/w)

SOV	df	MS			
		ความหนืด (cps)	L*	a*	b*
อุณหภูมิ (A)	2	375.774*	14.225*	0.152*	46.129*
เวลาทอด (B)	2	257.104*	3.869*	0.562*	3.673*
ระยะเวลาในการใช้ทอด (C)	2	2045.282*	173.469*	1.945*	473.201*
A×B	4	3.891 ns	0.224 ns	0.041*	0.265*
A×C	4	96.645*	6.818*	0.054*	15.580*
B×C	4	70.154*	2.896*	0.334*	1.207*
A×B×C	8	7.580 ns	0.228 ns	0.052*	0.077*
error	27	8.351	0.156	0.002	0.018

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ช.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการประเมินผลทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ Quantitative descriptive analysis (QDA)

SOV	df	MS		
		สี	กลิ่นหืน	ความแข็ง
อุณหภูมิ (A)	2	38.373*	25.234*	29.387*
เวลาทอด (B)	2	9.367*	13.721*	9.961*
A×B	4	0.825*	0.579*	0.283 ns
error	9	0.43	0.069	0.313

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ช.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการประเมินผลทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ 9- point hedonic scale

SOV	df	MS			
		สี	กลิ่นหืน	ความแข็ง	ความชอบโดยรวม
อุณหภูมิ (A)	2	5.273*	1.565*	7.442*	9.880*
เวลาทอด (B)	2	2.927*	8.437*	4.770*	5.557*
A×B	4	5.191*	0.986*	4.497*	6.480*
error	9	0.056	0.065	0.107	0.123

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิภาวรรณ กาฬสุวรรณ เกิดวันที่ 3 พฤศจิกายน 2525 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย เมื่อปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย