การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งโดยใช้สารดูดซับซิลิกาเจล

REGENERATION OF BREADED CHICKEN FRYING PALM OIL BY SILICA GEL ADSORBENT

วริศรา จิวะชาติ

WARISARA CHIWACHART

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-2002-6

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งโดยใช้สารดูดซับซิลิกาเจล

REGENERATION OF BREADED CHICKEN FRYING PALM OIL BY SILICA GEL ADSORBENT

T061208

วริศรา จิวะชาติ

WARISARA CHIWACHART

เลขหมู่.................................
เลขทะเบียน 61208
วัน,เดือน,ปี 17 มี.ค. 2549

.b.................................
.i.................................

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-2002-6

REGENERATION OF BREADED CHICKEN FRYING PALM OIL BY SILICA GEL ADSORBENT

WARISARA CHIWACHART

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2005

ISBN 974-15-2002-6

COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งโดยใช้สารดูดซับซิลิกาเจล

REGENERATION OF BREADED CHICKEN FRYING PALM OIL BY SILICA GEL ADSORBENT

ชื่อนักศึกษา นางสาววริศรา จิวะชาติ

รหัสประจำตัว 46066622

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พอใจ ถามากร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พอใจ ถามากร	
รศ.ดร.วรรณา ตั้งเจริญชัย	
ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 31 ตุลาคม 2548 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้องสัมมนา D 213 อาคารเจ้าคุณทหาร

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่...30.....**เดือน**...พฤศจิกายน...**พ.ศ.**...2548....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งโดยใช้สารดูดซับซิลิกาเจล
นักศึกษา	นางสาววริศรา จิวะชาติ
รหัสประจำตัว	46066622
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. พอใจ ถามากร

บทคัดย่อ

กระบวนการดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหาร ซิลิกาเจลเป็นสารดูดซับชนิดหนึ่งในจำนวนสารดูดซับหลายๆชนิดที่มีประสิทธิภาพดี ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของขนาดรูพรุนและขนาดอนุภาคของสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร เพื่อเลือกขนาดรูพรุนและอนุภาคที่เหมาะสม พบว่าขนาดรูพรุนใหญ่ (100 อังสตรอม) และขนาดอนุภาคเล็ก ($\leq$ 0.063มิลลิเมตร) ช่วยในการปรับปรุงสีของน้ำมันได้อย่างชัดเจน ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม สามารถปรับปรุงคุณภาพทั้งกายภาพและเคมีของน้ำมันได้ดีกว่าที่ขนาดรูพรุน 40 และ 60 อังสตรอม แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำมันที่ปรับปรุงโดยใช้ซิลิกาเจลที่ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม ขนาดอนุภาคเล็ก ($\leq$ 0.063 มิลลิเมตร) ไม่ได้ทำให้คุณสมบัติทางเคมีส่วนใหญ่ดีขึ้นกว่าที่ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า (0.063 – 0.2 และ 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร) ในขณะที่ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร ให้ค่าสมบัติทางเคมีส่วนใหญ่ดีที่สุด

การศึกษาผลของเวลาในการดูดซับและปริมาณซิลิกาเจลที่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารพบว่า การเพิ่มปริมาณซิลิกาเจลทำให้น้ำมันมีการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดีขึ้น การใช้ปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล 30 % เป็นปริมาณที่เหมาะสม และเมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นจาก 10 นาทีเป็น 20 และ 30 นาที พบว่ามีผลต่อการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันเล็กน้อย และพบว่าการเพิ่มเวลาในการดูดซับไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ได้ภายหลังการดูดซับ

การศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับซิลิกาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสารในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร พบว่าเมื่อมีการนำซิลิกาเจลกลับมาใช้เป็นจำนวน 20 ครั้งทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารของซิลิกาเจลต่อคุณสมบัติด้านต่างๆลดลงประมาณ 27 – 52 % จึงทำให้การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทั้งทางเคมีและกายภาพลดลง

Thesis Title	Regeneration of Breaded Chicken Frying Palm Oil by Silica Gel Adsorbent
Student	Miss Warisara Chiwachart
Student ID	46066622
Degree	Master of Science
Programme	Food Science
Year	2005
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr. Porjai Thamakorn

ABSTRACT

Adsorption process is an interesting method for regenerating of used frying oil . Silica gel is one of the most effective adsorbent compared to the others. This experiment aims to study the effects of pore sizes (40, 60, and 100 A°) and particle sizes (≤ 0.063, 0.063 – 0.2, and 0.2 – 0.5 mm) of silica gel on regenerating of used palm frying oil, in order to select the optimum. The higher pore size and smaller particle size obviously improved color of the frying oil. Silica gel with 100 A° regenerated used frying oil both chemical and physical properties more effective than 40 and 60 A°. But it was not statistically significant difference from silica gel 60 A°. The small particle size (≤ 0.063 mm) did not show the improvement of oil in terms of chemical properties when compared to the larger particle size (0.063 – 0.2 mm and 0.2 – 0.5 mm). Silica gel with 0.063 – 0.2 mm resulted in fairly chemical properties of regenerated frying oil.

Effect of time and percentage of silica gel adsorbent on regenerating of used palm frying oil was studied . It was found that higher percentage of silica gel regenerated better both chemical and physical properties of frying oil. Thirty percent of silica gel was considered as optimum. The increasing of adsorption time have a little effect on regeneration of used oil. The yield of regenerated oil were not significantly affected by adsorption time.

Adsorption capacity of reactivated silica gel adsorbent for absorbed compounds in used palm frying oil was investigated. It was found that adsorption capacity of reactivated silica gel adsorbent to various qualities was decreased by 27 – 52 % with repetition of the reactivation up to twenty reactivation.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร.พอใจ ถามากร ที่ได้ให้เกียรติเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์รวมทั้งคอยดูแลเอาใจใส่ให้คำแนะนำในการทำงานวิจัย ตลอดจนให้ความรู้ ข้อคิดเห็นและคำปรึกษาต่างๆแก่ข้าพเจ้าตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. วรรณา ตั้งเจริญชัย และ ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ ที่ช่วยแก้ไขและให้คำแนะนำงานวิจัยบางส่วนจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นักศึกษาปริญญาโททุกคนและบุคคลที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ที่ให้การสนับสนุน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วริศรา จิวะชาติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	XIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.3 วัตถุประสงค์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 น้ำมันปาล์ม	3
2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันในระหว่างการทอดอาหาร	5
2.3 สารประกอบที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดอาหาร	9
2.4 ความเป็นพิษของสารประกอบที่เกิดขึ้นในน้ำมันขณะทอด	10
2.5 สารดูดซับซิลิกาเจล	11
2.6 ข้อจำกัดของการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารกลับมาใช้ตามกฎหมาย	15
2.7 ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของน้ำมันทอด	16
2.8 การใช้สารดูดซับในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหาร	18
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	22
3.1 วัตถุดิบและสารดูดซับซิลิกาเจล	22
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	22
3.3 สารเคมี	22
3.4 สถานที่ทำการทดลอง	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 วิธีการทดลอง	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	26
4.1 วิเคราะห์คุณภาพน้ำมันปาล์มผ่านการทอดและไม่ผ่านการทอดอาหาร	26
4.2 ศึกษาผลของขนาดรูพรุนของสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	27
4.3 ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	31
4.4 ศึกษาผลของเวลาในการดูดซับสารและปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	33
4.5 ศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับซิลิกาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสารในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	38
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	41
บรรณานุกรม	43
ภาคผนวก	45
ประวัติผู้เขียน	83

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม	3
2.2	ชนิดของสารประกอบที่เกิดขึ้นในน้ำมันทอดอาหารและผลต่อสุขภาพหลังการบริโภค	11
2.3	องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาเจล	12
2.4	ข้อจำกัดของการนำน้ำมันทอดอาหารกลับมาใช้อีกตามกฎหมายในแต่ละประเทศ	16
4.1	สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดไก่จากตลาดหัวตะเข้และน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ผ่านการทอดอาหาร	27
4.2	สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม	29
4.3	เปอร์เซนต์การลดลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ100 อังสตรอม	30
4.4	เปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม	30
4.5	สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารยังไม่ได้นำมาผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq$0.063 มิลลิเมตร , 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร	32
4.6	เปอร์เซนต์การลดลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq$0.063 , 0.063 – 0.2 และ 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร	32
4.7	เปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดอนุภาค $\leq$ .063 มิลลิเมตร 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร	33
4.8	เปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการดูดซับและปริมาณสารดูดซับต่างกัน	38
ก1	ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของด่าง	45
ก2	การคาลิเบรทเครื่องสเปรกโตโฟโตมิเตอร์	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข1	ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน	53
ข2	ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้ สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน	53
ข3	ค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน	53
ข4	ค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน	54
ข5	ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน	54
ข6	ค่าสีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน	54
ข7	น้ำหนักของน้ำมันปาล์มที่ได้หลังจากผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน	55
ข8	ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน	55
ข9	ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน	55
ข10	ค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน	56
ข11	ค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน	56
ข12	ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน	56
ข13	ค่าสีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข14	น้ำหนักของน้ำมันปาล์มที่ได้หลังจากผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน	57
ข15	ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน	57
ข16	ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน	58
ข17	ค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน	58
ข18	ค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน	58
ข19	ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน	59
ข20	ค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน	59
ข21	สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน	60
ค1	เปอร์เซนต์การลดลงของค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน	61
ค2	เปอร์เซนต์การลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน	61
ค3	เปอร์เซนต์การลดลงของค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน	61
ค4	เปอร์เซนต์การลดลงของค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน	62
ค5	เปอร์เซนต์การลดลงของค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน	62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค6	เปอร์เซนต์การลดลงของค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน	62
ค7	เปอร์เซนต์การลดลงของค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน	63
ค8	เปอร์เซนต์การลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน	63
ค9	เปอร์เซนต์การลดลงของค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน	63
ค10	เปอร์เซนต์ การลดลงของค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน	64
ค11	เปอร์เซนต์ การลดลงของค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน	64
ค12	เปอร์เซนต์ การลดลงของค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน	64
ง1	สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและยังไม่ได้ปรับปรุงซึ่งนำมาใช้ศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับซิลิกาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสารประกอบ	66
ง2	ประสิทธิภาพการดูดซับกรดไขมันอิสระที่เปลี่ยนแปลงไปของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง	66
ง3	ประสิทธิภาพการดูดซับค่าเปอร์ออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงไปของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง	67
ง4	ประสิทธิภาพการดูดซับค่าพาราแอนนิซิดีนที่เปลี่ยนแปลงไปของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง	68
ง5	ประสิทธิภาพการดูดซับค่าสารประกอบมีขั้วที่เปลี่ยนแปลงไปของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง	69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง6 ประสิทธิภาพการดูดซับค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง 70

ง7 ประสิทธิภาพการดูดซับค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง 71

ง8 เปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังการนำซิลิกาเจลกลับมาใช้เป็นจำนวน 20 ครั้ง 72

จ1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ100 อังสตรอม 73

จ2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ100 อังสตรอม 73

จ3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ100 อังสตรอม 74

จ4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ100 อังสตรอม 74

จ5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ100 อังสตรอม 74

จ6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ100 อังสตรอม 75

จ7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม 75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
จ8	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq$ 0.063 มิลลิเมตร , 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร.................	75
จ9	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq$ 0.063 มิลลิเมตร , 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร.................	76
จ10	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq$ 0.063 มิลลิเมตร , 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร.................	76
จ11	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq$ 0.063 มิลลิเมตร , 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร.................	76
จ12	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq$ 0.063 มิลลิเมตร , 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร.................	77
จ13	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq$ 0.063 มิลลิเมตร , 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร................................	77
จ14	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดอนุภาค $\leq$.063 มิลลิเมตร 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร..	77
จ15	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน..........	78
จ16	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน..........	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
จ17	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน..........	78
จ18	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน..........	79
จ19	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน..........	79
จ20	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน..................	79
จ21	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน....................................	80

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 การเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน.. 6

2.2 การเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน.. 7

2.3 การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.. 8

2.4 การเกิดสารอะโครเลอิน.. 9

2.5 การเกิดสารประกอบต่างๆในน้ำมันทอด.. 10

2.6 ลักษณะรูพรุนของซิลิกาเจล.. 12

2.7 พันธะและหมู่ฟังก์ชันต่างๆของซิลิกาเจล.. 13

4.1 การเปลี่ยนแปลงของค่ากรดไขมันอิสระที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที
และปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม.. 33

4.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที
และปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม.. 33

4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าพาราแอนนิซิดีนที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที
และปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม.. 34

4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่าสารประกอบมีขั้วที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที
และปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม.. 34

4.5 การเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที
และปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม.. 35

4.6 การเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที
และปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม.. 35

4.7 ประสิทธิภาพการดูดซับสารของสารดูดซับซิลิกาเจลที่เปลี่ยนแปลงไป................ 38

4.8 ปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการนำซิลิกาเจลกลับมาใช้เป็นจำนวน 20 ครั้ง.............. 38

ฉ1 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วย
สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม.................................... 81

ฉ2 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุง
ด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค ≤ 0.063 , 0.063 – 0.2 และ
0.2 – 0.5 มิลลิเมตร.. 81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ฉ3 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารหลังผ่านการปรับปรุงด้วยซิลิกาเจลที่ผ่านการเผาครั้งที่ 0 , 10 และ 20 82

ฉ4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผา 20 ครั้ง 82

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันพบว่าทั่วโลกมีปริมาณการผลิตน้ำมันพืช 60 ล้านตันต่อปี (Miyagi และ Nakajima , 2003) ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นการนำน้ำมันไปใช้ในการทอดอาหาร ดังนั้นในแต่ละวันจึงมีปริมาณน้ำมันเสื่อมเสียที่เกิดจากการทอดอาหารเป็นจำนวนมาก ซึ่งในปัจจุบันมีการนำน้ำมันที่เสื่อมเสียเหล่านี้ไปรีไซเคิลเพื่อใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมสบู่ และน้ำมันหล่อลื่น ในระหว่างการทอดอาหาร เมื่อน้ำมันสัมผัสกับอุณหภูมิสูง น้ำ และออกซิเจน ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ คือ ปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน ออกซิเดชันและไฮโดรไลซิส มีผลทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสียและเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเพิ่มปริมาณของสารประกอบมีขั้วต่างๆ เช่น ปริมาณกรดไขมันอิสระ สารโพลีเมอร์ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ อัลดีไฮด์และคีโตน ส่วนการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเกิดฟองความหนืดเพิ่มขึ้น และการเกิดสีคล้ำ ซึ่งระดับการเปลี่ยนแปลงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น วิธีการที่ใช้ในการทอดอาหาร ชนิดของอาหารที่นำมาทอด คุณภาพของน้ำมันที่นำมาใช้ทอดและสภาวะในการทอด จึงเห็นได้ว่าน้ำมันหลังจากผ่านการทอดอาหารแล้วจะมีสมบัติทางเคมีและกายภาพเปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดสารประกอบต่างๆในระหว่างการทอดซึ่งพบว่าเป็นสารที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้เองน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารแล้วมักไม่นิยมนำมาใช้ทอดอาหารอีก แต่ในทางการค้าและทางอุตสาหกรรมเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนจึงมักมีการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารแล้วกลับมาใช้ทอดอีก ทำให้ผู้บริโภคได้รับอันตรายจากสารประกอบต่างๆที่เกิดขึ้นในน้ำมัน

ดังนั้นจึงมีการศึกษาและทดลองหาวิธีในการลดปริมาณสารประกอบที่เป็นอันตรายเพื่อยืดอายุและคุณภาพของน้ำมันทอด วิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมาก คือ การใช้สารดูดซับในการดูดซับสารประกอบต่างๆซึ่งมีการศึกษาวิจัยพบว่า การใช้สารดูดซับซิลิกาเจลสามารถลดปริมาณ สารประกอบมีขั้วต่างๆ ปรับปรุงสีและคุณภาพของน้ำมันให้ดีขึ้นได้ ในการทดลองครั้งนี้จึงศึกษาความเหมาะสมของการใช้สารดูดซับ ซิลิกาเจลในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทอดอาหาร ซึ่งจะเป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น นำกลับมาบริโภคหรือใช้เป็นน้ำมันไบโอดีเซล

1.2 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาความเหมาะสมของการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร โดยศึกษาผลของขนาดรูพรุนและขนาดอนุภาคของสารดูดซับซิลิกาเจล เวลาที่ใช้ในการกวนให้สารดูดซับซิลิกาเจลสัมผัสกับน้ำมัน ปริมาณที่เหมาะสมของสารดูดซับซิลิกาเจลในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร และประสิทธิภาพของสารดูดซับซิลิกาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสารในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของขนาดรูพรุนของสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร
2. ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร
3. ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับสารและปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร
4. ศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับซิลิกาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสารในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันปาล์ม

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชยืนต้นในตระกูล Palmceae มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า Elaeis quincensis และมีชื่อสามัญว่า African oil palm ซึ่งน้ำมันปาล์มได้จากการนำผลปาล์มมาเข้าเครื่องบีบอัดเพื่อทำการสกัดน้ำมันแล้วจึงนำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้ไปกลั่นเพื่อให้ได้น้ำมันพืช (ปาล์ม) ที่มีความบริสุทธิ์ น้ำมันที่สกัดได้จากผลปาล์มสดมี 2 ชนิด คือ ชนิดที่สกัดได้จากชั้นของผล เรียกว่า น้ำมันปาล์ม (palm oil) และที่สกัดได้จากชั้นของเนื้อในเมล็ด เรียกว่า น้ำมันเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) ซึ่งในส่วนนี้ไม่นิยมนำมาบริโภคเนื่องจากมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงถึง 85% น้ำมันปาล์มบริโภคประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม

ชื่อสามัญ	ชนิดกรดไขมัน	ร้อยละของกรดไขมัน	
		ช่วง	เฉลี่ย
กรดลอริก	C 12:0	0.1-1.0	0.2
กรดไมริสติก	C 14:0	0.9-15	1.1
กรดปาลมิติก	C16:0	41.8-16.8	44.0
กรดปาลมิโตเลอิก	C16:1	0.1-0.3	0.1
กรดสเตียริก	C18:0	4.2-5.1	4.5
กรดโอเลอิก	C 18:1	37.3-40.8	39.2
กรดไลโนเลอิก	C 18:2	9.1-11.0	10.1
กรดไลโนเลนิก	C 18:3	0.0-0.6	0.1
กรดอาราชิดิก	C 20:0	0.2-0.7	0.4

หมายเหตุ C 12:0 หมายถึงกรดไขมันที่มีจำนวน C12 อะตอม ไม่มีพันธะคู่ C 16:1 หมายถึง กรดไขมันที่มีจำนวน C 16 อะตอม มีพันธะคู่ 1 พันธะ

ที่มา : Hamilton(1995)

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ คือ กรดไขมันชนิดอิ่มตัว และชนิดไม่อิ่มตัวอย่างละประมาณ ร้อยละ 50 ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 พันธะ (monounsaturated) มีประมาณร้อยละ 40 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2 พันธะ (diunsaturated) มีประมาณร้อยละ10

องค์ประกอบอื่นๆของน้ำมันปาล์มดิบที่มีอยู่ประมาณร้อยละ1ได้แก่ แคโรทีนอยด์(carotenoids) โทโคเฟอรอล (tocopherols) โทโคไทรอีนอล(tocotrienols) สเตอรอล(sterols) ฟอสโฟลิพิด (phospholipids) ไกลโคลิพิด (glycolipids) เทอพินิก(Terpenic) อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocabons) และสิ่งเจือปนอื่นๆ

ในกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มให้บริสุทธิ์ มีจุดประสงค์สำคัญคือ เพื่อให้ได้น้ำมันบริโภคที่ใสและมีสีอ่อน ปริมาณของกรดไขมันอิสระต่ำกว่า ร้อยละ 0.1 วิธีที่ดีที่สุด คือ การกลั่นทางกายภาพ (physical refining) โดยกำจัดสารเหนียว (gum) ของน้ำมันปาล์มด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 ตามด้วยการกำจัดสิ่งเจือปนอื่นๆ ด้วยดินฟอกสี (bleaching earth) ซึ่งทำหน้าที่เป็น cleaning agent เช่น กำจัดสารเหนียว กรดฟอสฟอริก โลหะต่างๆ เช่น เหล็ก ทองแดง สารประเภทเปอร์ออกไซด์ จากนั้นกำจัดกลิ่นและกรดไขมันอิสระ องค์ประกอบอื่นๆ เช่น โทโคเฟอรอล โทโคไทรอีนอล สเตอรอล ไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบคาร์บอนิล ก็จะถูกกำจัดออกด้วย

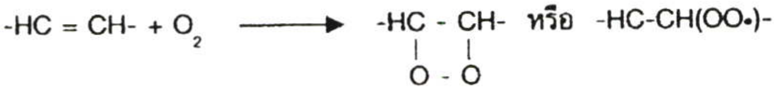
น้ำมันปาล์มจะมีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งของเหลวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเข้าสู่กระบวนการแยกลำดับส่วน (fractionation) น้ำมันปาล์มจะถูกแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของแข็งเรียกว่า ปาล์มสเตียริน (palm sterain) และส่วนที่เป็นของเหลวเรียกว่า ปาล์มโอเลอีน (palm olein) ในอัตราส่วน 3 ต่อ7

เมื่อเปรียบเทียบน้ำมันบริโภคที่ใช้ทอดอาหาร เช่น น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปาล์มโอเลอีน พบว่าการทอดอาหารที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสนั้น น้ำมันปาล์มโอเลอีนจะมีสมบัติดีกว่าน้ำมันบริโภคอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันปาล์มโอเลอีน มีกรดไลโนเลนิกและกรดไลโนเลอิก ซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิดชันได้ง่ายในปริมาณต่ำ และยังมีโทโคเฟอรอล ซึ่งเป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ที่จะช่วยทำให้อาหารที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์มสามารถเก็บไว้ได้นาน (นิรมล ,2547)

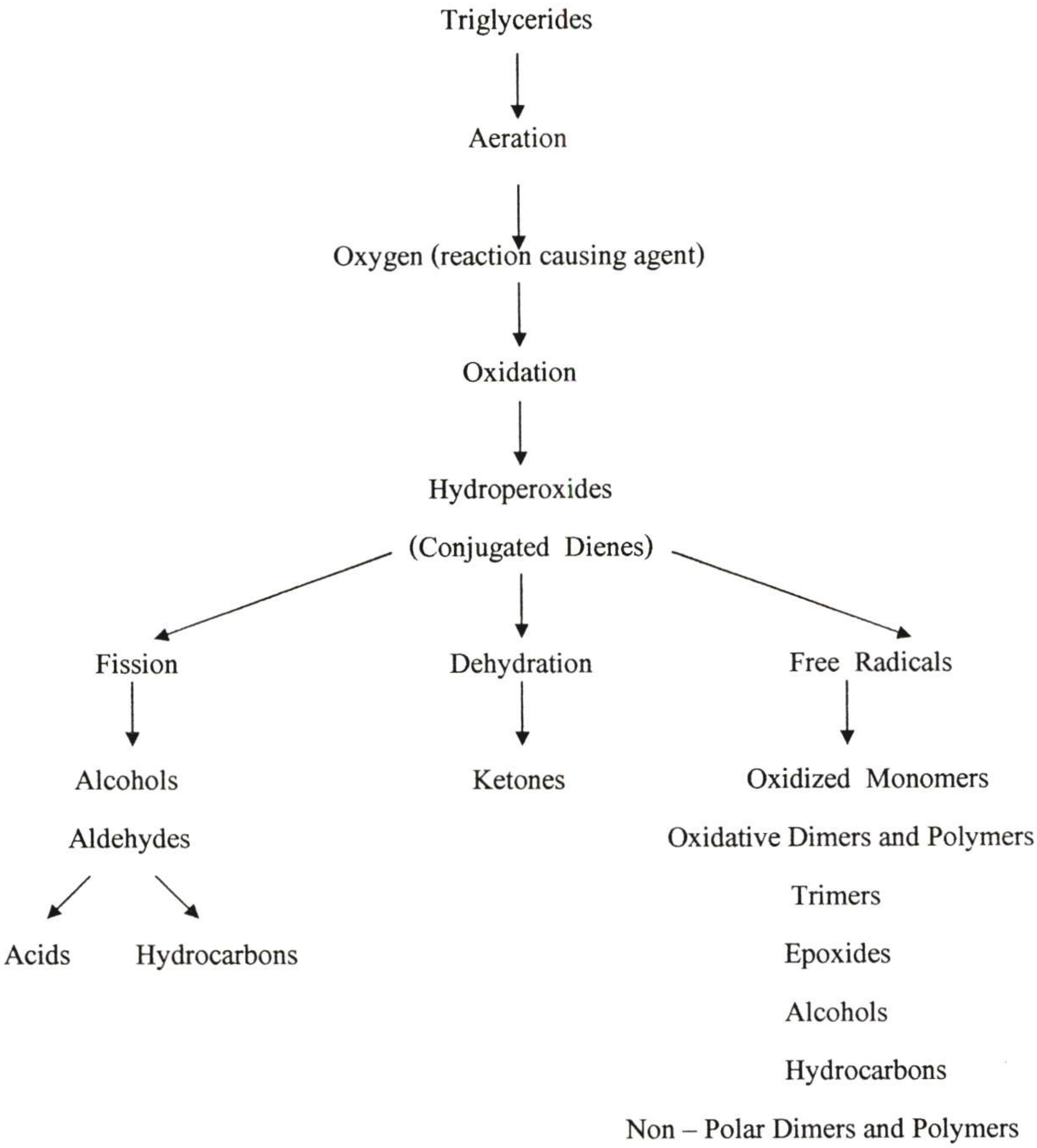
2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันในระหว่างการทอดอาหาร

น้ำมันโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ประมาณ 96 – 99 % ซึ่งในระหว่างการทอดอาหารนั้นน้ำมันได้รับความร้อนสูงถึง 160 – 180 องศาเซลเซียส และมีการสัมผัสกับออกซิเจนและน้ำ จึงมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเกิดสารประกอบมากกว่า 400 ชนิด นำไปสู่การเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดอาหาร เช่น จุดมีควันต่ำลง สีเข้มขึ้น กลิ่นรสเปลี่ยนไป ฟองมากขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้น มีกรดไขมันอิสระ สารโพลาร์ และสารโพลีเมอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะไปมีผลต่อคุณภาพของอาหารที่นำมาทอด (Paul and Mittal, 1997)

2.2.1 การเกิดออโตออกซิเดชัน (autooxidation) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลา เมื่อไขมันหรือน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ โดยเกิดที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นการต่อแบบเปอร์ออกไซด์ (peroxide linkage) ขึ้นระหว่างพันธะคู่ดังแสดงสมการ ทำให้เกิดกลิ่นหืนในไขมันและน้ำมันบริโภค กลิ่นหืนที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า oxidative rancidity และการเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันจะทำให้เกิดสารประกอบหลายชนิดดังภาพที่ 2.1



อัตราการเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่อไขมันหรือน้ำมันได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้น มีการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ได้รับแสง และสัมผัสกับวัตถุที่เป็นโปรออกซิแดนท์ (prooxidant) เช่น ทองแดง ทองเหลือง ตะกั่ว ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะช่วยเร่งให้การเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น การเกิดการหืนโดยปฏิกิริยานี้ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกายถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมันและน้ำมันลดลงด้วย และยังทำลายพวกวิตามินต่างๆที่ละลายในไขมันและน้ำมันได้อีกด้วย (นิธิยา, 2545)



ภาพที่ 2.1 การเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน
ที่มา : Paul and Mittal (1997)

2.2.2 การเกิดโพลิเมอร์ด้วยความร้อน (polymerization) ที่อุณหภูมิ 200 – 300 องศาเซลเซียสในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสามารถมารวมตัวกันเกิดเป็นโพลีเมอร์ ดังภาพที่ 2.2 โดยมีการเกิดพันธะใหม่ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนโดยไม่มีอะตอมของออกซิเจนในโมเลกุลไขมัน ถ้าพันธะเหล่านี้เกิดขึ้นในกรดไขมัน 1 โมเลกุล จะทำให้เกิดกรดไขมันแบบต่อกันเป็นวง (cyclic fatty acid) ถ้าเกิดพันธะระหว่างกรดไขมัน 2 โมเลกุล อาจเกิดภายในโมเลกุลเดียวกันหรือระหว่างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้เกิดกรดไดเมอริก (dimers) และถ้าเกิดพันธะข้ามระหว่างโมเลกุลเหล่านี้ต่อไปก็ทำให้เกิดโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นอีก ซึ่งจะทำให้น้ำมันมีการเกิดฟอง (foaming) มากขึ้นและมีการเกิดสารเหนียว (gumming) แสดงให้เห็นว่าน้ำมันมีการเสื่อมคุณภาพ (มณฑาทิพย์,2535)

Triglycerides

↓

Thermal Alteration

↓

Heat

↓

Cyclic Monomers

Dimers

Polymers

ภาพที่ 2.2 การเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน

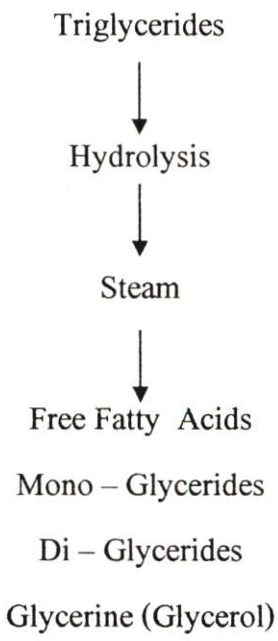
ที่มา : Paul and Mittal (1997)

2.2.3 การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนสูง เช่น ขณะทอดอาหารที่มีปริมาณน้ำสูง ไขมันหรือน้ำมันจะถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นกรดไขมันอิสระ(free fatty acid) โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) และกลีเซอรอล (glycerol) ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งการเกิดปฏิกิริยานี้ทำให้ค่าความเป็นกรดของไขมันและ

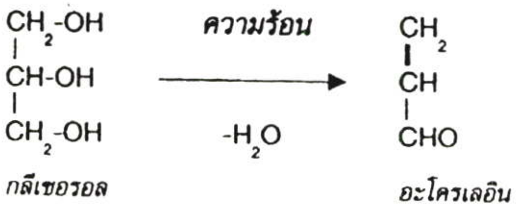
น้ำมันสูงขึ้น เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจะสลายตัวได้สารพวกอะโครเลอิน (acrolein) ซึ่งระเหยกลายเป็นควันและมีกลิ่นเหม็น (นิธิยา, 2545) ดังภาพที่ 2.4

อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขึ้นอยู่กับ

1. ปริมาณของน้ำที่เพิ่มเข้าไปในน้ำมันทอด ถ้ามีปริมาณน้ำมากขึ้นจะเกิดเร็วขึ้น
2. อุณหภูมิของน้ำมันทอด ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดมากขึ้น
3. อัตราการเติมน้ำมันแทนที่น้ำมันที่ใช้ที่หายไปในระหว่างการทอด หากมีการแทนที่น้ำมันที่ใช้แล้วด้วยน้ำมันใหม่มากขึ้น อัตราการเกิดจะน้อยลง
4. กากและเศษอาหารที่สะสมในเตาทอด ถ้ามีเศษอาหารสะสมในเตาทอดมากจะทำให้อัตราการเกิดมากขึ้นด้วย



ภาพที่ 2.3 การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส
ที่มา : Paul and Mittal (1997)



ภาพที่ 2.4 การเกิดสารอะโครเลอิน
ที่มา : นิธิยา (2545)

2.3 สารประกอบที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดอาหาร

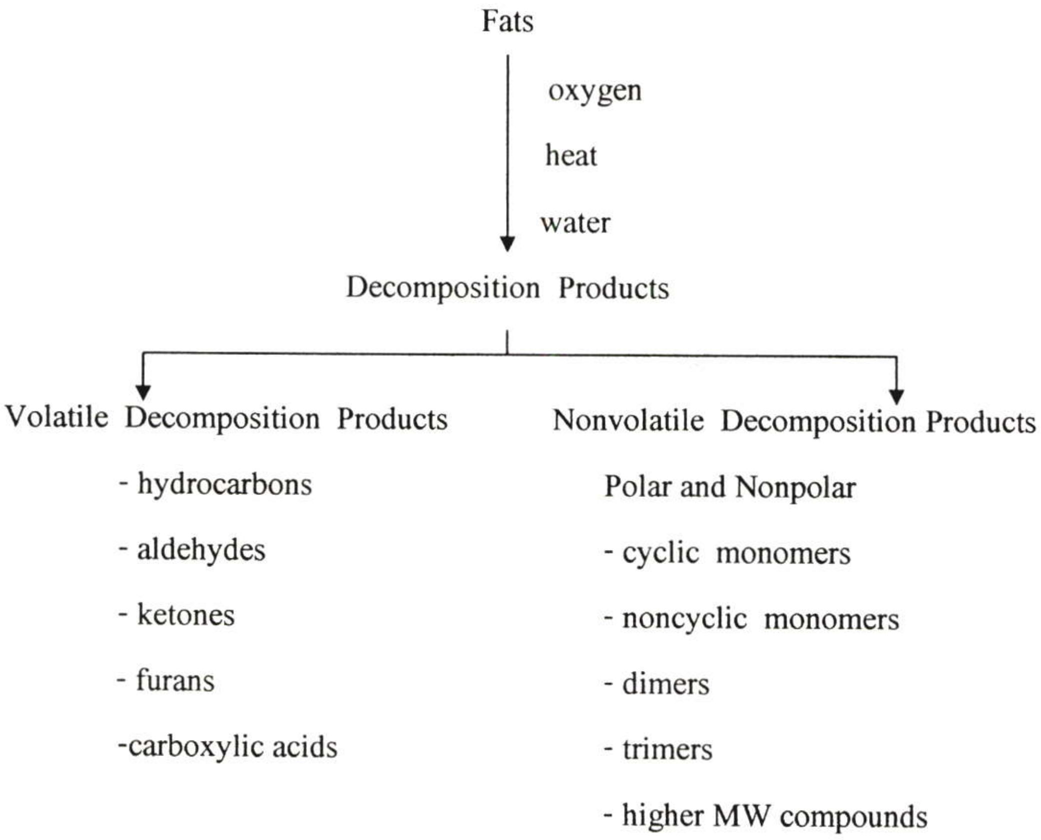
ในระหว่างการทอดอาหารเมื่อมีการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีแล้วจะทำให้ได้สารประกอบต่างๆ มากมาย ดังภาพที่ 2.5 ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.3.1 สารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ (volatile decomposed products)

การสลายตัวของกรดไขมันในน้ำมันทอดจะส่งผลต่อการเกิดสารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ และต่อกลิ่นรสของอาหารทอด สารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ เช่น ไฮโดรคาร์บอน(hydrocarbon) คีโทน(ketone) อัลดีไฮด์(aldehyde) กรดคาร์บอกซิลิก(carboxylic acid) เป็นต้น ซึ่งสารประกอบกลุ่มนี้มีผลต่อกลิ่นรสของอาหารทอด

2.3.2 สารประกอบสลายตัวที่ไม่ระเหย (nonvolatile decomposed products)

สารเหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดออกซิเดชันและโพลิเมอไรเซชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมัน สารประกอบสลายตัวที่ไม่ระเหย เช่น โมโนเมอร์แบบวง (cyclic monomer) โมโนเมอร์ไม่ใช่แบบวง (noncyclic monomer) ไดเมอร์ (dimer) ไตรเมอร์ (trimer) และสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สารที่ไม่ระเหยเหล่านี้ยังคงอยู่ในน้ำมันทอด และจะเสื่อมสลายต่อไปทุกครั้งที่ใช้น้ำมันนี้ทอดอาหาร และอาหารจะดูดซึมสารเหล่านี้ไว้ หากใช้น้ำมันทอดหลายๆครั้งทำให้เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น สะสมอยู่ในน้ำมันและไม่ระเหย ทำให้ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเปลี่ยนไป เช่น ความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดสีและฟอง ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น เกิดกรดไขมันอิสระ จำนวนกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลงและเกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (Stevenson et al., 1984)



ภาพที่ 2.5 การเกิดสารประกอบต่างๆในน้ำมันทอด
ที่มา : White (1991)

2.4 ความเป็นพิษของสารประกอบที่เกิดขึ้นในน้ำมันขณะทอด

Kantorowitz and Yannai (1974) ศึกษาเกี่ยวกับความเป็นพิษของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง โดยนำมาทดลองเลี้ยงหนูพบว่าจะทำให้การเจริญเติบโตของหนูลดลง

Billek et al. (1978) ได้ทดลองให้น้ำมันทอดที่มีปริมาณสารประกอบมีขั้ว (polar compound) 20 % ให้หนูกิน พบว่ามีผลต่อน้ำหนักของสัตว์โดยทำให้หนูมีน้ำหนักตัวลดลง และมีขนาดของตับและไตใหญ่ขึ้นผิดปกติ

Perkins and Lamboni (1998) ได้ทำการทดลองให้น้ำมันต่างชนิดกันเป็นอาหารแก่หนู ชนิดแรกเป็นน้ำมันใหม่ ชนิดที่สองเป็นน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว และชนิดที่สามเป็นน้ำมันที่ผ่านการทอดและใช้สารดูดซับอลูมิเนียมซิลิเกต (aluminium silicate) ซึ่งเป็นสารที่สามารถ ดูดซับสารประกอบมีขั้ว

(polar compound) ได้ นำน้ำมันทั้ง 3 ชนิดเติมลงในอาหารหนูประมาณ 15 % พบว่าหนูที่กินน้ำมันชนิดที่สามมีขนาดของตับเล็กกว่าซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังจากการใช้สารดูดซับแล้วน้ำมันจะมีสารประกอบที่เป็นอันตรายน้อยลง จากการทดลองต่างๆจะเห็นได้ว่าการบริโภคน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารจะมีผลต่อสุขภาพ เนื่องจากน้ำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารแล้วมีสารประกอบที่เป็นอันตรายต่อร่างกายเกิดขึ้น เมื่อบริโภคเข้าไปจะไปมีผลต่อสุขภาพดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดของสารประกอบที่เกิดขึ้นในน้ำมันทอดอาหารและผลต่อสุขภาพหลังการบริโภค

สารประกอบ	ผลต่อสุขภาพ
ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxides)	เอนไซม์ของเยื่อบุลำไส้เล็กทำงานผิดปกติ นำไปสู่การเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่
อีปอกไซด์(epoxides)	ขนาดของตับมีขนาดใหญ่ผิดปกติ
สารโมโนเมอร์ชนิดวงที่ถูกออกซิไดส์ (oxidized cyclic monomers)	การเจริญเติบโตลดลงและตาย
สารโอลิโกเมอร์ (oligomers)	โรคท้องร่วง
สารไดเมอร์ที่ถูกออกซิไดส์(oxidized dimers)	การเจริญเติบโตลดลง

ดัดแปลงมาจาก : Riera และคณะ (2000)

2.5 สารดูดซับซิลิกาเจล

ซิลิกาเจล (silica gel) เป็นรูปหนึ่งของสารซิลิกาสังเคราะห์ (synthetic amorphous silica) มีสูตรทางเคมี คือ $SiO_2.xH_2O$ อยู่ในรูปของไฮดรัสซิลิกอนไดออกไซด์ (hydrous silicon dioxide) ซิลิกาเจลมีลักษณะเป็นของแข็งทรงกลม โครงสร้างภายในประกอบด้วยอนุภาคซิลิเกตมาเชื่อมต่อระหว่างกันเป็นร่างแห เรียกว่า micells ทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กอยู่มากมาย ซึ่งรูพรุนมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 – 10 nm ดังรูปที่ 2.6 และมีพื้นที่ผิวประมาณ 300 – 1000 m^2/g SiO_2 ซึ่งรูพรุนเหล่านี้สามารถเกิดแรงดึงดูดและสามารถกักเก็บน้ำ แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอนและสารเคมีอื่นๆได้ (Weinheim , 1999) ซิลิกาเจลเตรียมได้จากการทำให้เป็นกลาง (neutralization) ของซิลิเกต (aqueous alkali metal silicate) ด้วยกรดซัลฟูริก ดังนี้

$$Na_2O.\ 3.3\ SiO_2 + H_2SO_4 \longrightarrow Na_2SO_4 + 3.3\ SiO_2 + H_2O$$

ภาพที่ 2.6 แสดงลักษณะรูพรุนของซิลิกาเจล
ที่มา : Sewell และ Clarke (1991)

