

**รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์**

เรื่อง

**การใช้สารดูดซับซิติกาเจลในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน  
ที่ผ่านการทอดอาหาร**



RCH  
TP  
684  
.P3  
พ 485ก

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

79677

10 ส.ย. 2551

โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2549  
ผ่านบัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง  
118๙51๕๙

## บทคัดย่อ

กระบวนการดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหาร ซิลิกาเจลเป็นสารดูดซับชนิดหนึ่งในจำนวนสารดูดซับหลายๆชนิดที่มีประสิทธิภาพดี การทดลองเพื่อศึกษาผลของขนาดรูพรุน และขนาดอนุภาคของสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร เพื่อเลือกขนาดรูพรุนและอนุภาคที่เหมาะสม พบว่าขนาดรูพรุนใหญ่ (100 อังสตรอม) และขนาดอนุภาคเล็ก ( $\leq 0.063$  มิลลิเมตร ) ช่วยในการปรับปรุงสีของน้ำมันได้อย่างชัดเจน ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม สามารถปรับปรุงคุณภาพทั้งกายภาพและเคมีของน้ำมันได้ดีกว่าที่ขนาดรูพรุน 40 และ 60 อังสตรอม แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำมันที่ปรับปรุงโดยใช้ซิลิกาเจลที่ขนาดรูพรุน 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

การศึกษาผลของเวลาในการดูดซับ และปริมาณซิลิกาเจลที่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร พบว่าการเพิ่มปริมาณซิลิกาเจลทำให้น้ำมันมีการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีดีขึ้น การใช้ปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจล 30 % เป็นปริมาณที่เหมาะสม และเมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นจาก 10 นาทีเป็น 20 และ 30 นาที พบว่ามีผลต่อการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันเล็กน้อย และการเพิ่มเวลาในการดูดซับไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ได้ภายหลังการดูดซับ

การศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับซิลิกาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสารในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร พบว่าเมื่อมีการนำซิลิกาเจลกลับมาใช้เป็นจำนวน 20 ครั้งทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารของซิลิกาเจลต่อคุณสมบัติด้านต่างๆลดลงประมาณ 27 – 52 % จึงทำให้การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทั้งทางเคมีและกายภาพลดลง

## 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 Å) and particle sizes ( $\leq 0.063$ , 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 Å regenerated used frying oil both chemical and physical properties more effective than 40 and 60 Å. But it was not statistically significant difference from silica gel 60 Å. The small particle size ( $\leq 0.063$  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 has a little effect on regeneration of used oil. The yield of regenerated oil was 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.

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญตาราง.....	V
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 สารดูดซับซลิคาเจล.....	12
2.6 ข้อจำกัดของการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารกลับมาใช้ตามกฎหมาย.....	16
2.7 ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของน้ำมันทอด.....	17
2.8 การใช้สารดูดซับในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหาร.....	20
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....	23
3.1 วัตถุประสงค์และสารดูดซับซลิคาเจล.....	23
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ III เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 สารเคมี.....	23
3.4 สถานที่ทำการทดลอง.....	24
3.5 วิธีการทดลอง.....	24
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....</b>	<b>27</b>
4.1 วิเคราะห์คุณภาพน้ำมันปาล์มผ่านการทอดและไม่ผ่านการทอดอาหาร.....	27
4.2 ศึกษาผลของขนาดรูพรุนของสารดูดซับซัลฟิดาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร.....	29
4.3 ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของสารดูดซับซัลฟิดาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร.....	32
4.4 ศึกษาผลของเวลาในการดูดซับสารและปริมาณสารดูดซับซัลฟิดาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร.....	36
4.5 ศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับซัลฟิดาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสารในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร.....	41
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....</b>	<b>44</b>
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>46</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>49</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม.....	3
2.2 ชนิดของสารประกอบที่เกิดขึ้นในน้ำมันทอดอาหารและผลต่อสุขภาพ หลังการบริโภค.....	11
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของซลิกาเจล.....	13
2.4 ข้อกำหนดของการนำน้ำมันทอดอาหารกลับมาใช้อีกตามกฎหมายในแต่ละประเทศ.....	17
4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดไก่จากตลาดหัวตะเข้ และน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ผ่านการทอดอาหาร.....	28
4.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้ สารดูดซับซลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม.....	30
4.3 เปอร์เซ็นต์การลดลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุง ด้วยสารดูดซับซลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม.....	31
4.4 เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม.....	32
4.5 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารยังไม่ได้นำมาผ่าน การใช้สารดูดซับซลิกาเจลและที่ผ่านการใช้สารดูดซับซลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ มิลลิเมตร, $0.063 - 0.2$ มิลลิเมตร และขนาด $0.2 - 0.5$ มิลลิเมตร.....	34
4.6 เปอร์เซ็นต์การลดลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุง ด้วยสารดูดซับซลิกาเจลขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ , $0.063 - 0.2$ และ $0.2 - 0.5$ มิลลิเมตร.....	35
4.7 เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซลิกาเจลที่มีขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ มิลลิเมตร $0.063 - 0.2$ มิลลิเมตร และขนาด $0.2 - 0.5$ มิลลิเมตร.....	35
4.8 เปอร์เซ็นต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซลิกาเจลโดยใช้เวลาในการ ดูดซับและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	40