2.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาเจล

องค์ประกอบทางเคมีของสารดูดซับซิลิกาเจลโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 ดังตารางที่ 2.3 รองลงมา คือ Al_2O_3 , TiO_2 และ Fe_2O_3 ตามลำดับ ส่วนพวก Trace oxides ได้แก่ CaO , ZrO_2 และ Na_2O

ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาเจล

สารประกอบ	ปริมาณ (%)
SiO_2	99.71
Al_2O_3	0.10
TiO_2	0.09
Fe_2O_3	0.03
Trace oxides	0.07

ที่มา : Weinheim (1999)

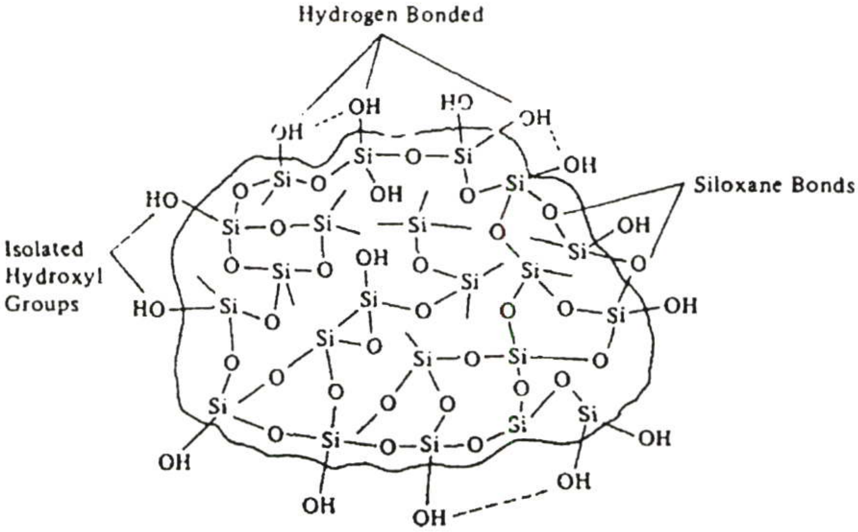
2.5.2 พันธะและหมู่ฟังก์ชันของซิลิกาเจล

พื้นผิวของซิลิกาเจลประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ (Robards, 1994) ดังนี้ ดังภาพที่ 2.7

1. หมู่ซิลานอล (silanol groups) -Si(OH)- มีคุณสมบัติเป็นกรดเล็กน้อยและเป็นหมู่ที่มีบทบาทสำคัญในการ แยกสารเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่แอคทีฟ (active) สามารถเกิดอันตรกิริยาได้กับสารประกอบที่มีฟังก์ชันนอลกรุ๊ปที่มีขั้ว (polar functional group) เช่น น้ำ และสารประกอบมีขั้วต่างๆ โดยไฮโดรเจนของหมู่ซิลานอลเกิดการฟอร์มพันธะไฮโดรเจนกับสารประกอบมีขั้ว ทำให้สามารถดูดซับสารประกอบเหล่านั้นได้

2. หมู่ซิโลเซน (siloxane groups) (-Si-O-Si-) มีอิทธิพลต่อการแยกสารน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย

3. พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonded)



ภาพที่ 2.7 แสดงพันธะและหมู่ฟังก์ชันต่างๆของซิลิกาเจล

ที่มา : แม้น และ อมร (2534)

2.5.3 ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับเกิดขึ้นเมื่ออะตอมหรือโมเลกุลเคลื่อนที่มากระทบผิวหน้าของแข็ง จะเกิดการดึงดูดระหว่างผิวหน้าของของแข็งกับอนุภาค อนุภาคเหล่านี้จะถูกจับตัวอยู่บนผิวหน้าของของแข็ง ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า การดูดซับ (adsorption) โดยของแข็งทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ เรียกว่า adsorbent และอนุภาคที่ถูกดูดซับที่ผิวหน้า เรียกว่า adsorbate

กระบวนการดูดซับแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการดึงดูดซึ่งกันและกันระหว่างผิวหน้าของของแข็งกับอนุภาค คือ

1. การดูดซับทางกายภาพ (physisorption) เป็นการดูดซับที่แรงดึงดูดระหว่างผิวหน้าของของแข็งกับอนุภาคเป็นแรงดึงดูดอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอวาลล์ (Van der waals) หรือแรงไดโพล (dipole force) เอนทัลปีของการดูดซับทางกายภาพมีค่าประมาณ 20 กิโลจูลต่อโมลซึ่งมีค่าน้อยมาก และพลังงานที่คายออกมาเทียบได้เท่ากับพลังงานที่ทำให้เกิดแรงการสั่นของผลึก ไม่เพียงพอต่อการสลายพันธะ

2. การดูดซับทางเคมี (chemisorption) เป็นการดูดซับที่แรงดึงดูดระหว่างผิวหน้าของของแข็งกับอนุภาค เกี่ยวข้องกับการสร้างพันธะเคมีโดยมากจะเกิดเป็นพันธะโควาเลนซ์ เอนทัลปีของการดูดซับทางเคมีจะมากกว่าเอนทัลปีของการดูดซับทางกายภาพ ปกติมีค่าประมาณ 200 กิโลจูลต่อโมล

นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อมีการสัมผัสระหว่างผิวหน้าของสสารก็จะเกิดการดูดซับขึ้น แบ่งการดูดซับตามการสัมผัสของสสารได้ ดังนี้

1. การดูดซับระหว่างผิวหน้า แก๊ส-ของแข็ง
2. การดูดซับระหว่างผิวหน้า แก๊ส-ของเหลว
3. การดูดซับระหว่างผิวหน้า ของเหลว-ของแข็ง
4. การดูดซับระหว่างผิวหน้า ของเหลว-ของเหลว
5. การดูดซับระหว่างผิวหน้า ของแข็ง-ของแข็ง

สำหรับการดูดซับระหว่างผิวหน้าของเหลว-ของแข็ง ซึ่งจัดอยู่ในประเภทการดูดซับในสารละลาย (adsorption from solution) การดูดซับจากสารละลายนี้จะเกี่ยวข้องกับการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี ซึ่งการดูดซับทั้งสองประเภทนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆกันไป (นิรมล, 2547)

2.5.4 ประโยชน์ของสารดูดซับซิลิกาเจล

1. สามารถดูดซับความชื้นและสารประกอบต่างๆ
2. สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ถ้ามีการนำไปให้ความร้อนจะทำให้โมเลกุลของสารภายในซิลิกาเจลถูกขับออกไป
3. เป็นสารเฉื่อย ไม่กัดกร่อนวัสดุ
4. ไม่มีพิษ และไม่ติดไฟ

2.5.5 การนำสารดูดซับซิลิกาเจลไปใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน

1. สารดูดความชื้น (desiccants) สารดูดซับซิลิกาเจลสามารถดูดซับน้ำได้ดี
2. สารดูดซับ (adsorbents) นำไปใช้ดูดซับสารอื่นได้โดยเฉพาะสารที่มีขั้ว ในทางอาหารมีการนำสารดูดซับซิลิกาเจลมาใช้ในการดูดซับกลีเซอไรด์ในน้ำมัน หรือนำไปใช้ในงานด้านโครมาโตกราฟฟี
3. เป็นส่วนประกอบในยาสีฟัน (dentifric)
4. สารเคลือบผิว (coatings)
5. สารเร่งปฏิกิริยา (catalysts)

นอกจากนี้ในด้านความปลอดภัยยังพบว่าซิลิกาเจลไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ โดย FDA ของสหรัฐอเมริกาได้ให้การรับรองแล้วว่าสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ และยังพบว่าไม่ก่อให้เกิดอันตรายในระยะยาวด้วย(Weinheim , 1999)

2.6 ข้อจำกัดของการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารกลับมาใช้ตามกฎหมาย

โดยส่วนใหญ่น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้วมักจะมีสิ่งปนเปื้อนและสารประกอบเคมีที่เป็นอันตรายต่อร่างกายของผู้บริโภค แต่ในปัจจุบันได้มีการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารแล้วมา รีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้อีกครั้ง ซึ่งในการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารมารีไซเคิลนั้นในแต่ละประเทศจะต้องมีการควบคุมอย่างเข้มงวดโดยส่วนใหญ่ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำมัน คือ ปริมาณของสารประกอบมีขั้ว (polar compound) ดังนั้นในแต่ละประเทศจึงได้ตั้งข้อกำหนดหรือข้อจำกัดของการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารกลับมาใช้อีก ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงข้อจำกัดของการนำน้ำมันทอดอาหารกลับมาใช้อีกตามกฎหมายในแต่ละประเทศ

Country	% Polar compound	Acidity	Polymers	Smoke point	FAs insoluble in ether	Viscosity
Spain	<25%					
Belgium	<25%	<2.5	<10%	<170°C		<27mPa-sec(at50°C)
France	<25%					
Italy	<25%					
Austria	<27%	<2.5		<170°C	<1%	
Holland		<4.5	<16%			
Germany	<27%			<170°C	<1%	
Swizerland	<27%			<170°C		
Hungary	<30%					
Japan		<2.5		<170°C		

ที่มา : Riera และคณะ (2000)

2.7 ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของน้ำมันทอด

2.7.1 ปริมาณของสารประกอบมีขั้ว (polar compound)

สารประกอบมีขั้ว เกิดจากไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีขั้วในน้ำมันถูกไฮโดรไลซิสออกซิไดซ์ และโพลิเมอร์ไรซ์ได้สารประกอบที่มีขั้ว เช่น กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ออกซิไดส์ไตรกลีเซอไรด์ ไซคลิกโมโนเมอร์ ไดเมอร์และโพลิเมอร์ของไตรกลีเซอไรด์ ไดเมอร์และโพลิเมอร์ที่ถูกออกซิไดส์ ดังนั้นสารประกอบมีขั้วจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพและการยอมรับของน้ำมันใช้แล้วในทุกประเทศ หากมีสารประกอบมีขั้วมากในน้ำมันทอดจะมีผลต่อกลิ่นรสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทั่วไปจึงอนุญาตให้น้ำมันใช้แล้วมีปริมาณของสารประกอบมีขั้วไม่มากกว่า 25 -30 %

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.7.2 ค่าของกรด (acidity)

เป็นการวัดปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงการเกิดไฮโดรไลซิสของน้ำมันในระหว่างการทอด สามารถบ่งชี้ความเป็นกรดของน้ำมัน ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระมากจะทำให้น้ำมันมีจุดเกิดควันต่ำลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บสั้นลง

2.7.3 จุดเกิดควัน (smoke point)

จุดเกิดควัน คือ อุณหภูมิที่ไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนจนเกิดเป็นควันขึ้น เป็นสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหรือไขมันในการจะนำไปใช้ในการทอดอาหาร บ่งบอกถึงความคงทนความร้อนของน้ำมันเมื่อสัมผัสกับความร้อนในอากาศ เป็นการแสดงถึงคุณภาพของน้ำมันที่จะนำมาใช้ โดยน้ำมันที่มีจุดควันต่ำเกินไปไม่ควรนำมาใช้ในการทอด น้ำมันหรือไขมันสำหรับใช้ในการทอดอาหารที่ดีต้องทนความร้อนไม่สลายตัวเป็นควันที่อุณหภูมิต่ำ เพราะถ้าเกิดควันขณะทอดจะทำให้อาหารมีกลิ่นควันติดไปด้วย ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันมีความสัมพันธ์ต่ออุณหภูมิที่ทำให้เกิดควัน หากน้ำมันมีกรดไขมันอิสระต่ำจะทำให้จุดเกิดควันสูง แต่ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ค่าจุดเกิดควันจะลดลง

2.7.4 ความหนืด (viscosity)

บ่งบอกถึงองค์ประกอบและชนิดของกรดไขมัน ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นและเมื่ออุณหภูมิของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่ความหนืดของน้ำมันทอดเพิ่มขึ้นนั้นมีผลมาจากในระหว่างการทอดมีการเกิดสารโพลีเมอร์ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำมันมีความหนืดและเกิดฟองมากขึ้น ในประเทศเบลเยี่ยมอนุญาตให้น้ำมันใช้แล้วที่จะนำมารีไซเคิลต้องมีความหนืดน้อยกว่า 27mPa-sec ที่อุณหภูมิ 50°C

2.7.5 สี (color)

เป็นตัวชี้บ่งคุณภาพของน้ำมัน น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสี น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม อาหารทุกชนิดที่ทอดจะให้สารพวก ฟอสเฟต และซัลเฟอร์ ซึ่งสารที่ออกมาเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำมันทอด ทำให้น้ำมันมีสีดำ และจะสะสมอยู่ในน้ำมันระหว่างการทอดอาหาร เมื่อน้ำมันดำขึ้นหลังจากการทอด อาหารที่ทอดในน้ำมันนี้จะมีสีดำในอัตราที่รวดเร็วมากจนถึงจุดซึ่งอาหารที่ทอดจะดำเกินไปทั้งที่ยังไม่สุกหมด

61208

2.7.6 ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)

เปอร์ออกไซด์เป็นสารปฐมภูมิที่เกิดขึ้นจากการออกซิเดชันของไขมัน การหาปริมาณสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในน้ำมันหรือไขมันโดยสามารถบ่งชี้ได้ว่าไขมันและน้ำมันเกิดการหืนเนื่องจากออกซิเดชันมากน้อยเท่าใด

2.7.7 ค่าพาราแอนนิซิดีน (p – anisidine)

เป็นการหาปริมาณสารอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ได้แก่ 2,4-dienals และ 2-alkenals เป็นต้น ซึ่งสารอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นเหล่านี้เป็นสารที่ให้กลิ่นหืน หากมีการพบสารเหล่านี้มากในน้ำมันทอดแสดงว่าน้ำมันมีการหืนมากและจะส่งผลต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหารทอดทำให้มีกลิ่นรสที่ผิดปกติ

2.7.8 ปริมาณสารโพลีเมอร์ (polymer)

สารโพลีเมอร์เป็นสารที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันในระหว่างการทอดอาหาร เกิดจากการที่โมเลกุลเล็กๆของน้ำมันมารวมตัวและจับตัวกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น เกิดเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้น้ำมันทอดมีการเกิดฟองมากขึ้นและมีการเกิดสารเหนียวที่ขอบเตาทอด ซึ่งเมื่อมีการเกิดฟองที่ผิวของน้ำมันระหว่างการทอดจะมีการสะสมเป็นชั้น ทำให้น้ำมันมีการแตกตัวและเสื่อมคุณภาพ ในการตรวจวัดควรตรวจวัดทั้งไดเมอร์และโพลิเมอร์ของไตรกลีเซอไรด์ที่ถูกออกซิไดส์และไม่ถูกออกซิไดส์

2.8 การใช้สารดูดซับในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหาร

Mcneill และคณะ (1986) ศึกษาประสิทธิภาพของคาร์บอน (activated carbon) และซิลิกา (silica) ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันพืชคาโนลา (canola oil) ที่ผ่านการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องและผ่านการทอดมันฝรั่งที่อุณหภูมิคงที่ โดยใช้สารดูดซับคาร์บอน/ซิลิกา ในอัตราส่วน (3%, 6% , 9%) / (2% , 4% , 6%) พบว่าสารดูดซับซิลิกามีประสิทธิภาพในการลดค่ากรด (acid value) ในน้ำมันได้มากกว่าสารดูดซับคาร์บอน โดยมีประสิทธิภาพในการลดค่ากรดได้มากกว่า 50% วัดปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการกรองพบว่ามีปริมาณ 50 – 83 %

Yates และ Caldwell (1993) ทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับสารประกอบมีขั้วของสารดูดซับ 8 ชนิด คือ activated carbon , acidic pH alumina , neutral pH alumina , basic pH alumina , bleaching earth , diatomaceous earth , magnesium silicate และ silica ซึ่งใช้ในการดูดซับสารประกอบมีขั้วออกจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดมันฝรั่งจากร้านอาหาร โดยหลังจากนำน้ำมันทอดอาหารกรองด้วยสารดูดซับแล้ว จึงนำส่วนของสารดูดซับไปทำการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent

extraction) เพื่อแยกสารประกอบมีขั้วต่างๆออกจากสารดูดซับ จากนั้นวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารประกอบมีขั้วโดยวิธี high performance size exclusion chromatography (HPSEC) พบว่า magnesium silicate มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการดูดซับสารประกอบมีขั้ว โดยสามารถดูดซับสารประกอบมีขั้วได้ 200 มิลลิกรัม/กรัม ส่วน diatomaceous earth มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารประกอบมีขั้วน้อยที่สุดโดยสามารถดูดซับสารประกอบ มีขั้วๆได้ 2 มิลิกรัม/กรัม

Lin และคณะ (1999) ทดลองใช้สารดูดซับ 4 ชนิด คือ Britesorb(Br), Hubersorb600(HB), Frypowder(Fr) และ Magnesol(Ma) ในการดูดซับสารประกอบต่างๆที่เกิดขึ้นในน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดอาหาร พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารดูดซับในการดูดซับสารประกอบต่างๆ คือ HB : Ma : Fr ; 3% : 3% : 2% และ HB : Ma : Br ; 2% : 3% : 2% และเมื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของการผสมสารดูดซับกับน้ำมัน พบว่าที่อัตราส่วนสารดูดซับ HB : Ma : Fr ; 3% : 3% : 2% ควรใช้เวลาในการผสมนาน 6 – 9 นาที เนื่องจากสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ 87.6 % ส่วนที่อัตราส่วนสารดูดซับ HB : Ma : Br ; 2% : 3% : 2% ควรใช้เวลาในการผสมนาน 3 – 6 นาที เนื่องจากสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ 82.6 %

Akoh และคณะ (US patent 6,187,355) ศึกษาการใช้สารดูดซับร่วมกันในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดอาหาร โดยสารดูดซับที่ใช้ ได้แก่ Britesorb(Br), Hubersorb600(HB) , Frypowder(Fr) และ Magnesol(Ma) ซึ่งใช้สารดูดซับร่วมกัน ดังนี้ HB + Ma , HB + Ma + Br และ HB + Ma + Fr ในอัตราส่วน 1:1, 1:1:1 และ 1:1:1 ตามลำดับ พบว่า การใช้สารดูดซับ ร่วมกัน 2 ชนิด คือ HB + Ma ช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำมันในด้านสีได้ดีกว่าการใช้สารดูดซับร่วมกัน 3 ชนิด และในการใช้สารดูดซับ 3 ชนิดร่วมกัน คือ HB + Ma + Br และ HB + Ma + Fr สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณสารประกอบมีขั้ว และปรับปรุงด้านสีได้ไม่แตกต่างกัน

Bheemreddy และคณะ (2002) ศึกษาผลของการใช้สารดูดซับที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันโดยในการทดลองนำน้ำมันมาทอดเนื้อไก่ เป็นเวลา 10 วัน พร้อมกับการใช้สารดูดซับในการดูดซับสารต่างๆภายหลังการทอดทุกวัน ซึ่งน้ำมันที่ใช้ในการทอดไก่ คือ น้ำมันพืชคาโนลา และควบคุมสภาวะการทอดให้คล้ายกับการทอดอาหารในร้านอาหารทั่วไป สารดูดซับที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิด คือ hubesorb 600 (HB) , frypowder (Fr) และ magnasol (Ma) วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ การเปลี่ยนแปลงของสี และปริมาณสารประกอบมีขั้วในน้ำมัน พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระลดลง 72% การเปลี่ยนแปลงของสีลดลง 52% และปริมาณสารประกอบมีขั้ว ลดลง 30%