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของค่า.....	49
ก2 การคาลิเบรทเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	56
ข1 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่าน การใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน.....	58
ข2 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่าน การใช้ สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน.....	58
ข3 ค่าพาราแอนนิซิคีนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่าน การใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน.....	59
ข4 ค่าสารประกอบมีขี้ขั้วของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่าน การใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน.....	59
ข5 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่าน การใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน.....	59
ข6 ค่าสีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้ สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน.....	60
ข7 น้ำหนักของน้ำมันปาล์มที่ได้หลังจากผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจล ขนาดรูพรุนต่างกัน.....	60
ข8 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่าน การใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน.....	60
ข9 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่าน การใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน.....	61
ข10 ค่าพาราแอนนิซิคีนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่าน การใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข11 ค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน.....	61
ข12 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน.....	60
ข13 ค่าสีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน.....	62
ข14 น้ำหนักของน้ำมันปาล์มที่ได้หลังจากผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน.....	62
ข15 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	63
ข16 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	63
ข17 ค่าพาราแอนนิซิทินของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	63
ข18 ค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	64
ข19 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	64
ข20 ค่าสีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	64
ข21 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	65

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค1	66
ค2	66
ค3	66
ค4	67
ค5	67
ค6	67
ค7	68
ค8	68
ค9	68
ค10	69
ค11	69

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค12 เฟอร์นิเจอร์ การลดลงของค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซัลฟิดาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน.....	69
ง1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและยังไม่ได้ปรับปรุงซึ่งนำมาใช้ศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับซัลฟิดาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสารประกอบ.....	70
ง2 ประสิทธิภาพการดูดซับกรดไขมันอิสระที่เปลี่ยนแปลงไปของซัลฟิดาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง.....	71
ง3 ประสิทธิภาพการดูดซับค่าเปอร์ออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงไปของซัลฟิดาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง.....	71
ง4 ประสิทธิภาพการดูดซับค่าพาราแอนนิคินที่เปลี่ยนแปลงไปของซัลฟิดาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง.....	72
ง5 ประสิทธิภาพการดูดซับค่าสารประกอบมีซิวที่เปลี่ยนแปลงไปของซัลฟิดาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง.....	72
ง6 ประสิทธิภาพการดูดซับค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปของซัลฟิดาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง.....	73
ง7 ประสิทธิภาพการดูดซับค่าสีที่เปลี่ยนแปลงไปของซัลฟิดาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง.....	73
ง8 เฟอร์นิเจอร์น้ำมันที่ได้หลังการนำซัลฟิดาเจลกลับมาใช้เป็นจำนวน 20 ครั้ง.....	74
จ1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิดาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิดาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม.....	75

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิติกเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิติกเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม.....	75
จ3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพาราแอนนิซินของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิติกเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิติกเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม.....	76
จ4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสารประกอบมีซิวของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิติกเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิติกเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม.....	76
จ5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิติกเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิติกเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม.....	76
จ6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิติกเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิติกเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม.....	77
จ7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซัลฟิติกเจลที่มีขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม.....	77
จ8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิติกเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิติกเจลขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ มิลลิเมตร, $0.063 - 0.2$ มิลลิเมตร และขนาด $0.2 - 0.5$ มิลลิเมตร.....	77
จ9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิติกเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิติกเจลขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ มิลลิเมตร, $0.063 - 0.2$ มิลลิเมตร และขนาด $0.2 - 0.5$ มิลลิเมตร.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพาราแอนนิซิตินของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ มิลลิเมตร , $0.063 - 0.2$ มิลลิเมตร และขนาด $0.2 - 0.5$ มิลลิเมตร.....	78
จ11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสารประกอบมีขี้ผึ้งของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ มิลลิเมตร , $0.063 - 0.2$ มิลลิเมตร และขนาด $0.2 - 0.5$ มิลลิเมตร.....	78
จ12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ มิลลิเมตร , $0.063 - 0.2$ มิลลิเมตร และขนาด $0.2 - 0.5$ มิลลิเมตร.....	79
จ13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ มิลลิเมตร , $0.063 - 0.2$ มิลลิเมตร และขนาด $0.2 - 0.5$ มิลลิเมตร.....	79
จ14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิติกาเจลที่มีขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ มิลลิเมตร $0.063 - 0.2$ มิลลิเมตร และขนาด $0.2 - 0.5$ มิลลิเมตร.....	79
จ15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	80
จ16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	80
จ17 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพาราแอนนิซิตินของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	80
จ18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสารประกอบมีขี้ผึ้งของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	81

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ19 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซลิคาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	81
จ20 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซลิคาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	81
จ21 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซลิคาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน.....	82

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การเกิดปฏิกิริยาออกโตออกซิเดชัน.....	6
2.2 การเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน.....	7
2.3 การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.....	8
2.4 การเกิดสารอะโครเลอิน.....	9
2.5 การเกิดสารประกอบต่างๆ ในน้ำมันทอด.....	10
2.6 ลักษณะรูพรุนของซลิกาเจล.....	12
2.7 พันธะและหมู่ฟังก์ชันต่างๆของซลิกาเจล.....	14
4.1 การเปลี่ยนแปลงของค่ากรดไขมันอิสระที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม.....	37
4.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม.....	37
4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าพาราแอนนิซิดินที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม.....	38
4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่าสารประกอบมีซิวที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม.....	38
4.5 การเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม.....	39
4.6 การเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่เวลาในการกวน10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซลิกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม.....	39
4.7 ประสิทธิภาพการดูดซับสารของสารดูดซับซลิกาเจลที่เปลี่ยนแปลงไป.....	42
4.8 ปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการนำซลิกาเจลกลับมาใช้เป็นจำนวน 20 ครั้ง.....	43
ฉ1 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วย สารดูดซับซลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม.....	83

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ฉ2 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซัลฟิคาเจลดขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ , $0.063 - 0.2$ และ $0.2 - 0.5$ มิลลิเมตร.....	83
ฉ3 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารหลังผ่านการปรับปรุงด้วยซัลฟิคาเจสที่ผ่านการเผาครั้งที่ 0, 10 และ 20.....	84
ฉ4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของซัลฟิคาเจสหลังผ่านการเผา 20 ครั้ง.....	84

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันทั่วโลกมีปริมาณการผลิตน้ำมันพืช 60 ล้านตันต่อปี (Miyagi และ Nakajima , 2003) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการนำน้ำมันไปใช้ในการทอดอาหาร ดังนั้นในแต่ละวันจึงมีปริมาณน้ำมันเสื่อมเสียที่เกิดจากการทอดอาหารเป็นจำนวนมาก ในปัจจุบันมีการนำน้ำมันที่เสื่อมเสียเหล่านี้ไปรีไซเคิลเพื่อใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมสบู่ และน้ำมันหล่อลื่น ระหว่างการทอดอาหารเมื่อน้ำมันสัมผัสกับอุณหภูมิสูง น้ำและออกซิเจน ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ คือปฏิกิริยาโพลีเมไรเซชัน ออกซิเดชัน และไฮโดรไลซิส มีผลทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสียและเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเพิ่มปริมาณของสารประกอบมีขี้ตัวต่างๆ เช่น ปริมาณกรดไขมันอิสระ สารโพลีเมอร์ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ อัลดีไฮด์และคีโตน ส่วนการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน ได้แก่ การเกิดฟอง ความหนืดเพิ่มขึ้น และการเกิดสีดำน ซึ่งระดับการเปลี่ยนแปลงจะมากหรือน้อยขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น วิธีการในการทอดอาหาร ชนิดของอาหารที่นำมาทอด คุณภาพของน้ำมันที่นำมาใช้ทอดและสภาวะในการทอด จึงเห็นว่าน้ำมันหลังจากผ่านการทอดอาหารแล้วจะมีสมบัติทางเคมีและกายภาพเปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดสารประกอบต่างๆ ในระหว่างการทอดซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้ น้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารแล้วมักไม่นิยมนำมาใช้ทอดอาหารอีก แต่ในทางการค้าและอุตสาหกรรมเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนจึงมักนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารแล้วกลับมาใช้ทอดอีก ทำให้ผู้บริโภคได้รับอันตรายจากสารประกอบต่างๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำมัน

ดังนั้นจึงมีการศึกษาและทดลองหาวิธีในการลดปริมาณสารประกอบที่เป็นอันตรายเพื่อยืดอายุและรักษาคุณภาพของน้ำมันทอด วิธีหนึ่งที่มีความสนใจอย่างมาก คือ การใช้สารดูดซับเพื่อดูดซับสารประกอบต่างๆ ซึ่งมีการศึกษาวิจัยพบว่า การใช้สารดูดซับซิลิกาเจลสามารถลดปริมาณสารประกอบมีขี้ตัวต่างๆ ปรับปรุงสีและคุณภาพของน้ำมันให้ดีขึ้นได้ ในการทดลองครั้งนี้จึงศึกษาความเหมาะสมของ

การใช้สารดูดซับ ซิลิกาเจลในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทอดอาหาร ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น นำกลับมาบริโภคหรือใช้เป็นน้ำมันไบโอดีเซล