Miyagi และ Nakajima (2003) ศึกษาการใช้สารดูดซับในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองที่ได้จากโรงอาหารและน้ำมันที่ใช้ในครัวเรือน สารดูดซับที่ใช้มี 4 ชนิด คือ silica gel , magnesium

oxide , activated clay และ aluminum hydroxide gel โดยศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของสารดูดซับและวิธีการในการดูดซับที่เหมาะสม จากการทดลองพบว่าชนิดของสารดูดซับที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ คือ สารดูดซับซิลิกาเจลเนื่องจากสามารถลดปริมาณสารประกอบมีขั้ว ปริมาณกรดไขมันอิสระ สี ค่าเปอร์ออกไซด์ และ ค่าพาราแอนนิซิดีนได้มากกว่า 50% และยังมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากที่สุด เมื่อพิจารณาปริมาณที่เหมาะสมของสารดูดซับซิลิกาเจลพบว่าเมื่อปริมาณ สารดูดซับซิลิกาเจลเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณสารประกอบมีขั้ว ปริมาณกรดไขมันอิสระ สี และ ความหนืดมีค่าลดลง เมื่อศึกษาวิธีการในการดูดซับพบว่าการใช้สารดูดซับแบบต่อเนื่อง(successive adsorption) silica gel จะมีความสามารถในการดูดซับสารประกอบมีขั้วมากกว่าการใช้สารดูดซับแบบกะ (batch adsorption) นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการดูดซับสารของสารดูดซับซิลิกาเจล เมื่อมีการนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง 20 – 50%

Miyagi และคณะ (2003) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดแล้ว โดยใช้วิธีกระบวนการเยื่อกรอง (membrane processing) ซึ่งใช้เยื่อกรองคอมโพสิท (composite) แบบ NTGS-2200 และวิธีกระบวนการดูดซับ (adsorption Processing) ซึ่งใช้สารดูดซับซิลิกาเจล (silica gel) และแมกนีเซียมออกไซด์ (magnesium oxide) ในปริมาณต่างๆกัน พบว่าในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยวิธีกระบวนการเยื่อกรอง สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันได้โดยสามารถลดปริมาณสารประกอบมีขั้ว ค่าพาราแอนนิซิดีน ค่าเปอร์ออกไซด์ได้ประมาณ 20 - 50 % และสามารถปรับปรุงสี และความหนืดได้มากกว่า 80 % แต่พบว่าไม่สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้เลย และเมื่อมีการนำวิธีกระบวนการดูดซับเข้าร่วมด้วยพบว่าสามารถลดปริมาณสารประกอบต่างๆได้ดียิ่งขึ้น โดยสามารถลดปริมาณสารประกอบมีขั้วได้ ค่าพาราแอนนิซิดีน ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ สี และความหนืด ได้ประมาณ 20 – 110 % และยังพบว่าการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลร่วมกับการใช้สารแมกนีเซียมออกไซด์จะทำให้การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดีกว่าการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลเพียงชนิดเดียวหรือการใช้แมกนีเซียมออกไซด์เพียงชนิดเดียว

Cooke (2004) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของสารดูดซับการในการดูดซับสารประกอบมีขั้ว โดยสารดูดซับที่ใช้ คือ activated alumina , activated carbon, diatomaceous earth, calcium silicate, magnesium silicate และ silica โดยวิธีการที่ใช้ในตรวจสอบประสิทธิภาพการดูดซับ คือ thin – layer chromatography, high performance size exclusion chromatography (HPSEC) และ temperature programmed desorption (TPD) พบว่า magnesium silicate มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารประกอบมีขั้วมากที่สุด และ diatomaceous earth มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้อยที่สุด จากการตรวจสอบโดย

วิธี TPD พบว่า diatomaceous earth ไม่มี acid adsorption sites และ basic adsorption sites ทำให้ไม่สามารถดูดซับสารประกอบมีขั้วได้ และพบว่า magnesium silicate มี acid adsorption sites และ basic adsorption sites มากที่สุด จึงทำให้สามารถดูดซับสารประกอบมีขั้วได้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบและสารดูดซับซิลิกาเจล

3.1.1 น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่จากตลาดหัวตะเข้ ซึ่งเป็นไก่ที่นำไปหมักด้วยซอสปรุงรส ซีอิ๊วขาว น้ำมันหอย รากผักชีกระเทียมพริกไทย และน้ำตาล แล้วนำไปชุบแป้ง จากนั้นจึงนำไปทอด

3.1.2 ซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม และขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 ม.ม.

3.1.3 ซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม และขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 ม.ม.

3.1.4 ซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม และขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 ม.ม.

3.1.5 ซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 60 อังสตรอมและขนาดอนุภาคน้อยกว่า 0.063 ม.ม.

3.1.6 ซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 60 อังสตรอมและขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 ม.ม.

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องแก้ว

3.2.2 กระดาษกรองเบอร์ 1 และ เบอร์ 4

3.2.3 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

3.2.4 คอลัมน์แก้วโครมาโตกราฟฟี

3.2.5 ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ

3.2.6 เครื่อง Rotary evaporator

3.2.7 เครื่อง Spectrophotometer

3.3 สารเคมี

3.3.1 สารละลายเอธิลแอลกอฮอล์

3.3.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3.3 สารละลายฟีนอล์ฟธาลีน 1 % ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95 %

3.3.4 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์

3.3.5 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

3.3.6 สารละลายผสมอะเซติก : คลอโรฟอร์ม

3.3.7 สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต

3.3.8 สารละลายโพแทสเซียมพทาเลต

3.3.9 สารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์

3.3.10 สารละลายคลอโรฟอร์ม

3.3.11 สารละลายไดเอธิลอีเทอร์

3.3.12 สารละลายกรดอะเซติก

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 วิเคราะห์คุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง

นำน้ำมันปาล์มผ่านการทอดไก่ชุบแป้งไปกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อกำจัดเศษอาหาร กากตะกอนที่ติดมากับน้ำมัน จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

3.5.1.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน

1) วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ(AOCS Ca 5a-40)

2) วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์(AOCS Cd 8 - 53)

3) วิเคราะห์สารประกอบมีขั้ว (polar compound) (AOCS Cd 20 - 91)

4) วิเคราะห์ปริมาณพาราแอนนิซิดีน(p – anisidine) (AOCS Cd 18 - 90)

3.5.1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน

1) วิเคราะห์สี (AOCS Cc 13c - 50)

2) วิเคราะห์ความหนืดโดยเครื่อง Brookfield digital rheometer , model DV - III

3.5.2 ศึกษาผลของขนาดรูพรุนของสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

ใช้ซิลิกาเจลที่มีขนาดอนุภาค 0.063–0.2 มิลลิเมตร ศึกษาปัจจัยของขนาดรูพรุนที่ต่างกัน โดยเลือกใช้ซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุนต่างกันคือ ขนาด 40 , 60 และ 100 อังสตรอม นำซิลิกาเจลจำนวน 15 กรัมผสมในน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารจำนวน 100 กรัม กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 20 นาทีตลอดเวลาโดยใช้เครื่องกวน นำไปกรองในชุดเครื่องกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 นำน้ำมันที่ผ่าน

การกรองมาวิเคราะห์ค่าเช่นเดียวกับข้อ 3.5.1 และหาปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการกรองโดยการชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncans' New Multiple Range ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.5.3 ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

นำซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุนเหมาะสมจากข้อ 3.5.2 มาศึกษาปัจจัยของขนาดอนุภาคที่ต่างกัน โดยเลือกใช้ซิลิกาเจลที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน คือ ขนาดอนุภาค $\leq$ 0.063 มิลลิเมตร ขนาด 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร นำซิลิกาเจล จำนวน15 กรัม ผสมในน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารจำนวน 100 กรัม กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 20 นาทีตลอดเวลาโดยใช้เครื่องกวน นำไปกรองในชุดเครื่องกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 นำน้ำมันที่ผ่านการกรองมาวิเคราะห์ค่าเช่นเดียวกับข้อ 3.5.1 และหาปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการกรองโดยการชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncans' New Multiple Range ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.5.4 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับสารและปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

นำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารมาจำนวน 100 กรัม ใส่สารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนที่เหมาะสมจากข้อ 3.5.2 และ 3.5.3 โดยใช้สารดูดซับในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 10 , 20 และ 30 กรัม กวนโดยใช้เวลาในการกวนที่แตกต่างกัน คือ 10 , 20 และ30 นาที โดยใช้เครื่องกวน นำไปกรองในชุดเครื่องกรองสุญญากาศใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วจึงนำน้ำมันที่ผ่านการกรองมาวิเคราะห์ค่าเช่นเดียวกับข้อ 3.5.1 และหาปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการกรองโดยการชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ Factorial Design

3.5.5 ศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับซิลิกาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสารในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

นำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารจำนวน 100 กรัม ใส่สารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนที่เหมาะสมจากข้อ 3.5.2 และ 3.5.3 ในปริมาณและเวลาการกวนที่เหมาะสมจากข้อ

3.5.4 จากนั้นนำไปกรองในชุดเครื่องกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 4 และนำน้ำมันที่ผ่านการกรองมาวิเคราะห์ค่าเช่นเดียวกับข้อ 3.5.1 หาปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการกรอง โดยการชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำสารดูดซับ ซิลิกาเจลกลับมาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที แล้วจึงนำสารดูดซับซิลิกา เจลกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง โดยนำไปผสมในน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารและกรอง จากนั้นนำน้ำมันที่ผ่านการกรองมาวิเคราะห์ค่าเช่นเดียวกับข้อ 3.5.1 แล้วจึงนำสารดูดซับซิลิการเจลกลับไปเผาอีกครั้ง ทำเช่นเดียวกันนี้จำนวน 20 ครั้ง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารและไม่ผ่านการทอดอาหาร

ในการทดลองเป็นการนำน้ำมันปาล์มผ่านการทอดไก่จากแม่ค้าตลาดหัวตะเข้ ก่อนการทอดมีการหมักด้วยเครื่องเทศ ชุบแป้ง แล้วนำไปผ่านการทอด ซึ่งในระหว่างการทอดเมื่อน้ำมันเริ่มมีสีคล้ำขึ้น แม่ค้าใช้สายตาในการพิจารณาตัดสินว่าควรมีการเปลี่ยนน้ำมันที่ทอดโดยน้ำมันที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำมันที่แม่ค้าทำการเปลี่ยนเมื่อมีสีคล้ำ เมื่อนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารนี้มาวิเคราะห์ค่าทางเคมีและกายภาพของน้ำมัน (ตารางที่4.1) เปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มใหม่ที่ยังไม่ผ่านการทอดอาหาร(ยังไม่ได้เปิดขวด) พบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารมีสมบัติทางกายภาพและเคมีเปลี่ยนแปลงไปโดยมีค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน และค่าสารประกอบมีขั้วเพิ่มขึ้น มีค่าสีเข้มขึ้นและมีความหนืดมากขึ้น เมื่อพิจารณาค่า กรดไขมันอิสระ พบว่าค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ผ่านการทอดอาหารมีค่า 0.08% ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดให้มีค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วไม่ควรเกิน 0.1% แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ แต่หลังจากผ่านการทอดอาหารพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระ คือ 0.46 % แสดงให้เห็นว่าไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซิสได้เป็นกรดไขมันอิสระและสารอื่นๆ

ในด้านของค่าเปอร์ออกไซด์และค่าพาราแอนนิซิดีนซึ่งเป็นดัชนีวัดการเกิดออกซิเดชัน น้ำมันปาล์มใหม่ที่ยังไม่ผ่านการทอดอาหารมีค่าเปอร์ออกไซด์และค่าพาราแอนนิซิดีน คือ 1.34 และ 1.19 meq/kg ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการเก็บน้ำมัน แม้ยังไม่มีการเปิดขวดแต่ก็มีการเกิดออกซิเดชันได้อาจเนื่องมาจากภาชนะที่บรรจุค่อนข้างใสน้ำมันมีการสัมผัสแสง แต่หลังจากผ่านการทอดอาหารแล้วน้ำมันปาล์มมีค่าเปอร์ออกไซด์และค่าพาราแอนนิซิดีนเพิ่มขึ้นเป็น 6.04 และ 37.71 meq/kg ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการทอดอาหารน้ำมันมีการเกิดออกซิเดชันมากเนื่องจากการสัมผัสกับออกซิเจนและความร้อนสูง

ในด้านค่าสารประกอบมีขั้วพบว่าน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการทอดมีสารประกอบมีขั้ว 3.65 % หลังจากผ่านการทอดอาหารแล้วน้ำมันมีสารประกอบมีขั้วเพิ่มขึ้น คือ 12.28 % แสดงให้เห็นว่าในระหว่างทอดอาหารไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบมีขั้ว ซึ่งประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283 พ.ศ. 2547 ลงประกาศ ณ วันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2547 กำหนดให้น้ำมันที่จะนำมาทอดอาหารหรือประกอบอาหารควรมีค่าสารประกอบมีขั้วไม่เกิน 25% เพราะสารประกอบมีขั้วสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพและความเสื่อมเสียโดยรวมของน้ำมันทอด ซึ่งจากการ

ทดลองค่าสารประกอบมีขั้วที่ตรวจพบยังอยู่ในเกณฑ์ที่กฎมายกำหนด แสดงว่าในทางกฎหมาย น้ำมันยังไม่เสื่อมเสียจนถึงระดับที่จะต้องทิ้ง แต่แม่ค้าใช้การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันในการตัดสินคุณภาพน้ำมันจึงทิ้งน้ำมันเก่าและเปลี่ยนน้ำมันใหม่

ด้านความหนืดพบว่าน้ำมันปาล์มหลังผ่านการทอดอาหารมีความหนืดเพิ่มขึ้น คือ 95.40 cp แสดงว่ามีการเกิดสารโพลีเมอร์ เนื่องจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันในระหว่างการทอดอาหาร ส่วนในด้านสีพบว่าหลังการทอดอาหารน้ำมันมีสีที่คล้ำขึ้นอย่างเห็นได้ชัดด้วยสายตาจึงทำให้แม่ค้าต้องทำการเปลี่ยนน้ำมันทอดเนื่องจากน้ำมันที่มีสีคล้ำในการทอดอาหารจะส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์อาหารได้

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดไก่จากตลาดหัวตะเข้และน้ำมันปาล์มใหม่ที่ยังไม่ผ่านการทอดอาหาร

สมบัติทางกายภาพและเคมี	น้ำมันปาล์มใหม่ที่ยังไม่ผ่านการทอด	น้ำมันปาล์มผ่านการทอดไก่
กรดไขมันอิสระ(%)	0.08	0.46
ค่าเปอร์ออกไซด์(meq/kg)	1.34	6.04
ค่าพาราแอนนิซิดีน (meq/kg)	1.19	37.71
สารประกอบมีขั้ว(%)	3.65	12.28
ความหนืด(cp)	65.65	95.40
สี	1.45	26.45

4.2 ศึกษาผลของขนาดรูพรุนของสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

จากการนำซิลิกาเจลขนาดอนุภาค 0.063–0.2 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดรูพรุนต่างกันคือ 40 , 60 และ 100 อังสตรอม มาศึกษาการดูดซับสารประกอบต่างๆในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร (ตารางที่ 4.2) พบว่าเมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการดูดซับด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดต่างๆ ได้แก่ ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน ค่าสารประกอบมีขั้ว และความหนืด พบว่ามี ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน ค่าสารประกอบมีขั้ว และความหนืดต่ำกว่าน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการดูดซับด้วยสารดูดซับซิลิกาเจล ซึ่งแสดงว่าการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค 0.063–0.2 มิลลิเมตร ไม่ว่าจะมีขนาดรูพรุน 40, 60 หรือ 100 อังสตรอมสามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารได้

เมื่อพิจารณาน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารซึ่งผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม พบว่ามีการปรับปรุงได้น้อยกว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 60 และ 100 อังสตรอม โดยค่ากรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าพาราแอนนิซิดีนและสารประกอบมีขั้วก็สูงกว่าเช่นกันแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน ค่าสารประกอบมีขั้ว และความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารซึ่งผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 60 และ 100 อังสตรอม พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าต่างๆ ดังตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าค่ากรดไขมันอิสระมี เปอร์เซนต์การลดลงประมาณ 23 - 31 % (แสดง % การลดลง ภาคผนวก ค) ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าขนาดรูพรุนที่เล็กเกินไป (40 อังสตรอม) เป็นรูพรุนที่ไม่เหมาะสมในการดูดซับโมเลกุลของสารประกอบมีขั้วต่างๆในน้ำมัน อาจเนื่องจากขนาดโมเลกุลมีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้กลไกการดูดซับเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวหน้าของอนุภาคซิลิกาเจลเท่านั้น

ในด้านสี พบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารที่ยังไม่ได้นำมาผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารซึ่งผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลจะมีสีคล้ำมากที่สุดคือ 26.4528 สีที่เห็นเป็นสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ส่วนน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารซึ่งผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม มีสีอ่อนจางลงมาคือ 20.60, 10.78 และ 6.58 ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนด้วยสายตา

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม

สมบัติทาง กายภาพและเคมี	น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	ขนาดรูพรุน		
		40 A°	60 A°	100 A°
กรดไขมันอิสระ (%)	0.46±0.02[c]	0.35±0.02[b]	0.31±0.02[a]	0.31±0.02[a]
ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)	6.04±0.45[c]	5.07±0.25[b]	4.84±0.39[a]	4.64±0.46[a]
ค่าพาราแอนนิซิดีน (meq/kg)	37.71±2.66[b]	26.66±2.36[a]	23.83±1.83[a]	24.05±1.47[a]
สารประกอบมีขั้ว (%)	12.28±3.68[b]	8.69±1.48[ab]	5.50±1.74[a]	5.10±1.69[a]
ความหนืด (cp)	95.40±0.26[c]	94.40±0.20[b]	93.40±0.36[a]	92.83±0.29[a]
สี	26.45±0.88[d]	20.60±0.59[c]	10.78±0.65[b]	6.58±0.45[a]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$)

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซนต์การลดลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ100 อังสตรอม

สมบัติทาง กายภาพและเคมี	% การลดลง		
	ขนาดรูพรุน		
	40 A°	60 A°	100 A°
กรดไขมันอิสระ(%)	23.85[b]	31.72[a]	31.78[a]
ค่าเปอร์ออกไซด์(meq/kg)	16.08[b]	19.95[a]	23.28[a]
ค่าพาราแอนนิซิดีน (meq/kg)	28.77[a]	36.72[a]	36.40[a]
สารประกอบมีขั้ว(%)	27.55[ab]	53.16[a]	56.18[a]
ความหนืด(cp)	1.05[b]	2.09[a]	2.68[a]
สี	22.07[c]	59.18[b]	75.06[a]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

จากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากผ่านสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุนต่างกัน (ตารางที่4.4) พบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากผ่านสารดูดซับซิลิกาเจลทั้ง 3 ขนาดรูพรุน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P\leq0.05$) โดยปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากผ่านสารดูดซับซิลิกาเจลเรียงจากมากไปน้อยคือ ขนาดรูพรุน 40 , 60 และ 100 อังสตรอม ได้แก่ 83.27% , 80.62% และ 75.25% ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุนใหญ่ขึ้น มีผลต่อปริมาณของน้ำมันที่ได้ภายหลังการดูดซับมีปริมาณต่ำลง ทำให้น้ำมันมีการสูญเสียในระหว่างกระบวนการมากขึ้น ซึ่งจะมีผลทางเศรษฐกิจ หากนำกระบวนการนี้ไปใช้ในเชิงการค้า

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม

ปริมาณน้ำมัน (%)		
40 A°	60 A°	100 A°
83.27±1.20[a]	80.62±2.02[b]	75.25±1.31[c]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

จากการทดลองนี้พบว่าการเพิ่มขนาดรูพรุนเป็น 60 อังสตรอม ทำให้คุณภาพของน้ำมันที่ปรับปรุงได้ดีขึ้นกว่าการใช้ซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม แต่การเพิ่มขนาดรูพรุนเป็น 100 อังสตรอม ไม่ทำให้การปรับปรุงคุณภาพดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยกเว้นคุณภาพทางด้านสี ซึ่งหาก