## 1.2 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาระดับความเหมาะสมของการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร โดยศึกษาผลของขนาดรูพรุนและขนาดอนุภาคของสารดูดซับซิลิกาเจล เวลาที่ใช้ในการกวนให้สารดูดซับซิลิกาเจลสัมผัสกับน้ำมัน ปริมาณของสารดูดซับซิลิกาเจลที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร และประสิทธิภาพของสารดูดซับซิลิกาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสารในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

## 1.3 วัตถุประสงค์

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

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำมันปาล์ม

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นในตระกูล Palmaceae มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Elaeis quincensis* และมีชื่อสามัญว่า African oil palm ซึ่งน้ำมันปาล์มได้จากการนำผลปาล์มเข้าเครื่องบีบอัดเพื่อทำการสกัดน้ำมันแล้วจึงนำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้ไปกลั่นเพื่อให้ได้น้ำมันพืช (ปาล์ม) ที่มีความบริสุทธิ์ น้ำมันที่สกัดได้จากผลปาล์มสดมี 2 ชนิด คือ ชนิดที่สกัดได้จากชั้นของผล เรียกว่า น้ำมันปาล์ม (palm oil) และที่สกัดได้จากชั้นของเนื้อในเมล็ด เรียกว่า น้ำมันเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) ซึ่งในส่วนนี้ไม่นิยมนำมาบริโภคเนื่องจากมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงถึง 85% น้ำมันปาล์มบริโภคประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวคั่งแสดงในตารางที่ 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
กรดปาล์มิติก	C16:0	41.8-16.8	44.0
กรดปาล์มิโตเลอิก	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
กรดอาราซิดิก	C 20:0	0.2-0.7	0.4

หมายเหตุ C 12:0 หมายถึงกรดไขมันที่มีจำนวน C12 อะตอมไม่มีพันธะคู่ C 16:1 หมายถึงกรดไขมันที่มีจำนวน C 16 อะตอม มีพันธะคู่ 1 พันธะ

ที่มา : Hamilton (1995)

จากตารางที่ 2.1 พบว่าน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบ คือ กรดไขมันชนิดอิ่มตัว และ ชนิดไม่อิ่มตัวอย่างละประมาณร้อยละ 50 ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 พันธะ (monosaturated) มีประมาณร้อยละ 40 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2 พันธะ (diunsaturated) ประมาณร้อยละ 10

องค์ประกอบอื่นๆของน้ำมันปาล์มคิบบมีอยู่ประมาณร้อยละ 1 ได้แก่ แคโรทีนอยด์ (carotenoids) โทโคเฟอรอล (tocopherols) โทโคไตรอีนอล (tocotrienols) สเตอรอล (sterols) ฟอสโฟลิพิด (phospholipids) ไกลโคลิพิด (glycolipids) เทอพินิก (Terpenic) อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbons) และสิ่งเจือปนอื่นๆ

ในกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มให้บริสุทธิ์มีจุดประสงค์สำคัญเพื่อให้ได้น้ำมันบริสุทธิ์ที่ใส มีสีอ่อน ปริมาณของกรดไขมันอิสระต่ำกว่าร้อยละ 0.1 วิธีที่ดีที่สุดคือการกลั่นทางกายภาพ (physical refining) โดยกำจัดสารเหนียว (gum) ของน้ำมันปาล์มด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ตามด้วยการกำจัดสิ่งเจือปนอื่นๆ ด้วยดินฟอกสี (bleaching earth) ซึ่งทำหน้าที่เป็น cleaning agent เช่น กำจัดสารเหนียว กรดฟอสฟอริก โลหะต่างๆ เช่น เหล็ก ทองแดง สารประเภทเปอร์ออกไซด์ จากนั้นกำจัดกลิ่น และกรดไขมันอิสระ องค์ประกอบอื่นๆ เช่น โทโคเฟอรอล โทโคไตรอีนอล สเตอรอล ไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบคาร์บอนิล ก็จะถูกกำจัดออกด้วย

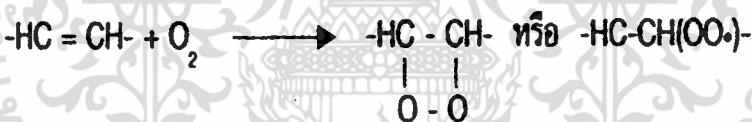
น้ำมันปาล์มมีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิ 30°C แต่เมื่อเข้าสู่กระบวนการแยกลำดับส่วน (fractionation) น้ำมันปาล์มจะถูกแยกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นของแข็ง เรียกว่า ปาล์มสเตียร์น (palm stearin) และส่วนที่เป็นของเหลว เรียกว่า ปาล์มโอเลอิน (palm olein) ในอัตราส่วน 3 ต่อ 7

เมื่อเปรียบเทียบน้ำมันบริสุทธิ์ที่ใช้ทอดอาหารเช่น น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์มโอเลอิน พบว่าการทอดอาหารที่อุณหภูมิ 180°C น้ำมันปาล์มโอเลอินมีสมบัติดีกว่าน้ำมันบริสุทธิ์อื่นๆเนื่องจากน้ำมันปาล์มโอเลอินมีกรดไลโนเลนิก และกรดไลโนเลอิกซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันง่าย ในปริมาณต่ำและยังมีโทโคเฟอรอลซึ่งเป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ที่จะช่วยทำให้อาหารที่ทอดด้วยน้ำมันปาล์มสามารถเก็บไว้ได้นาน (นิรมล, 2547)