เปรียบเทียบกับคุณภาพทางเคมีซึ่งมีความสำคัญต่อสุขภาพมากกว่า และปริมาณผลผลิตภายหลังกระบวนการซึ่งมีผลทางด้านเศรษฐกิจ จึงเลือกขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม ใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

4.3 ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

เลือกใช้สารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุนเหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่แล้ว คือขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม มีขนาดอนุภาคต่างกันคือ ขนาด $\leq$ 0.063 มิลลิเมตร, 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และ 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร ศึกษาการดูดซับสารประกอบต่างๆในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร (ตารางที่ 4.5) เมื่อพิจารณาปริมาณกรดไขมันอิสระและสีพบว่าน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ได้นำมาผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลทั้ง 3 ขนาดอนุภาค มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารที่ยังไม่ได้นำมาผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากที่สุดและสีคล้ำมากที่สุด คือ 0.39% และ 28.73 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq$0.063 มิลลิเมตร มีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยที่สุดและมีสีคล้ำน้อยที่สุดคือ 0.22 % และ 1.24 ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะของสีใกล้เคียงกับสีของน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ผ่านการทอดอาหาร

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันที่ผ่านการดูดซับด้วยซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน พบว่าที่ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร ให้ค่าสมบัติทางเคมี คือ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน และค่าสารประกอบมีขั้วต่ำที่สุด คือ 4.11 meq/kg 14.95 meq/kg และ 6.22 % ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าน้ำมันที่ได้มีคุณภาพดีที่สุด ในขณะที่ซิลิกาเจลที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด คือ ขนาด $\leq$ 0.063 มิลลิเมตร ซึ่งมีปริมาณพื้นที่ผิวสูงที่สุด ไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ใช้ทอดแล้วดีกว่าขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร ทั้งนี้อาจเนื่องจากสภาวะทางกายภาพระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับซึ่งพบว่าสารละลายของเหลวมีความหนืดค่อนข้างสูงในระหว่างการกวนจึงทำให้ปฏิกิริยาการดูดซับเกิดขึ้นได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ในขณะที่การใช้ซิลิกาเจลขนาดอนุภาค 0.2 -0.5 มิลลิเมตร น้ำมันที่ได้มีคุณภาพทางเคมี กายภาพ ต่ำกว่าซิลิกาเจลขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณพื้นที่ผิวที่น้อยกว่า

ในด้านลักษณะทางกายภาพของความหนืด พบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงโดยใช้สารดูดซับซิลิกาเจลมีความหนืดต่ำกว่าน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุง และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P>0.05$) จากการปรับปรุงด้วยซิลิกาเจลทั้ง 3 ขนาดอนุภาค เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าต่างๆ ดังตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าค่ากรดไขมันอิสระมีเปอร์เซนต์การลดลงประมาณ 27 - 45 % (แสดงเปอร์เซนต์การลดลง ภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq$ 0.063 , 0.063 – 0.2 และ 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร

สมบัติทาง กายภาพและเคมี	น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	ขนาดอนุภาค		
		$\leq$ 0.063 มม	0.063 – 0.2 มม	0.2 – 0.5 มม
กรดไขมันอิสระ (%)	0.39±0.00[d]	0.22±0.00[a]	0.25±0.01[b]	0.29±0.00[c]
ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)	5.21±0.12[d]	4.59±0.17[c]	4.11±0.01[a]	4.30±0.01[b]
ค่าพาราแอนนิซิดีน (meq/kg)	23.60±1.35[b]	15.66±0.22[a]	14.95±0.73[a]	15.69±0.86[a]
สารประกอบมีขั้ว (%)	13.69±0.82[c]	7.72±1.43[b]	6.22±1.22[a]	7.91±1.77[b]
ความหนืด (cp)	95.03±0.30[b]	90.30±0.92[a]	90.23±1.86[a]	91.70±2.42[a]
สี	28.73±0.68[d]	1.24±0.03[a]	11.39±0.32[b]	19.53±0.39[c]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซนต์การลดลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq$ 0.063 , 0.063 – 0.2 และ 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร

สมบัติทาง กายภาพและเคมี	% การลดลง		
	ขนาดอนุภาค		
	$\leq$ 0.063 มม	0.063 – 0.2 มม	0.2 – 0.5 มม
กรดไขมันอิสระ(%)	45.48[a]	37.83[b]	27.24[c]
ค่าเปอร์ออกไซด์(meq/kg)	11.87[c]	21.23[a]	17.78[b]
ค่าพาราแอนนิซิดีน (meq/kg)	33.52[a]	36.65[a]	33.35[a]
สารประกอบมีขั้ว(%)	43.76[b]	54.75[a]	42.52[b]
ความหนืด(cp)	4.98[a]	5.06[a]	3.51[a]
สี	95.69[a]	60.30[b]	32.01[c]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากผ่านสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน (ตารางที่ 4.7) พบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากผ่านสารดูดซับซิลิกาเจลทั้ง 3 ขนาดอนุภาคไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีปริมาณน้ำมันหลังการดูดซับ 77 – 80 %

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดอนุภาค $\leq$ .063 มิลลิเมตร 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร

ปริมาณน้ำมัน (%)^{ns}		
$\leq$ 0.063 มม.	0.063 – 0.2 มม.	0.2 – 0.5 มม.
77.43$\pm$1.26	78.98$\pm$2.17	80.12$\pm$1.66

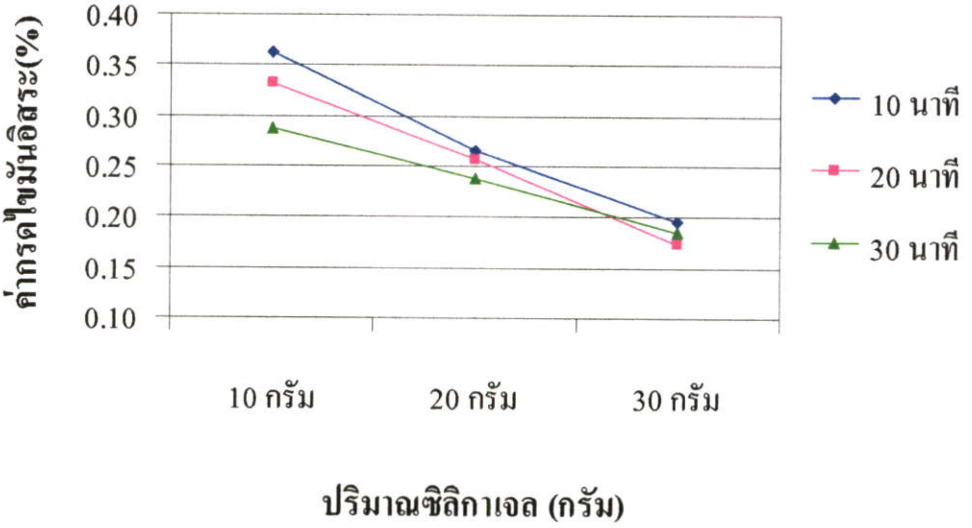
หมายเหตุ : ^{ns} แสดงถึงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

4.4 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับสารและปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

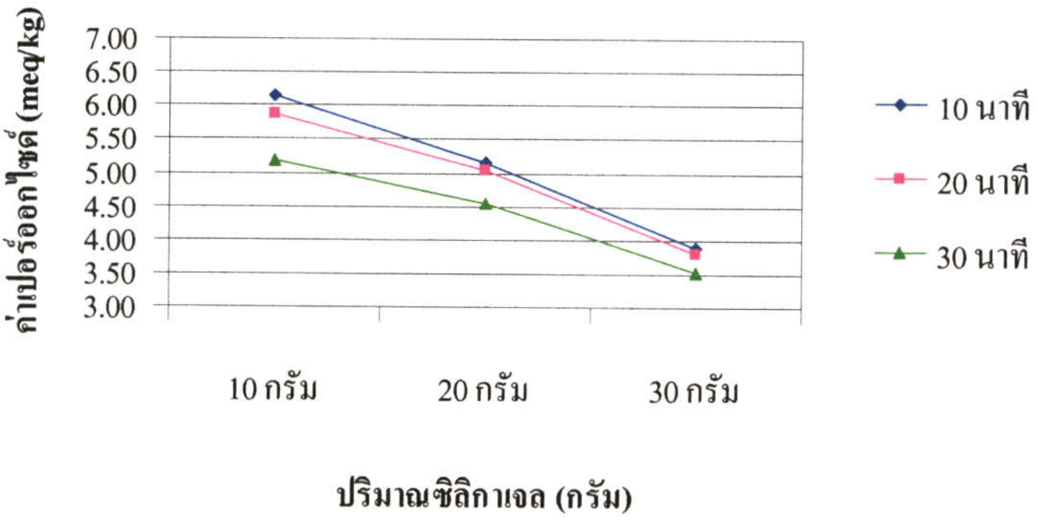
เลือกใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม และขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดรูพรุนและขนาดอนุภาคที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ โดยนำสารดูดซับซิลิกาเจลมาจำนวน 10 , 20 และ 30 กรัม กวนกับน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารปริมาณ 100 กรัม โดยใช้เวลาการกวนต่างกันคือ 10 , 20 และ 30 นาที เมื่อพิจารณาคุณภาพของน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงทั้งคุณภาพทางเคมีและกายภาพ พบว่าปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลที่เพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 30 กรัม มีผลทำให้คุณภาพของน้ำมันทั้งทางเคมีและกายภาพดีขึ้นตามลำดับ ดังแสดงให้เห็นชัดเจนดังภาพที่ 4.1 – 4.6 ที่กราฟมีความชันเป็นลบ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณซิลิกาเจลทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากขึ้นจึงสามารถดูดซับสารประกอบมีขั้วต่างๆ ในน้ำมันทอดได้มากขึ้น ได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ สารโพลีเมอร์ เป็นต้น ซึ่งการที่สารดูดซับซิลิกาเจลสามารถดูดซับสารประกอบมีขั้วได้เนื่องจากพื้นที่ผิวของซิลิกาเจลมีหมู่ซิลานอลซึ่งเป็นหมู่ที่สามารถเกิดการฟอร์มพันธะไฮโดรเจนกับสารประกอบมีขั้ว (Robard, 1994) ซึ่งสอดคล้องกับ Miyagi และ Nakajima ในปี2003 ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลจะช่วยในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าสารประกอบมีขั้ว ค่าสี และค่าความหนืดลงได้

เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพและเคมีของของน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงเมื่อใช้เวลาในการกวนแตกต่างกัน พบว่าเมื่อเวลาในการกวนเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 30 นาที ค่ากรดไขมันมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์และค่าความหนืดมีการปรับปรุงมากขึ้น(ภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.5) เมื่อพิจารณาค่า

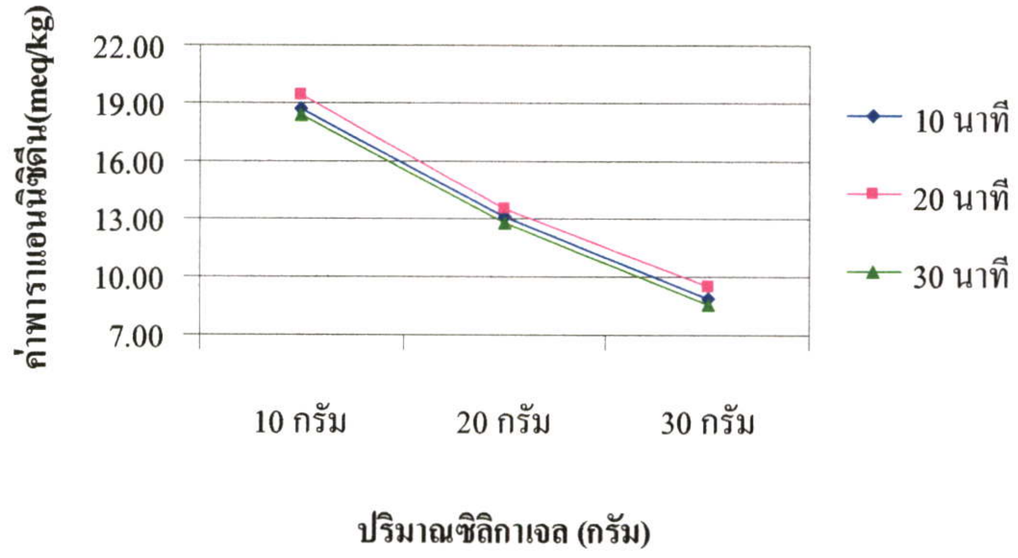
พาราแอนนิซิดีนและค่าสีพบว่าการใช้เวลาการกวน 20 นาที มีการปรับปรุงน้อยกว่าการใช้เวลาการกวน 10 และ 30 นาที (ภาพที่ 4.3 และ4.6) แต่จากการทดลองจะเห็นว่ามีการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ส่วนในด้านค่าสารประกอบมีขั้วพบว่าการเพิ่มเวลาในการกวนไม่มีผลต่อการปรับปรุงค่าสารประกอบมีขั้ว แสดงว่าการใช้เวลาการกวนเพียง 10 นาที สารประกอบมีขั้วถูกดูดซับบนพื้นผิวของซิลิกาเจลอย่างทั่วถึงแล้ว (ภาพที่ 4.4)



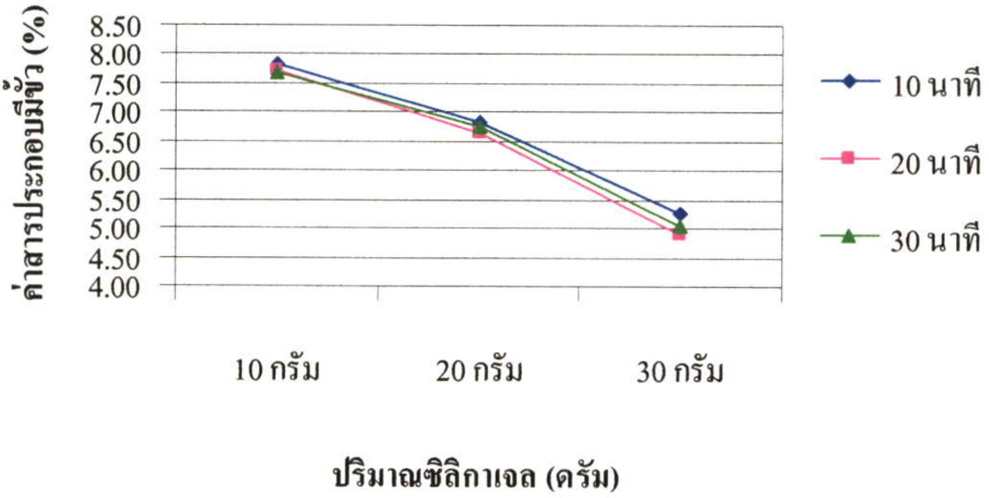
ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของค่ากรดไขมันอิสระที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม



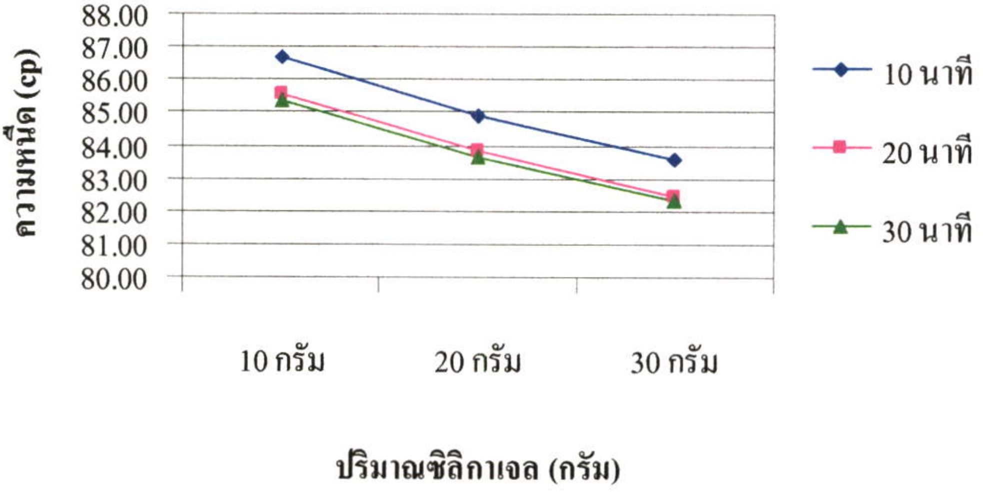
ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม



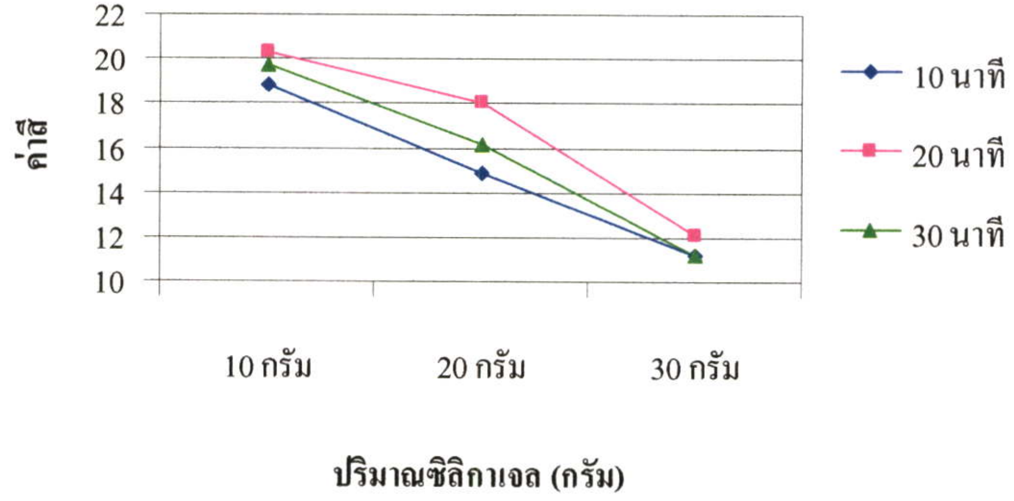
ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าพาราแอนนิซิดีนที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม



ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่าสารประกอบมีขั้วที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาทีและปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาทีและปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม

จากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากผ่านสารดูดซับซิลิกาเจลที่ใช้เวลาในการกวนต่างกันและมีปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลต่างกัน (ตารางที่4.8) พบว่าเมื่อปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำมันภายหลังการดูดซับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเมื่อปริมาณซิลิกาเจลเพิ่มขึ้นเป็น 10, 20 และ 30 กรัม ปริมาณน้ำมันภายหลังการดูดซับลดลงแตกต่างกันประมาณ 84 %, 70 % และ 58 % ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของปริมาณน้ำมันที่ได้มีผลทางเศรษฐกิจ เมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นเป็น 10, 20 และ 30 นาที พบว่าปริมาณน้ำมันภายหลังการดูดซับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แสดงว่าการใช้เวลาในการกวนเพียง 10 นาที สามารถทำให้เกิดการดูดซับบนพื้นผิวของซิลิกาเจลอย่างทั่วถึงแล้ว ทำให้เมื่อเพิ่มเวลาในการกวนเป็น 20 และ 30 นาที จึงไม่มีผลต่อการดูดซับ

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการดูดซับและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณน้ำมัน(%) ปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล (กรัม) 10	20	30
10	82.08 ± 0.75^{Aa}	69.53 ± 2.01^{Ab}	55.91 ± 5.22^{Ac}
20	86.40 ± 0.06^{Aa}	72.55 ± 5.52^{Ab}	58.81 ± 3.56^{Ac}
30	85.69 ± 0.28^{Aa}	70.12 ± 0.89^{Ab}	60.63 ± 4.43^{Ac}

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน (a b c) หมายถึงมีความแตกต่างกันของปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