## 2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันในระหว่างการทอดอาหาร

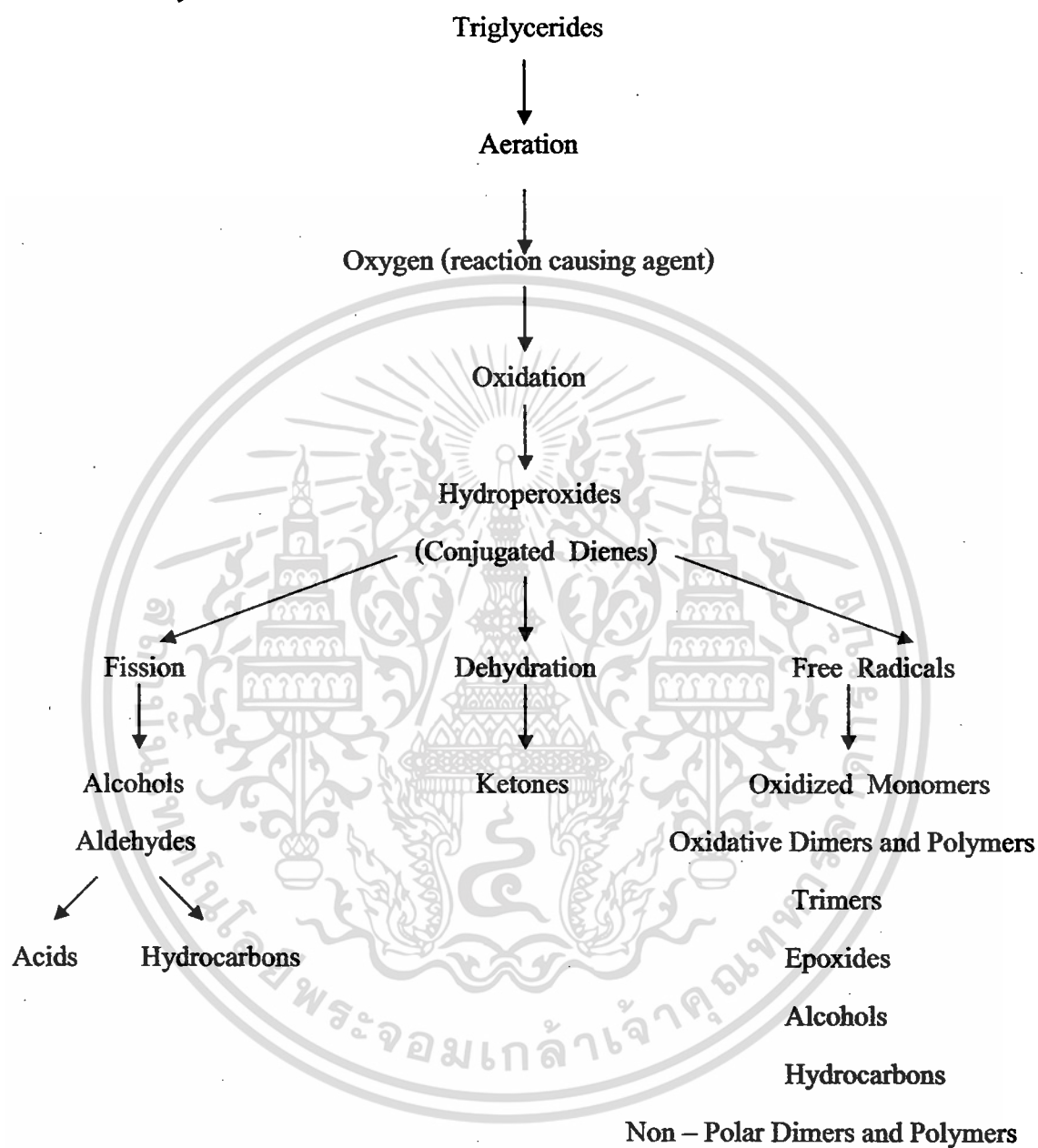
น้ำมันทั่วไปมีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ประมาณ 96–99% ซึ่งในระหว่างการทอดอาหาร น้ำมันนั้นได้รับความร้อนสูงถึง 160–180°C มีการสัมผัสกับออกซิเจนและน้ำ จึงมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเกิดสารประกอบมากกว่า 400 ชนิด นำไปสู่การเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดอาหาร เช่น จุดมีควันต่ำลง สีเข้มขึ้น กลิ่นรสเปลี่ยนไป ฟองมากขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้น กรดไขมันอิสระ สารโพลาร์และโพลีเมอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะไปมีผลต่อคุณภาพของอาหารที่นำมาทอด (Paul and Mittal, 1997)

2.2.1 การเกิดออกซิเดชัน (autooxidation) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่องตลอดเวลาเมื่อไขมันหรือน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ โดยเกิดที่บริเวณพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นการต่อแบบเปอร์ออกไซด์ (peroxide linkage) ขึ้นระหว่างพันธะคู่ดังแสดงในสมการ



ทำให้เกิดกลิ่นหืนในไขมันและน้ำมันบริโภค กลิ่นหืนที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า oxidative rancidity และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้เกิดสารประกอบหลายชนิดดังภาพที่ 2.1

อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่อไขมันหรือน้ำมันได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้น มีการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ได้รับแสงและสัมผัสกับวัตถุที่เป็นโปรออกซิแดนท์ (prooxidant) เช่น ทองแดง ทองเหลือง ตะกั่ว ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น การเกิดการหืนโดยปฏิกิริยานี้ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกายถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมันและน้ำมันลดลงด้วย และยังทำลายพาวิตามินต่างๆที่ละลายในไขมันและน้ำมันได้อีกด้วย (นิริยา, 2545)

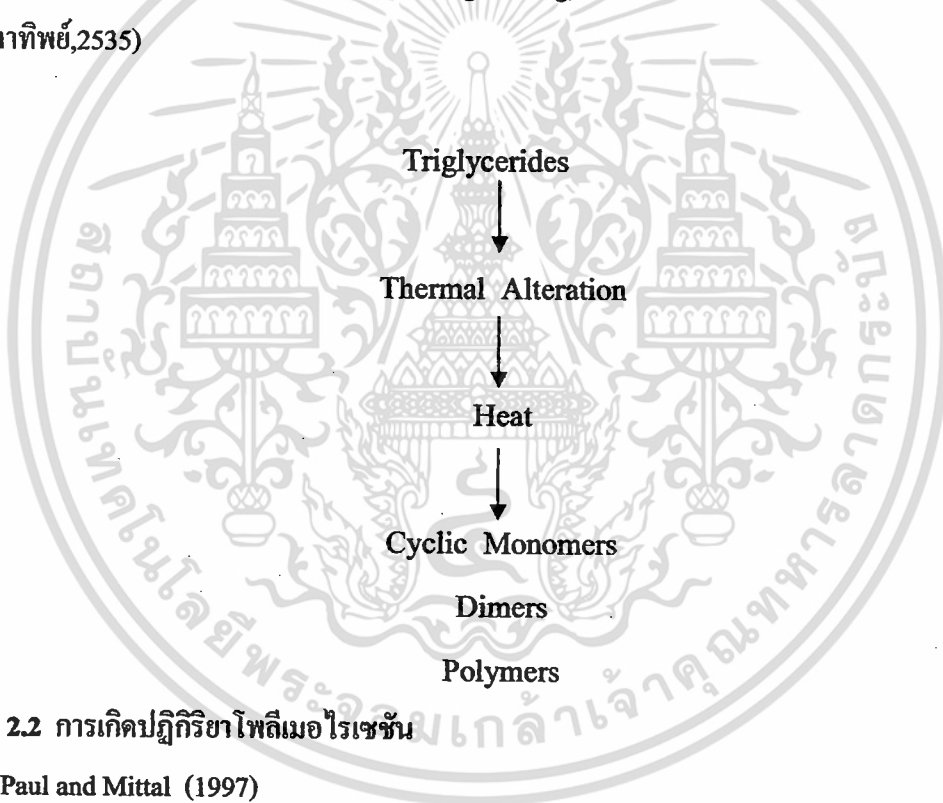


ภาพที่ 2.1 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ที่มา : Paul and Mittal (1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การเกิดโพลิเมอร์ด้วยความร้อน (polymerization) ที่อุณหภูมิ 200 – 300 องศาเซลเซียสในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน ไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสามารถมารวมตัวกันเกิดเป็นโพลิเมอร์ ดังภาพที่ 2.2 โดยมีการเกิดพันธะใหม่ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนโดยไม่มีอะตอมของออกซิเจนในโมเลกุลไขมัน ถ้าพันธะเหล่านี้เกิดขึ้นในกรดไขมัน 1 โมเลกุล จะทำให้เกิดกรดไขมันแบบต่อกันเป็นวง (cyclic fatty acid) ถ้าเกิดพันธะระหว่างกรดไขมัน 2 โมเลกุล อาจเกิดภายในโมเลกุลเดียวกันหรือระหว่างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้เกิดกรดไดเมอร์ (dimers) และถ้าเกิดพันธะข้ามระหว่างโมเลกุลเหล่านี้ต่อไปก็ทำให้เกิดโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นอีก ซึ่งจะทำให้ไขมันมีการเกิดฟอง (foaming) มากขึ้นและมีการเกิดสารเหนียว (gumming) แสดงให้เห็นว่าไขมันมีการเสื่อมคุณภาพ (มณฑาทิพย์, 2535)