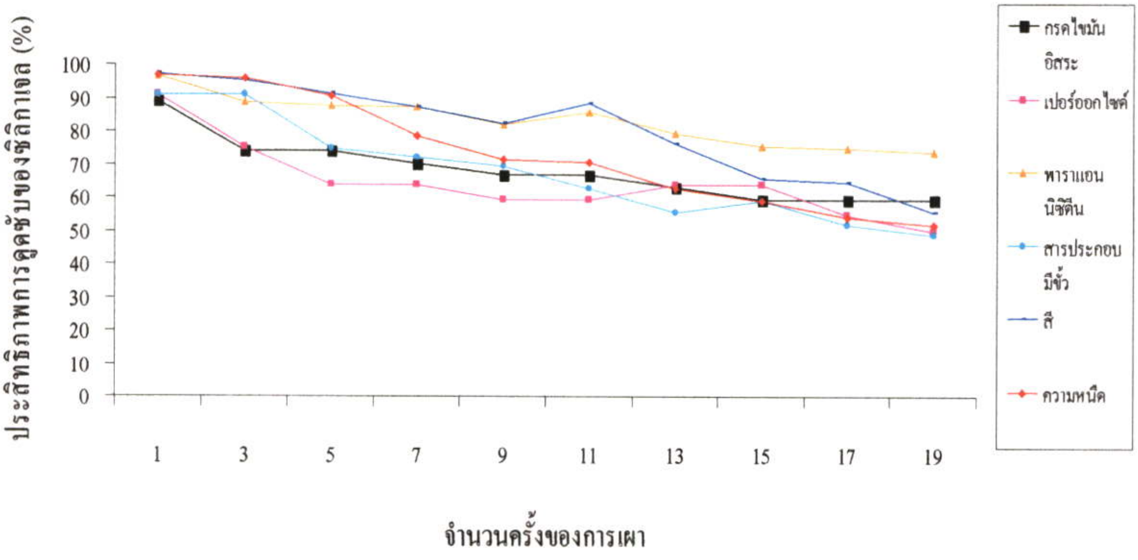
2) ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง (A B C) หมายถึงมีความแตกต่างกันของเวลาที่ใช้ในการดูดซับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.5 ศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับซิลิกาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสารในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

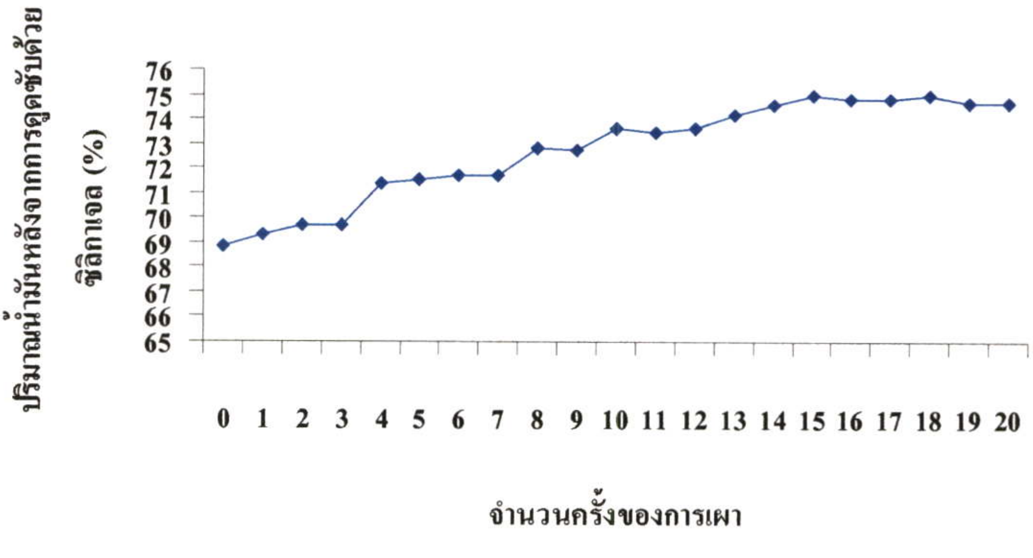
ในการทดลองนี้เลือกใช้สารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม และขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร จำนวน 30 กรัม ผสมในน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหาร 100 กรัม ใช้เวลาในการกวน 10 นาที และมีการนำสารดูดซับซิลิกาเจลกลับมาใช้อีกโดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 550 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของการดูดซับสารที่เปลี่ยนแปลงไปของสารดูดซับซิลิกาเจล (ภาพที่4.7และแสดงตัวอย่างการคำนวณภาคผนวก ง) จากการทดลองพบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำสารดูดซับซิลิกาเจลกลับมาใช้(จำนวนครั้งของการเผา) เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับสารของสารดูดซับ ซิลิกาเจลลดลง โดยสามารถดูดซับ กรดไขมันอิสระ

ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน และสารประกอบมีขั้ว ได้น้อยลง และประสิทธิภาพในการปรับปรุงสี และความหนืดลดลงด้วยเช่นกัน โดยประสิทธิภาพการดูดซับสารลดลงประมาณ 27 – 52 % จากการทดลองของ Miyagi และ Nakajima ในปี 2003 พบว่าหลังการนำสารดูดซับซิลิกาเจลไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสแล้วนำกลับมาใช้เป็นจำนวน 30 ครั้ง ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสารประกอบต่างๆลดลงประมาณ 20 – 50 % และทำให้การปรับปรุงสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันต่ำลง โดยในระหว่างการกวนหรือการดูดซับ ซิลิกาเจลจะเกิดการดูดซับสารประกอบในน้ำมันซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ หากต้องการนำซิลิกาเจลกลับมาใช้ใหม่จึงจำเป็นต้องเผาเพื่อให้สารประกอบอินทรีย์เหล่านั้นสลายไป โดยสารอินทรีย์จะถูกเผาไหม้จนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน (ลักขณา , 2531) การเผาจะใช้อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส หากใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส สารอินทรีย์จะสลายไปไม่หมดหลงเหลืออยู่ในซิลิกาเจลทำให้พื้นที่ในการดูดซับลดลงจึงมีผลต่อการดูดซับเมื่อนำซิลิกาเจลกลับไปใช้ในครั้งต่อไป อย่างไรก็ตามการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ทำให้หมู่ซิลานอลของสารดูดซับซิลิกาเจลซึ่งเป็นหมู่ที่มีบทบาทสำคัญในการดูดซับสารประกอบมีขั้วถูกเปลี่ยนให้เป็นหมู่ซิโลเซนทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสารประกอบมีขั้วลดลง และสอดคล้องกับ Khoo และคณะในปี 1979 ซึ่งพบว่าการให้ความร้อนแก่ซิลิกาในอุณหภูมิที่มากกว่า 500 องศาเซลเซียส อาจทำให้เกิดการหักพับของโครงสร้างภายในนำไปสู่การลดพื้นที่ผิวของสารดูดซับ ทำให้ซิลิกาที่ผ่านการเผาจึงดูดซับสารประกอบได้น้อยลง

ในด้านปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการนำสารดูดซับซิกาเจลกลับไปเผาแล้วนำกลับมาใช้เป็นจำนวน 20 ครั้ง (ภาพที่ 4.8) พบว่า ในช่วงแรกของการนำซิลิกาเจลกลับมาใช้ ปริมาณน้ำมันที่ได้ภายหลังการดูดซับมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของซิลิกาเจลลดลง แต่เมื่อนำซิลิกาเจล กลับมาใช้หลังจากผ่านการเผาครั้งที่ 15 ขึ้นไป พบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้ค่อนข้างคงที่ และพบว่าไม่สามารถทำให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันได้อีกต่อไป โดยเห็นได้ชัดเจนจากปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งค่ากรดไขมันอิสระเริ่มมีค่าคงที่เมื่อใช้ซิลิกาเจลที่ผ่านการเผาครั้งที่ 15 โดยหลังจากปรับปรุงค่ากรดไขมันอิสระมีค่าคงที่อยู่ที่ 0.2481 % ในขณะที่ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน ค่าสารประกอบมีขั้ว ความหนืด และสี มีการปรับปรุงน้อยลงโดยมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการเผาครั้งที่ 15 ขึ้นไป ยกตัวอย่างเช่น ค่าเปอร์ออกไซด์ เมื่อนำซิลิกาเจลที่ผ่านการเผาครั้งที่ 15 มีค่าเปอร์ออกไซด์ 2.626 meq/kg แต่หลังจากผ่านการเผาครั้งที่ 19 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2.929 meq/kg แสดงว่ามีการปรับปรุงน้อยลง (ภาคผนวก ง) ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการใช้ซิลิกาเจลในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดสามารถที่จะนำ ซิลิกาเจลกลับมาใช้ได้อีกประมาณ 10 – 15 ครั้ง หลังจากนี้ไปไม่สมควรนำกลับมาใช้แล้ว



ภาพที่ 4.7 ประสิทธิภาพการดูดซับสารของสารดูดซับซิลิกาเจลที่เปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 4.8 ปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการนำซิลิกาเจลกลับมาใช้เป็นจำนวน 20 ครั้ง

บทที่5

สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ผ่านการทอดอาหาร พบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมี นั่นคือ มีค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน ค่าสารประกอบมีขั้วเพิ่มขึ้น น้ำมันมีสีคล้ำขึ้นและมีความหนืดมากขึ้น แสดงให้เห็นถึงความเสื่อมเสียของน้ำมันที่นำไปผ่านการทอดอาหาร

2. จากการศึกษาผลของขนาดรูพรุนของสารดูดซับซิลิกาเจลในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหาร โดยใช้ขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม พบว่าที่ขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยส่วนใหญ่น้อยกว่าที่ขนาดรูพรุน 60 และ 100 อังสตรอม อาจเนื่องจากสารประกอบมีขั้วมีขนาดโมเลกุลใหญ่เกินไปไม่สามารถถูกดูดซับในรูพรุนขนาดเล็กได้ กลไกการดูดซับจึงอาจเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวหน้าของอนุภาค เมื่อเพิ่มขนาดรูพรุนเป็น 60 อังสตรอมพบว่ามีการปรับปรุงคุณภาพไม่แตกต่างจากขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม ยกเว้นคุณภาพด้านสีซึ่งปรับปรุงได้น้อยกว่า แต่เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำมันที่ได้พบว่าที่ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอมให้ปริมาณน้ำมันมากกว่า ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงคุณภาพทางเคมีซึ่งมีความสำคัญต่อสุขภาพมากกว่าคุณภาพด้านสี และปริมาณน้ำมันที่ได้หลังการดูดซับที่มีปริมาณมากกว่าจึงเลือกสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 60 อังสตรอมเป็นขนาดรูพรุนที่เหมาะสม ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน

3. จากการศึกษาผลของขนาดอนุภาคของสารดูดซับซิลิกาเจลในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหาร โดยใช้ขนาดอนุภาค $\leq$0.063 มิลลิเมตร, 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และ 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร พบว่าการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค$\leq$ 0.063 มิลลิเมตร ซึ่งมีปริมาณพื้นที่ผิวสูงสุดปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีโดยรวมซึ่งได้แก่ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีนและค่าสารประกอบมีขั้วได้น้อยกว่าที่ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร อาจเนื่องมาจากสภาวะทางกายภาพระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับซึ่งพบว่าสารละลายของเหลวมีความหนืดค่อนข้างสูงในระหว่างการกวนจึงทำให้ปฏิกิริยาการดูดซับเกิดขึ้นได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ในขณะที่การใช้ซิลิกาเจลขนาดอนุภาค 0.2 -0.5 มิลลิเมตร น้ำมันที่ได้มีคุณภาพทางเคมี กายภาพ ต่ำกว่าซิลิกาเจลขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณพื้นที่ผิวที่น้อยกว่า ดังนั้นจึงเลือกสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq$0.063 มิลลิเมตร เป็นขนาดอนุภาคที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน

4. จากการศึกษาผลของเวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหาร โดยใช้เวลาในการกวน 10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับ 10 , 20 และ 30 กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม พบว่า เมื่อปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลเพิ่มขึ้นมีผลทำให้น้ำมันมีการปรับปรุงคุณภาพทั้งทางด้านเคมี และกายภาพได้ดีขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารดูดซับทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากขึ้นจึงสามารถดูดซับสารประกอบมีขั้วต่างๆในน้ำมันทอดได้มากขึ้น จึงช่วยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันให้ดีขึ้น เมื่อเวลาในการกวนเพิ่มขึ้นพบว่าเวลาในการกวนมีผลต่อค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน ค่าสี และ ความหนืดเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อค่าสารประกอบมีขั้วซึ่งเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำมันและไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ได้ภายหลังการดูดซับ ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงค่าสารประกอบมีขั้ว ปริมาณน้ำมันภายหลังการดูดซับ และผลของเวลาในทางเศรษฐกิจ จึงเลือกเวลาในการกวน 10 นาที และปริมาณสารดูดซับ 30 กรัม เป็นเวลาและปริมาณที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน

5. จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับซิลิกาเจลในการนำกลับมาใช้ โดยผ่านการเผาเพื่อนำกลับมาใช้เป็นจำนวน 20 ครั้งพบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการเผาแล้วนำกลับมาใช้เพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของซิลิกาเจลลดลงประมาณ 27 – 52 % ทำให้น้ำมันมีการปรับปรุงคุณภาพในด้านเคมีและกายภาพลดลง ในด้านของปริมาณน้ำมันที่ได้ภายหลังการดูดซับพบว่า เมื่อจำนวนครั้งการนำซิลิกาเจลกลับมาใช้เพิ่มขึ้น ซิลิกาเจลมีประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันลดลง แต่หลังจากผ่านการเผาครั้งที่ 15 ปริมาณน้ำมันที่ได้ค่อนข้างคงที่และไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันได้อีกต่อไป ดังนั้นการนำซิลิกาเจลกลับมาใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทอดควรนำกลับมาใช้ประมาณ 10 – 15 ครั้ง หลังจากนี้ไม่สมควรนำกลับมาใช้แล้ว

บรรณานุกรม

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. **เคมีอาหาร.** กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

นิรมล วรสิษฐ. 2547. "การใช้เบนทอไนต์ฟอกสีคล้ำในน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดแล้วหลายครั้ง." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2535. "คุณภาพน้ำมันทอด." **วารสารอาหาร** สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. 22(2) : 8-12.

แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2534. **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. กรุงเทพฯ : [ม.ป.ท. : ม.ป.พ.] : 759-760

ลักขณา รุจนะไกรกานต์. 2531. **หลักการวิเคราะห์อาหาร**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. [เชียงใหม่] : 273

American Oil Chemists' Society .1997. **Official Methods and Recommended Practices of the AOCS**. 5th edition. AOCS Press. Champaign, IL, USA.

Akoh, C., Reynolds. Jr. and Estes, A. **Recovery of Used Frying Oils**. U.S. patent no 6187355, February 2001.

Bheemreddy, R.M., Chinnan, M.S. and Reynolds, A.E. 2002. "Active treatment of frying oil for enhanced fry-life." **J Food Sci.** 67(4) : 1478 –1484.

Billek, G., Guhr, G. and Waibel, J. 1978. "Quality assessment of used frying fats : a comparison of four methods." **J Am Oil Chem Soc** . 55 : 728 -733.

Cooke, S. 2004. Adsorbent treatment of frying oil and the impact on health and oil and the impact on health and nutrition. [Online]. Available : http://www.dgfett.de/material/hagen2004/cook.pdf

Hamilton, R. J. 1995. **Developments in Oils And Fats.** . London : Applied Science.

Kantorowitz, B. and Yannai, S. 1974. "Comparison of the tendencies of liquid and hardened soybean oils to form physiological undesirable materials under simulated frying conditions." **Nutr. Repts. Intl.** 9 : 331.

Khoo, L.E., Morsingh, F. and Liew, K.Y. 1979. The adsorption of β-carotene by bleaching earths. **J Am Oil Chem Soc** . 56 : 672 -675.

Lin, S., Casimir, C. and Reynolds, A. 1999. "Determination of optimal conditions for selected adsorbent combinations to recover used frying oils." **J Am Oil Chem Soc**. 76(6) : 739 - 744.

Mcneill, J., Kakuda, Y. and Kamel. B. 1986. "Improving the quality of used frying oils by treatment with activated carbon and silica." **J Am Oil Chem Soc**. 63(12) : 1564 - 1567.

Miyagi, A. and Nakajima, M. 2003. "Regeneration of used frying oils using adsorption processing." **J Am Oil Chem Soc**. 80(1) : 91 - 96.

Miyagi, A., Subramanian, R. and Nakajima, M. 2003. Membrane and additional adsorption processes for quality improvement of used frying oils. **J Am Oil Chem Soc**. 80(9) : 927 - 932.

Paul, S. and Mittal, G.S. 1997. "Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying." **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 37(7) : 635-662.

Perkins, E.G. and Lamboni, C. 1998. "Magnesium silicate treatment of dietary heated fats : effects on rat liver enzyme activity." **Lipids**. 33 : 683 – 687.

Riera, B., Codony, R., Rafecas, M. and Guardiola, F. 2000. **Recycled cooking oils : Assessment of risks for public health : Final Study**. European Parliament Directorate General for Research Directorate A The STOA Programme.

Robards, K., Haddad, R. and Jackson, E. 1994. **Principles And Practice of Modern Chromatographic Methods.** Great Britain : Academic Press

Sewell, A. and Clarke, B. 1991. **Chromatographic Separations.** Singapore : John Wiley : 335.

Weinheim. 1999. **Industrial Inorganic Chemicals and Products**. Ullmann's Encyclopedia : 4092 – 4102.

Stevenson, S.G., Genser, M. and Eskin, N.A.M. 1984. "Quality control in the use of deep frying oils" **J Am Oil Chem Soc**. 61(6) : 1102 - 1108.

White, P. 1991. "Methods for measuring changes in deep-fat frying oils." **Food Technology**. 45(2) : 75-80

Yates, R.A. and Caldwell, J.D. 1993. "Regeneration of oils used for deep frying : A Comparison of Active Filter Aids." **J Am Oil Chem Soc**. 70(5) : 507- 511.

ภาคผนวก ก

ก1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (AOCS,1995)

1.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1.1.1 เครื่องแก้ว

1.1.2 สารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ 95%

1.1.3 สารละลายฟีนอล์ฟธาลีน 1 % ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95 %

1.1.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.2 วิธีวิเคราะห์

1.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมันตามโดยใช้ปริมาณตามตารางที่ 1 ใส่ฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร

ตารางที่ ก1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของด่าง

FFA range%	Sample(g)	Alcohol(mL	Strength of alkali
0.00 - 0.2	56.4	50	0.1N
0.2 -1.0	28.2	50	0.1N
1.0 - 30.0	7.05	75	0.25N
30.0 - 50.0	7.05	100	0.25 or 1.0N
50.0 - 100	3.525	100	1.0N

1.2.2 เติมสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ 95 % ตามปริมาณที่เหมาะสมดังพิจารณาจากตารางที่1 โดยสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องผ่านการทำให้เป็นกลางแล้ว (Neutralized) โดยการเติมสารละลายฟีนอล์ฟธาลีน 2 มิลลิลิตร และไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนสารละลายมีสีชมพูอ่อนแล้วจึงนำไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

1.2.3 เติมสารละลายฟีนอล์ฟธาลีนซึ่งใช้เป็นอินดิเคเตอร์ 2 มิลลิลิตร

1.2.4 ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ จะสามารถพิจารณาจากตารางที่ 1 จนได้สารละลายสีชมพูคงตัว 30 วินาที

1.2.5 บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

1.2.6 คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ

$$\text{Free fatty acids as oleic, \%} = \frac{\text{mL of alkali} \times N \times 28.2}{\text{mass,g of sample}}$$

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

$$\text{Free fatty acids as lauric, \%} = \frac{\text{mL of alkali x N x 20.0}}{\text{mass,g of sample}}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ก2. วิธีวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (AOCS,1995)

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

2.1.1 เครื่องแก้ว

2.1.2 สารละลายผสมอะเซติก : คลอโรฟอร์ม (3:2)

2.1.3 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)

2.1.4 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มอล

2.1.5 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.01 นอร์มอล

2.1.6 สารละลายน้ำแป้ง (indicator)ความเข้มข้น 1%

2.2 วิธีวิเคราะห์

2.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5±0.05 กรัมใส่ใน Erlenmeyer flaskขนาด 250 มิลลิลิตร

2.2.2 เติมสารละลายผสมอะเซติก : คลอโรฟอร์ม (3:2) 30 มิลลิลิตร

2.2.3 เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 0.5 มิลลิลิตร

2.2.4 เขย่าสารละลายเป็นเวลา 1 นาที และเติมน้ำกลั่นทันที 30 มิลลิลิตร

2.2.5 ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.01 นอร์มอล จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อน และเติมสารละลายน้ำแป้ง 2 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตต่อจนสารละลายสีน้ำเงินจางหายไป

2.2.6 บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ที่ใช้ในการไทเทรต

2.2.7 ทำสารละลาย blank ตามวิธีเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้นแต่ไม่ใส่ตัวอย่างน้ำมัน

2.2.8 คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์

$$\text{Peroxide values (milliequivalents peroxide/1000g sample)} = \frac{\text{(S - B) x N x 1000}}{\text{mass of sample , g}}$$

เมื่อ B = ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

S = ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

ก3. วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (AOCS,1995)

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องแก้ว

3.1.2 คอลัมน์แก้วโครมาโตกราฟฟี

3.1.3 เครื่องอบลมร้อน

3.1.4 Water bath

3.1.5 Rotary evaporator

3.1.6 เครื่องเขย่า

3.1.7 สารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์

3.1.8 สารละลายเอธานอล 95 %

3.1.9 สารละลายไดเอธิลอีเทอร์

3.1.10 สารละลายคลอโรฟอร์ม

3.1.11 สารละลายกรดอะซิติก

3.1.12 สารละลาย Elution solvent (สารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ : สารละลายไดเอธิลอีเทอร์ = 87 : 13 (v/v))

3.1.13 สารดูดซับซิลิกาเจล

3.1.14 Sea sand

3.1.15 Cotton wool

3.1.16 ก๊าซไนโตรเจน 99 – 99.8 %

3.2 การเตรียมซิลิกาเจล

3.2.1 นำสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และมีขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม มาอบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 4 ชั่วโมง

3.2.1 นำมาทำให้เย็นใน descicator ที่อุณหภูมิห้อง

3.2.2 ชั่งซิลิกาเจลจำนวน 152 กรัมใส่ฟลาสก์ขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจำนวน 8 กรัม

3.2.3 ปิดฟลาสก์ด้วยจุกปิดแล้วนำไปเขย่าโดยใช้เครื่องเขย่า

3.3 การเตรียมคอลัมน์

3.3.1 นำสารละลาย Elution solvent จำนวน 30 มิลลิลิตร ใส่ในคอลัมน์

3.3.2 นำ cotton wool ใส่ในคอลัมน์โดยใช้แท่งแก้วช่วยในการกดเพื่อไล่อากาศ

3.3.3 นำสารดูดซับซิลิการเจล 25 กรัมผสมกับสารละลาย Elution solvent 80 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตรแล้วเทลงในคอลัมน์

3.3.4 เปิดจุกปิด (Stopcock) เพื่อให้สารละลาย Elution solvent ไหลออกจนระดับสารละลาย Elution solvent อยู่เหนือสารดูดซับซิลิการเจล 10 เซนติเมตร

3.3.5 เติมสาร sea sand จำนวน 4 กรัม

3.3.6 เปิดจุกให้สารละลายไหลออกจนระดับสารละลาย Elution solvent อยู่ในระดับของ sea sand

3.4 วิธีวิเคราะห์

3.4.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 2.4 – 2.6 $\pm$ 0.001 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

3.4.2 ละลายตัวอย่างด้วยสารละลาย Elution solvent ที่อุ่นเล็กน้อย จำนวน 20 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลาย Elution solvent ให้เป็น 50 มิลลิลิตร

3.4.3 ปิเปตสารละลายตัวอย่างนี้ออกมาจำนวน 20 มิลลิลิตรใส่ในคอลัมน์ระวังอย่าให้โดนผิวหน้าของสารที่อยู่ในคอลัมน์

3.4.4 นำฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร 2 ฟลาสก์อบด้วยอุณหภูมิ 103 $\pm$ 2 องศาเซลเซียสจนมีน้ำหนักคงที่ ($\pm$0.001 กรัม)

3.4.5 นำฟลาสก์ที่ทราบน้ำหนักคงที่แล้วมา 1 ฟลาสก์ วางไว้ใต้คอลัมน์แล้วเปิดจุก (Stopcock) ปล่อยให้สารละลายไหลออกมาจนถึงระดับของ sea sand ควรมีอัตราการไหลประมาณ 2.1 – 2.5 มิลลิลิตร/นาที

3.4.6 ใส่สารละลาย Elution solvent จำนวน 150 มิลลิลิตรในคอลัมน์แล้วเปิดจุกให้สารละลายไหลออกมาเพื่อชะส่วนของสารประกอบไม่มีขั้วออกมาก่อน โดยใช้เวลาประมาณ 60 – 70 นาที

3.4.7 ใส่สารละลาย Elution solvent อีกประมาณ 20 มิลลิลิตรในคอลัมน์เพื่อล้างสารประกอบไม่มีขั้วที่อาจหลงเหลืออยู่ในคอลัมน์

3.4.8 นำฟลาสก์ที่ทราบน้ำหนักคงที่อีกฟลาสก์หนึ่งวางไว้ใต้คอลัมน์แล้วเติมสารละลายไดเอธิลอีเทอร์ จำนวน 150 มิลลิลิตรลงในคอลัมน์แล้วเปิดจุกให้สารละลายไหลออกมาเพื่อชะส่วนของสารประกอบมีขั้วออกมา ใช้เวลาประมาณ 60 – 70 นาที

3.4.9 นำฟลาสก์ทั้งสองไปประเหยโดยใช้เครื่อง rotary evaporator โดยใช้อุณหภูมิ น้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส

3.4.10 ใส่ก๊าซไนโตรเจนในฟลาสก์ทั้งสอง

3.4.11 นำฟลาสก์ไปชั่งน้ำหนักหาปริมาณสารประกอบมีขั้ว

3.4.12 คำนวณปริมาณสารประกอบมีขั้ว

$$\% \text{ polar compound} = \frac{m - m_1 \times 100}{m}$$

เมื่อ m = น้ำหนักของตัวอย่างน้ำมันใน20 มิลลิลิตร , กรัม

m_1 = น้ำหนักของสารประกอบไม่มีขั้ว , กรัม

ก4. วิธีวิเคราะห์พารา-แอนนิซิดีน(AOCS,1995)

4.1 อุปกรณ์และสารเคมี

4.1.1 หลอดทดสอบขนาด 10 มิลลิลิตร

4.1.2 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์(Spectrophotometer)

4.1.3 คิวเวตแก้ว

4.1.4 สารละลายไอโซออกเทน

4.1.5 สารละลายกรดอะซิติก

4.1.6 สารละลายพารา-แอนนิซิดีน (p - Anisidine)

4.2 วิธีวิเคราะห์

4.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 0.5 – 4.0 ± 0.001 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

4.2.2 ละลายด้วยสารละลายไอโซออกเทนแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร

4.2.3 ทำ blank โดยใช้สายละลายไอโซออกเทน

4.2.4 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร

4.2.5 ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ออกมาจำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดสอบ

4.2.6 ปิเปตสารละลาย blank จำนวน 5 มิลลิตรใส่หลอดทดสอบอีกหลอดหนึ่ง

4.2.7 นำหลอดทดสอบทั้งสองมาเติมสารละลายพารา-แอนนิซิดีนหลอดละ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาทีเพื่อให้เกิดปฏิกริยา

4.2.8 นำหลอดทดสอบทั้งสองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร

4.2.9 คำนวณพารา-แอนนิซิดีน (p – anisidine value)

$$\text{p-A.V.} = \frac{25 \times (1.2As - Ab)}{m}$$

เมื่อ As = ค่าการดูดกลืนแสงหลังจากเติมพารา-แอนนิซิดีน

Ab = ค่าการดูดกลืนแสงก่อนเติมพารา-แอนนิซิดีน

m = น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน, กรัม

ก5. วิธีวิเคราะห์สี (AOCS,1995)

5.1 อุปกรณ์และสารเคมี

5.1.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์(Spectrophotometer)

5.1.2 คิวเวตแก้ว

5.1.3 กระดาษกรอง

5.1.4 สารละลายเมธิลีนคลอไรด์ (Methylene chloride)

5.1.5 สารละลายนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate solution)

5.1.6 สารละลายไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid)

5.1.7 Diatomaceous earth

5.2 การ Calibration เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์(Spectrophotometer)

5.2.1 เปิดเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่ออุ่นเครื่องเป็นเวลาประมาณ 15 นาที

5.2.2 ปรับให้เครื่องอ่านค่าเป็นศูนย์

5.2.3 ปรับไปที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ปรับให้เครื่องอ่านค่าเป็นศูนย์ แล้วใส่คิวเวตที่มีสารละลายเมธิลีนคลอไรด์และเซตให้ transmittance เป็น 100%

5.2.4 ใส่คิวเวตที่มีสารละลายนิกเกิลซัลเฟตและวัด transmittance ของสารละลายค่าควรอยู่ในช่วง 24.2 – 28.2 %

5.2.5 ปรับไปที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตรและวัด transmittance ของสารละลายนิกเกิลซัลเฟต ค่าควรอยู่ในช่วง 53.8 – 55.8 % และทำเช่นเดียวกันกับความยาวคลื่นอื่นๆดังตารางที่ 3

ตารางที่ ก2 การคาลิเบรทเครื่องสเปรกโตโฟโตมิเตอร์

nm	Transmittance
400	< 4.0 %
460	26.2 + 2.0 %
510	73.9 + 1.0 %
550	54.8 + 1.0 %
620	5.2 + 0.5 %
670	1.1 + 0.5 %
700	< 2.0 %

5.3 วิธีวิเคราะห์

5.3.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 300 กรัม เติม Diatomaceous earth 0.5 กรัม

5.3.2 กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 2.5 นาที

5.3.3 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยวัดความยาวคลื่นที่ 460 , 550 , 620 และ 670 นาโนเมตรซึ่งค่าที่ได้ควรใกล้เคียง 0.001

5.3.4 คำนวณค่าสี

Photometric color index = $1.29 (A_{460}) + 69.7(A_{550}) + 41.2(A_{620}) - 56.4(A_{670})$

ก6. วิธีวิเคราะห์ความหนืด

6.1 อุปกรณ์

6.1.1 Brookfield viscometer รุ่น LV-DV-III

6.1.2 ชุด Small sample adapter

6.1.3 หัววัดเบอร์ SC4-18

6.1.4 Chamber SC4-13R

6.1.5 Cooling bath

6.2 วิธีวิเคราะห์

6.2.1 เช็คระดับลูกน้ำ ปรับระดับลูกน้ำให้อยู่ที่จุดกึ่งกลางของกรอบและเปิด Power Switch ด้านหลังตัวฐานเครื่อง

6.2.2 กดปุ่ม Moter on/off เครื่องจะทำการปรับศูนย์อัตโนมัติ เมื่อหน้าจอขึ้น Auto zero is complete กด next

6.2.3 นำตัวอย่างน้ำมันประมาณ 5 กรัม ใส่ใน chamber ซึ่งติดตั้งเข้ากับชุด small sample adapter ควบคุมอุณหภูมิตลอดการวิเคราะห์ที่ 26 องศาเซลเซียส

6.2.4 ใส่หัววัดเบอร์ SC4-18 และจุ่มหัววัดในตัวอย่าง

6.2.5 กด Select SPDL เพื่อเลือกรหัสหัววัด (คือ18) และกด Select SPDL อีกครั้งเพื่อตอบตกลง

6.2.6 ใส่ตัวเลขที่ความเร็วรอบ 26 rpm อ่านค่าความหนืดของตัวอย่างเป็นเซนติพอยส์ (cp)

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข1 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่ากรดไขมันอิสระ (%)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	0.4699	0.4709	0.4341
ขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม	0.3612	0.3612	0.3251
ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม	0.3253	0.3251	0.2890
ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม	0.3251	0.3246	0.2889

ตารางที่ ข2 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	6.5332	5.9542	5.6500
ขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม	5.3579	4.9632	4.8805
ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม	5.2657	4.7781	4.4811
ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม	5.1681	4.4767	4.2863

ตารางที่ ข3 ค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าพาราแอนนิซิดีน (meq/kg)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	39.8534	34.7304	38.5452
ขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม	25.7107	29.3483	24.9321
ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม	25.9205	23.0429	22.5241
ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม	25.7453	23.2349	23.1644

ตารางที่ ข4 ค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าสารประกอบมีขั้ว(%)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	10.8256	9.5521	16.4754
ขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม	8.6092	7.2486	10.2008
ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม	3.4995	6.6461	6.3589
ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม	3.2057	6.4742	5.614

ตารางที่ ข5 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าความหนืด (cp)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	95.1	95.6	95.5
ขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม	94.2	94.6	94.4
ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม	93.5	93.0	93.7
ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม	93.0	92.5	93.0

ตารางที่ ข6 ค่าสีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	27.3982	25.6469	26.3132
ขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม	20.0482	20.5245	21.2294
ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม	10.1568	10.7419	11.4498
ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม	6.0910	6.9733	6.6811

ตารางที่ ข7 น้ำหนักของน้ำมันปาล์มที่ได้หลังจากผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม	83.52	81.96	84.33
ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม	80.49	78.66	82.70
ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม	75.08	74.04	76.64

ตารางที่ ข8 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่ากรดไขมันอิสระ (%)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	0.3979	0.3982	0.3973
ขนาดอนุภาค $\leq$ 0.063 มม.	0.2169	0.2170	0.2167
ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มม.	0.2351	0.2536	0.2532
ขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 มม.	0.2896	0.2898	0.2889

ตารางที่ ข9 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	5.2814	5.2867	5.0757
ขนาดอนุภาค $\leq$ 0.063 มม.	4.7924	4.5035	4.4900
ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มม.	4.1078	4.1119	4.0996
ขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 มม.	4.3120	4.3033	4.2948

ตารางที่ ข10 ค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าพาราแอนนิซิดีน (meq/kg)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	22.4901	23.2181	25.1167
ขนาดอนุภาค ≤ 0.063 มม.	15.8498	15.4183	15.7123
ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มม.	14.2057	14.9756	15.6703
ขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 มม.	15.1541	16.6899	15.2412

ตารางที่ ข11 ค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าสารประกอบมีขั้ว(%)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	12.7491	14.0765	14.2456
ขนาดอนุภาค ≤ 0.063 มม.	6.5468	9.3080	7.3001
ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มม.	4.8991	7.3071	6.4684
ขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 มม.	6.0168	9.5183	8.2079

ตารางที่ ข12 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าความหนืด (cp)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	95.1	94.7	95.3
ขนาดอนุภาค ≤ 0.063 มม.	90.5	89.3	91.1
ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มม.	91.1	88.1	91.5
ขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 มม.	92.1	89.1	93.9

ตารางที่ ข13 ค่าสีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	28.0899	28.6579	29.4552
ขนาดอนุภาค ≤ 0.063 มม.	1.2675	1.2427	1.2007
ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มม.	11.6957	11.4332	11.0628
ขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 มม.	19.4961	19.1544	19.9443

ตารางที่ ข14 น้ำหนักของน้ำมันปาล์มที่ได้หลังจากผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ขนาดอนุภาค ≤ 0.063 มม.	76.60	78.92	76.90
ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มม.	77.06	81.34	78.54
ขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 มม.	78.42	80.2	81.74

ตารางที่ ข15 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล (กรัม)					
	10		20		30	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
10	0.3359	0.3898	0.2475	0.2835	0.1767	0.2126
20	0.2917	0.3721	0.2120	0.3012	0.1414	0.2037
30	0.2354	0.3367	0.2120	0.2658	0.1590	0.2126

ตารางที่ ข16 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล (กรัม)					
	10		20		30	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
10	5.9353	6.3630	4.737	5.5550	3.6323	4.1410
20	6.1610	5.5550	4.9490	5.1510	3.1310	4.4440
30	4.9490	5.4035	4.5450	4.5450	3.3330	3.5350

ตารางที่ ข17 ค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล (กรัม)					
	10		20		30	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
10	18.7071	20.9999	10.2784	15.8720	6.6303	11.1279
20	16.4587	22.3516	11.42220	15.6330	8.4831	105767
30	15.2659	21.5427	10.8470	14.6557	6.6020	10.4620

ตารางที่ ข18 ค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล (กรัม)					
	10		20		30	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
10	8.2681	7.3975	7.0510	6.5937	5.2858	5.2153
20	8.0940	7.3395	6.7508	6.5226	4.9232	4.8398
30	8.0623	7.2818	6.9831	6.4888	5.0234	5.0859

ตารางที่ ข19 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล (กรัม)					
	10		20		30	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
10	88.80	84.55	86.80	83.00	85.75	81.45
20	87.10	84.05	85.40	82.25	84.25	80.65
30	86.70	83.95	85.65	81.65	84.00	80.65

ตารางที่ ข20 ค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล (กรัม)					
	10		20		30	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
10	18.6680	19.0475	15.5895	14.1949	10.3311	12.0680
20	20.6806	19.8600	16.4137	19.7017	12.7250	11.4337
30	20.5322	18.8141	16.3939	15.9161	10.1037	12.2689

ตารางที่ ข21 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

สมบัติทาง กายภาพและเคมี	ปริมาณค่า			
	เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล (กรัม)		
		10	20	30
กรดไขมันอิสระ (%)	10	0.3629 Cc	0.2655 Cb	0.1947 Ca
	20	0.3319 Bc	0.2566 Bb	0.1726 Ba
	30	0.2876 Ac	0.2389 Ab	0.1858 Aa
ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)	10	6.1492 Cc	5.1462 Cb	3.8867 Ca
	20	5.8580 Bc	5.0500 Bb	3.7875 Ba
	30	5.1762 Ac	4.5450 Ab	3.5350 Aa
ค่าพาราแอนนิซิดีน (meq/kg)	10	18.7071 Ac	13.0752 Ab	8.8791 Aa
	20	19.4052 Bc	13.5276 Bb	9.5299 Ba
	30	18.4043 Ac	12.7514 Ab	8.5320 Aa
สารประกอบมีขั้ว (%)	10	7.8328 Ac	6.8224 Ab	5.2506 Aa
	20	7.7168 Ac	6.6367 Ab	4.8815 Aa
	30	7.6721 Ac	6.7360 Ab	5.0547 Aa
ความหนืด (cp)	10	86.6750 Bc	84.9000 Bb	83.6000 Ba
	20	85.5750 Ac	83.8250 Ab	82.4250 Aa
	30	85.3250 Ac	83.6500 Ab	82.3250 Aa
สี	10	18.8578 Ac	14.8922 Ab	11.1996 Aa
	20	20.2703 Bc	18.0577 Bb	12.0794 Ba
	30	19.6731 Ac	16.1550 Ab	11.1863 Aa

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน (a b c) หมายถึงมีความแตกต่างกันของปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2) ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง (A B C) หมายถึงมีความแตกต่างกันของเวลาที่ใช้ในการดูดซับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3) ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร 2 ลอต

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค1 เปอร์เซนต์การลดลงของค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	%การลดลงของค่ากรดไขมันอิสระ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม	23.13	23.30	25.11	23.85
ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม	30.77	30.96	33.42	31.72
ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม	30.82	31.07	33.45	31.78

ตารางที่ ค2 เปอร์เซนต์การลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	%การลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม	17.99	16.64	13.62	16.08
ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม	19.40	19.75	20.69	19.95
ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม	20.89	24.81	24.14	23.28

ตารางที่ ค3 เปอร์เซนต์การลดลงของค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	% การลดลงของค่าพาราแอนนิซิดีน			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม	35.49	15.50	35.32	28.77
ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม	34.96	33.65	41.56	36.72
ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม	35.40	33.90	39.90	36.40

ตารางที่ ค4 เปอร์เซนต์ การลดลงของค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	% การลดลงของค่าสารประกอบมีขั้ว			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม	20.47	24.11	38.08	27.55
ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม	67.67	30.42	61.40	53.16
ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม	70.39	32.22	65.92	56.18

ตารางที่ ค5 เปอร์เซนต์การลดลงของค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	% การลดลงของค่าความหนืด			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม	0.95	1.04	1.15	1.05
ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม	1.68	2.72	1.88	2.09
ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม	2.21	3.21	2.62	2.68