ภาพที่ 2.2 การเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน

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

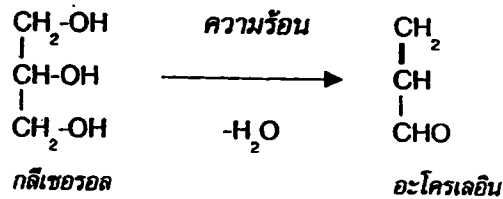
อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขึ้นอยู่กับ

1. ปริมาณของน้ำที่เพิ่มเข้าไปในน้ำมันทอด ถ้ามีปริมาณน้ำมากขึ้นจะเกิดเร็วขึ้น
2. อุณหภูมิของน้ำมันทอด อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดมากขึ้น
3. อัตราการเติมน้ำมันแทนที่น้ำมันที่ใช้ที่หายไปในช่วงการทอด หากมีการแทนที่น้ำมันที่ใช้แล้วด้วยน้ำมันใหม่มากขึ้น อัตราการเกิดจะน้อยลง
4. กาก และเศษอาหารที่สะสมในเตาทอด ถ้ามีเศษอาหารสะสมในเตาทอดมากจะทำให้อัตราการเกิดมากขึ้นด้วย



ภาพที่ 2.3 การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ที่มา : Paul and Mittal (1997)



ภาพที่ 2.4 การเกิดสารอะโครลีน

ที่มา : นิธิยา (2545)

### 2.3 สารประกอบที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดอาหาร

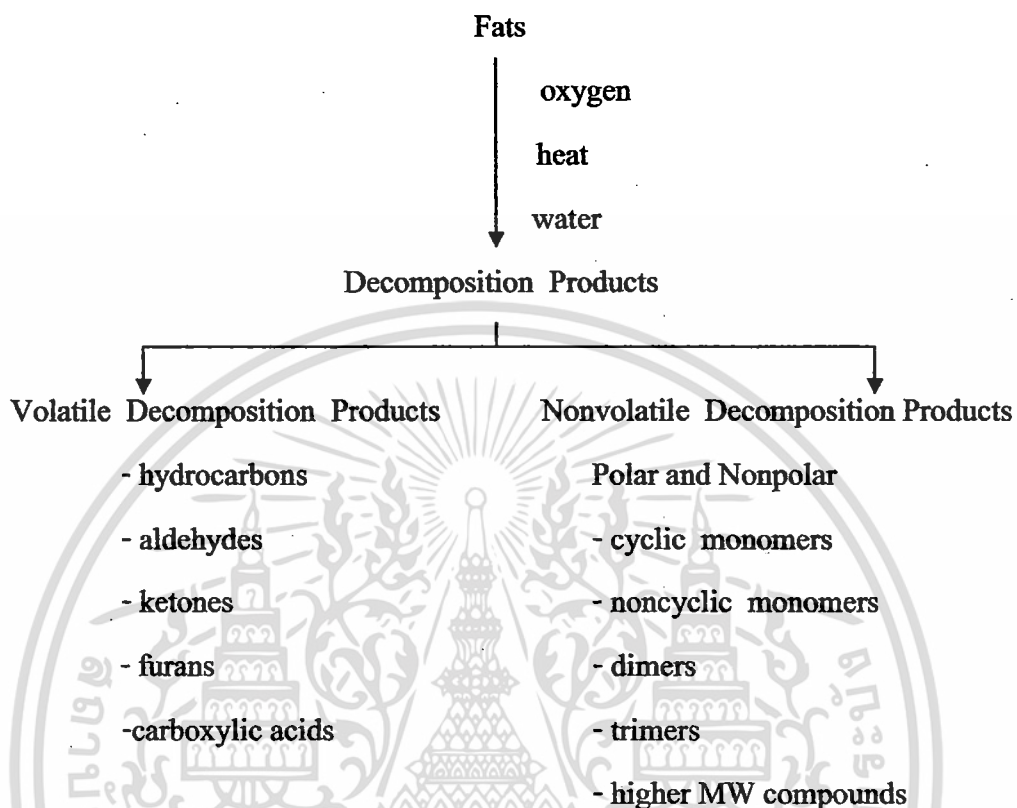
ในระหว่างการทอดอาหารเมื่อมีการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีแล้วจะทำให้ได้สารประกอบต่างๆ มากมาย ดังภาพที่ 2.5 ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

#### 2.3.1 สารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ (Volatile decomposed products)

การสลายตัวของกรดไขมันในน้ำมันทอดจะส่งผลต่อการเกิดสารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ และมีผลต่อกลิ่นรสของอาหารทอด สารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ เช่น ไฮโดรคาร์บอน(hydrocarbon) คีโตน(ketone) อัลดีไฮด์(aldehyde) กรดคาร์บอกซิลิก(carboxylic acid) เป็นต้น ซึ่งสารประกอบกลุ่มนี้มีผลต่อกลิ่นรสของอาหารทอด