ตารางที่ ค6 เปอร์เซนต์การลดลงของค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	% การลดลงของค่าสี			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม	26.83	20.07	19.32	22.07
ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม	62.93	58.12	56.49	59.18
ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม	77.77	72.81	74.61	75.06

ตารางที่ ค7 เปอร์เซนต์การลดลงของค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	%การลดลงของค่ากรดไขมันอิสระ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดอนุภาค ≤ 0.063 มม.	45.49	45.50	45.46	45.48
ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มม.	40.91	36.31	36.27	37.83
ขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 มม.	27.22	27.22	27.28	27.24

ตารางที่ ค8 เปอร์เซนต์การลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	%การลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดอนุภาค ≤ 0.063 มม.	9.26	14.81	11.54	11.87
ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มม.	22.22	22.23	19.23	21.23
ขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 มม.	19.35	18.60	15.38	17.78

ตารางที่ ค9 เปอร์เซนต์การลดลงของค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	% การลดลงของค่าพาราแอนนิซิดีน			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดอนุภาค ≤ 0.063 มม.	29.52	33.59	37.44	33.52
ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มม.	36.84	35.50	37.61	36.65
ขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 มม.	32.62	28.12	39.32	33.35

ตารางที่ ค10 เปอร์เซนต์การลดลงของค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	% การลดลงของค่าสารประกอบมีขั้ว			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดอนุภาค ≤ 0.063 มม.	48.65	33.88	48.75	43.76
ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มม.	61.57	48.09	54.59	54.75
ขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 มม.	52.81	32.38	42.38	42.52

ตารางที่ ค11 เปอร์เซนต์การลดลงของค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	% การลดลงของค่าความหนืด			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดอนุภาค ≤ 0.063 มม.	4.84	5.70	4.41	4.98
ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มม.	4.21	6.97	3.99	5.06
ขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 มม.	3.15	5.91	1.47	3.51

ตารางที่ ค12 เปอร์เซนต์การลดลงของค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	% การลดลงของค่าสี			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดอนุภาค ≤ 0.063 มม.	95.49	95.66	95.92	95.69
ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มม.	58.36	60.10	62.44	60.30
ขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 มม.	30.59	33.16	32.29	32.01

ภาคผนวก ง

ง1. การคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับของสารดูดซับซิลิกาเจลในการนำกลับมาใช้

$$(\%) = 100 \times (C_u - C_n) / (C_u - C_o)$$

C_u คือ สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

C_n คือ สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มหลังผ่านการดูดซับจากซิลิกาเจลที่ถูกเผา จำนวน n ครั้ง

C_o คือ สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการดูดซับจากซิลิกาเจลในช่วงเริ่มต้น

ตัวอย่าง

น้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารมีปริมาณกรดไขมันอิสระ 0.3898 % เมื่อนำมากวนกับซิลิกาเจล หลังจากกรองพบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน 0.1506 % และเมื่อนำซิลิกาเจลไปผ่านการเผาครั้งที่1 แล้วนำกลับไปกวนกับน้ำมันหลังจากกกรองพบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน 0.1772%

การคำนวณ

$$(\%) = 100 \times (0.3898 - 0.1772)/(0.3898 - 0.1506)$$

$$= 88.88\ \%$$

ดังนั้นหลังจากซิลิกาเจลผ่านการเผาครั้งที่ 1 จะมีประสิทธิภาพการดูดซับลดลงเหลือ 88.88 %

ตารางที่ ง1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและยังไม่ได้ปรับปรุงซึ่งนำมาใช้ศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับซิลิกาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสาร

สมบัติทางกายภาพและเคมี	ปริมาณค่า
กรดไขมันอิสระ (%)	0.3898
ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)	4.04
ค่าพาราแอนนิซิดีน (meq/kg)	21.3594
สารประกอบมีขั้ว (%)	10.3235
ความหนืด (cp)	94.50
สี	26.9702

ตารางที่ ง2 ประสิทธิภาพการดูดซับกรดไขมันอิสระที่เปลี่ยนแปลงไปของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง

จำนวนครั้งการเผา	ปริมาณกรดไขมันอิสระ(%)	% การดูดซับที่เปลี่ยนแปลงไป
0	0.1506	100
1	0.1772	88.88
3	0.2126	74.08
5	0.2126	74.08
7	0.2215	70.36
9	0.2304	66.64
11	0.2304	66.64
13	0.2392	62.96
15	0.2481	59.24
17	0.2481	59.24
19	0.2481	59.24

ตารางที่ ง3 ประสิทธิภาพการดูดซับค่าเปอร์ออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงไปของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผา เป็นจำนวน 20 ครั้ง

จำนวนครั้งการเผา	ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)	% การดูดซับที่เปลี่ยนแปลงไป
0	1.818	100
1	2.02	90.91
3	2.3735	75.00
5	2.626	63.63
7	2.626	63.63
9	2.727	59.09
11	2.727	59.09
13	2.626	63.63
15	2.626	63.63
17	2.828	54.54
19	2.929	50.00

ตารางที่ ง4 ประสิทธิภาพการดูดซับค่าพาราแอนนิซิดีนที่เปลี่ยนแปลงไปของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง

จำนวนครั้งการเผา	ค่าพาราแอนนิซิดีน (meq/kg)	% การดูดซับที่เปลี่ยนแปลงไป
0	5.3291	100
1	5.8559	95.71
3	7.1449	88.67
5	7.3068	87.66
7	7.3995	87.08
9	8.2502	81.78
11	7.6487	85.53
13	8.6455	79.31
15	9.2686	75.42
17	9.3807	74.72
19	9.5859	73.44

ตารางที่ ง5 ประสิทธิภาพการดูดซับค่าสารประกอบมีขั้วที่เปลี่ยนแปลงไปของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง

จำนวนครั้งการเผา	สารประกอบมีขั้ว (%)	% การดูดซับที่เปลี่ยนแปลงไป
0	4.0996	100
1	4.6529	91.11
3	4.6539	91.09
5	5.6654	74.84
7	5.8383	72.06
9	6.0009	69.45
11	6.4278	62.59
13	6.8603	55.64
15	6.6706	58.69
17	7.0948	51.88
19	7.2893	48.75

ตารางที่ ง6 ประสิทธิภาพการดูดซับค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง

จำนวนครั้งการเผา	ความหนืด (cp)	% การดูดซับที่เปลี่ยนแปลงไป
0	88.20	100
1	88.40	96.82
3	88.45	96.03
5	88.80	90.48
7	89.55	78.57
9	90.00	71.43
11	90.05	70.63
13	90.55	62.70
15	90.08	58.73
17	91.1	53.97
19	91.25	51.59

ตารางที่ ง7 ประสิทธิภาพการดูดซับค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง

จำนวนครั้งการเผา	สี	% การดูดซับที่เปลี่ยนแปลงไป
0	11.2603	100
1	11.6885	97.27
3	12.0159	95.19
5	12.6117	91.40
7	13.2534	87.31
9	14.0604	82.18
11	13.0824	88.40
13	15.0024	76.18
15	16.6309	65.81
17	16.8210	64.60
19	18.2360	55.60

ตารางที่ ง8 เปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังการนำซิลิกาเจลกลับมาใช้เป็นจำนวน 20 ครั้ง

จำนวนครั้งการเผา	น้ำหนักน้ำมันที่ใช้ในแต่ละครั้งการเผา	น้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้ในแต่ละครั้งการเผา	% น้ำมันที่ได้หลังการดูดซับ
0	100	30	68.82
1	97.67	29.3	69.34
2	95.00	28.5	69.73
3	93.60	28.08	69.68
4	89.17	26.75	71.34
5	86.45	25.93	71.53
6	85.1	25.53	71.69
7	83.95	25.18	71.73
8	81.83	24.55	72.81
9	79.33	23.80	72.76
10	78.36	23.51	73.60
11	76.03	22.81	73.47
12	74.13	22.24	73.63
13	71.83	21.55	74.17
14	70.57	21.17	74.56
15	68.20	20.46	74.97
16	66.70	20.01	74.77
17	65.03	19.51	74.80
18	64.2	19.26	74.95
19	62.27	18.68	74.66
20	61.37	18.41	74.61

ภาคผนวก จ

ตารางที่ จ1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ100 อังสตรอม

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	3	0.042	0.014	125492.4	0.000
Block	2	0.035	0.002	15401.550	0.000
Error	6	0.000	0.000		
Total	12	1.587			

ตารางที่ จ2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ100 อังสตรอม

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	3	3.482	1.161	109.124	0.000
Block	2	1.213	0.607	57.039	0.000
Error	6	0.064	0.011		
Total	12	322.978			

ตารางที่ ง3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ100 อังสตรอม

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	3	387.181	129.060	28.865	0.001
Block	2	9.474	4.737	1.059	0.404
Error	6	26.827	4.471		
Total	12	9873.652			

ตารางที่ ง4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ100 อังสตรอม

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	3	100.334	33.445	8.825	0.013
Block	2	20.579	10.290	2.715	0.145
Error	6	22.739	3.790		
Total	12	891.153			

ตารางที่ ง5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ100 อังสตรอม

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	3	11.523	3.841	43.895	0.000
Block	2	0.122	0.061	0.695	0.535
Error	6	0.525	0.087		
Total	12	106063			

ตารางที่ ง6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ100 อังสตรอม

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	3	782.913	246.304	506.819	0.000
Block	2	0.596	0.298	0.613	0.573
Error	6	2.916	0.486		
Total	12	3854.693			

ตารางที่ ง7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	2	100.072	50.036	204.049	0.000
Block	2	13.531	6.766	27.590	0.005
Error	4	0.981	0.245		
Total	9	57302.524			

ตารางที่ ง8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq$0.063 มิลลิเมตร , 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	3	0.056	0.019	661.195	0.000
Block	2	0.054	0.027	0.949	0.438
Error	6	0.000	0.000		
Total	12	1.051			

ตารางที่ จ9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค ≤0.063 มิลลิเมตร , 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	3	2.104	0.701	81.083	0.000
Block	2	0.035	0.018	2.061	0.208
Error	6	0.052	0.008		
Total	12	251.159			

ตารางที่ จ10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค ≤0.063 มิลลิเมตร , 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	3	151.356	50.452	71.404	0.000
Block	2	2.097	1.049	1.484	0.299
Error	6	4.239	0.707		
Total	12	3823.672			

ตารางที่ จ11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค ≤0.063 มิลลิเมตร , 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	3	97.415	32.472	97.421	0.000
Block	2	12.666	6.333	19.000	0.003
Error	6	2.000	0.333		
Total	12	1059.82			

ตารางที่ จ12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค ≤0.063 มิลลิเมตร , 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	3	45.503	15.168	16.232	0.003
Block	2	14.927	7.463	7.987	0.020
Error	6	5.607	0.934		
Total	12	101229.6			

ตารางที่ จ13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค ≤0.063 มิลลิเมตร , 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	3	1234.097	411.366	1989.763	0.000
Block	2	0.219	0.109	0.529	0.614
Error	6	1.240	0.207		
Total	12	4017.176			

ตารางที่ จ14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดอนุภาค ≤ .063 มิลลิเมตร 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	2	10.574	5.287	3.375	0.100
Block	2	11.888	5.944	3.794	0.119
Error	4	6.267	1.567		
Total	9	55995.671			

ตารางที่ จ15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Time	2	0.008	0.004	17.569	0.000
Volume	2	0.123	0.061	262.870	0.000
Time x Volume	4	0.005	0.001	6.097	0.003
Error	18	0.004	0.000		
Total	36	2.524			

ตารางที่ จ16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Time	2	2.674	1.337	77.410	0.000
Volume	2	24.058	12.029	696.409	0.000
Time x Volume	4	0.418	0.104	6.049	0.003
Error	18	0.311	0.017		
Total	36	857.974			

ตารางที่ จ17 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Time	2	5.286	2.643	5.991	0.010
Volume	2	588.154	294.077	666.579	0.000
Time x Volume	4	0.091	0.023	0.052	0.995
Error	18	7.941	0.441		
Total	36	7503.102			

ตารางที่ จ18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Time	2	0.310	0.155	1.771	0.199
Volume	2	43.912	21.956	250.660	0.000
Time x Volume	4	0.086	0.021	0.247	0.908
Error	18	1.577	0.087		
Total	36	1574.730			

ตารางที่ จ19 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Time	2	11.784	5.892	6.768	0.006
Volume	2	57.041	28.520	32.761	0.000
Time x Volume	4	0.029	0.007	0.008	1.000
Error	18	15.670	0.871		
Total	36	255766.1			

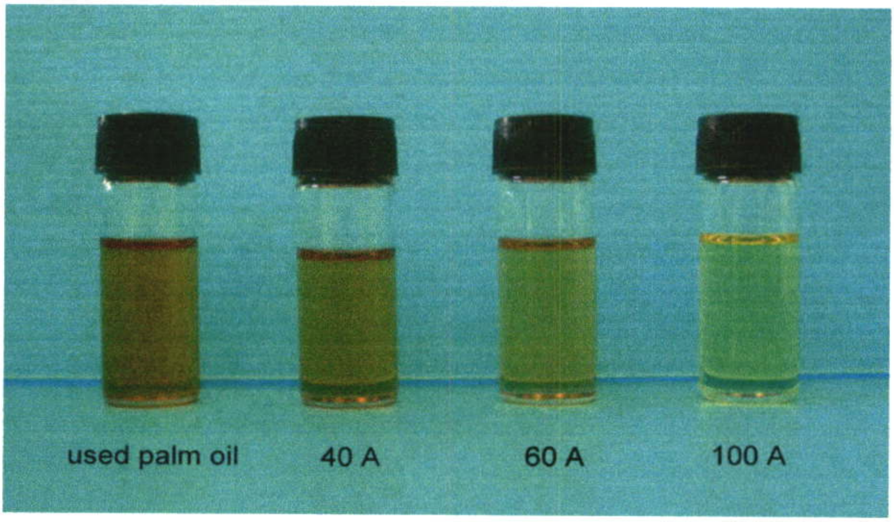
ตารางที่ จ20 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Time	2	20.251	10.125	13.402	0.000
Volume	2	400.256	200.128	264.892	0.000
Time x Volume	4	6.181	1.545	2.045	0.131
Error	18	13.599	0.756		
Total	36	9475.143			

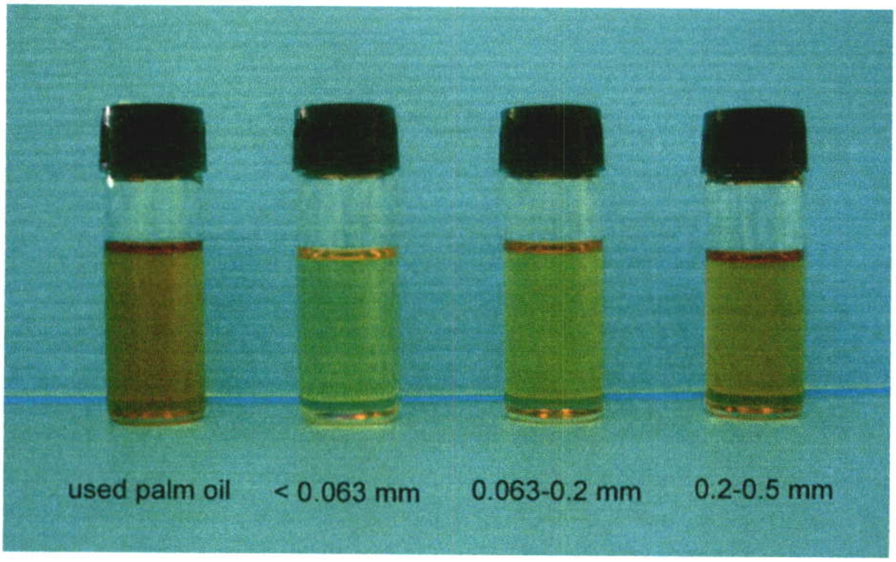
ตารางที่ จ21 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิลิกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Time	2	41.464	20.732	1.955	0.197
Volume	2	2073.765	1036.883	97.758	0.000
Time x Volume	4	12.982	3.246	0.306	0.867
Error	18	95.460	10.607		
Total	36	93741.500			

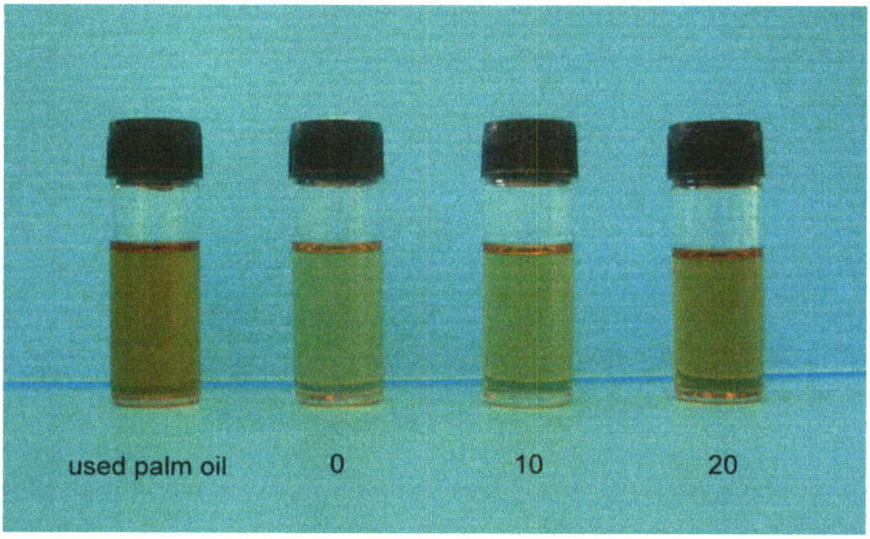
ภาคผนวก ฉ



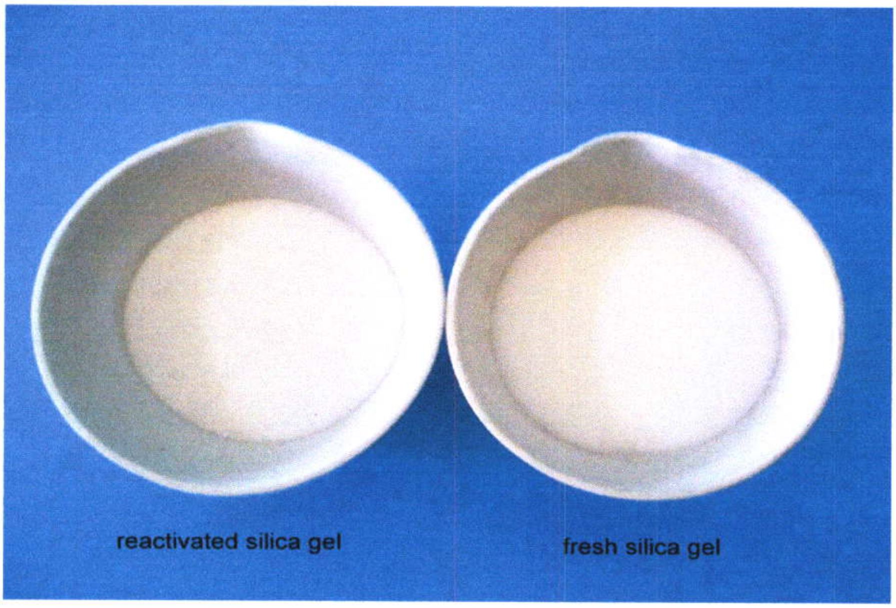
ภาพที่ ฉ1 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม



ภาพที่ ฉ2 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค ≤ 0.063 , 0.063 – 0.2 และ 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร



ภาพที่ ฉ3 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารหลังผ่านการปรับปรุงด้วยซิลิกาเจลที่ผ่านการเผาครั้งที่ 0 , 10 และ 20



ภาพที่ ฉ4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผา 20 ครั้ง

ประวัติผู้เขียน

นางสาววริศรา จิวะชาติ เกิดวันที่ 20 มกราคม พ.ศ. 2524 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ.กรุงเทพฯ ปีการศึกษา 2545 ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารในปี พ.ศ. 2546 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ.2548