#### 2.3.2 สารประกอบสลายตัวที่ไม่ระเหย (Nonvolatile decomposed products)

สารเหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดออกซิเดชัน และโพลีเมอไรเซชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมัน สารประกอบสลายตัวที่ไม่ระเหย เช่น โมโนเมอร์แบบวง (cyclic monomer) โมโนเมอร์ไม่ใช่วง (noncyclic monomer) ไดเมอร์ (dimer) ไตรเมอร์ (trimer) และสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สารที่ไม่ระเหยเหล่านี้ยังคงอยู่ในน้ำมันทอด และจะเสื่อมสลายต่อไปทุกครั้งที่ใช้น้ำมันนี้ทอดอาหารและอาหารจะดูดซึมสารเหล่านี้ไว้ หากใช้น้ำมันทอดซ้ำหลายๆครั้งทำให้เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น สะสมอยู่ในน้ำมันและไม่ระเหย ทำให้ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเปลี่ยนไป เช่น ความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดสีและฟอง ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น เกิดกรดไขมันอิสระ จำนวนกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลงและเกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (Stevenson et al., 1984)



ภาพที่ 2.5 การเกิดสารประกอบต่างๆ ในน้ำมันทอด

ที่มา : White (1991)

#### 2.4 ความเป็นพิษของสารประกอบที่เกิดขึ้นในน้ำมันขณะทอด

Kantorowitz and Yannai (1974) ศึกษาความเป็นพิษของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยทดลองเลี้ยงหนูพบว่าจะทำให้การเจริญเติบโตของหนูลดลง

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

Perkins and Lamboni (1998) ได้ทำการทดลองให้น้ำมันต่างชนิดกันเป็นอาหารแก่หนู ชนิดแรกเป็นน้ำมันใหม่ ชนิดที่สองเป็นน้ำมันที่ผ่านการทอดแล้ว และชนิดที่สามเป็นน้ำมันที่ผ่านการทอดและใช้สารดูดซับอลูมิเนียมซิลิเกต (aluminium silicate) ซึ่งเป็นสารที่สามารถดูดซับสารประกอบมีขั้ว (polar compound) ได้ นำน้ำมันทั้ง 3 ชนิดเติมลงในอาหารหนูประมาณ 15 % พบว่าหนูที่กินน้ำมันชนิดที่สามมีขนาดของตับเล็กกว่าซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังจากการใช้สารดูดซับแล้วน้ำมันจะมีสารประกอบที่เป็นอันตรายน้อยลง จากการทดลองต่างๆจะเห็นได้ว่าการบริโภคน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารจะมีผลต่อสุขภาพ เนื่องจากน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารแล้วมีสารประกอบที่เป็นอันตรายต่อร่างกายเกิดขึ้น เมื่อบริโภคเข้าไปจะไปมีผลต่อสุขภาพดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดของสารประกอบที่เกิดขึ้นในน้ำมันทอดอาหารและผลต่อสุขภาพหลังการบริโภค

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

คัดแปลงมาจาก : Riera และคณะ (2000)

## 2.5 สารดูดซับซิลิกาเจล

ซิลิกาเจล (silica gel) เป็นรูปหนึ่งของสารซิลิกาสังเคราะห์ (synthetic amorphous silica) มีสูตรทางเคมี คือ  $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  อยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์ซิลิกอนไดออกไซด์ (hydrous silicon dioxide) ซิลิกาเจลมีลักษณะเป็นของแข็งทรงกลม โครงสร้างภายในประกอบด้วยอนุภาคซิลิกาเชื่อมต่อกันเป็นร่างแห เรียกว่า micells ทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กอยู่มากมาย ซึ่งรูพรุนมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 – 10 nm คั่งรูปที่ 2.6 และมีพื้นที่ผิวประมาณ 300 – 1000  $\text{m}^2/\text{g}$   $\text{SiO}_2$  ซึ่งรูพรุนเหล่านี้สามารถเกิดแรงดึงดูดและกักเก็บน้ำ แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอนและสารเคมีอื่นๆ ได้ (Weinheim, 1999) ซิลิกาเจลเตรียมได้จากการทำให้เป็นกลาง (neutralization) ของซิลิเกต (aqueous alkali metal silicate) ด้วยกรดซัลฟูริก ดังนี้



ภาพที่ 2.6 แสดงลักษณะรูพรุนของซิลิกาเจล

ที่มา : Sewell และ Clarke (1991)

### 2.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาเจล

องค์ประกอบทางเคมีของสารดูดซับซิลิกาเจลโดยส่วนใหญ่ประกอบด้วย  $\text{SiO}_2$  ดังตารางที่ 2.3 รองลงมา คือ  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ตามลำดับ ส่วนพวก Trace oxides ได้แก่  $\text{CaO}$ ,  $\text{ZrO}_2$  และ  $\text{Na}_2\text{O}$

ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาเจล

สารประกอบ	ปริมาณ (%)
$\text{SiO}_2$	99.71
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0.10
$\text{TiO}_2$	0.09
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.03
Trace oxides	0.07

ที่มา : Weinheim (1999)

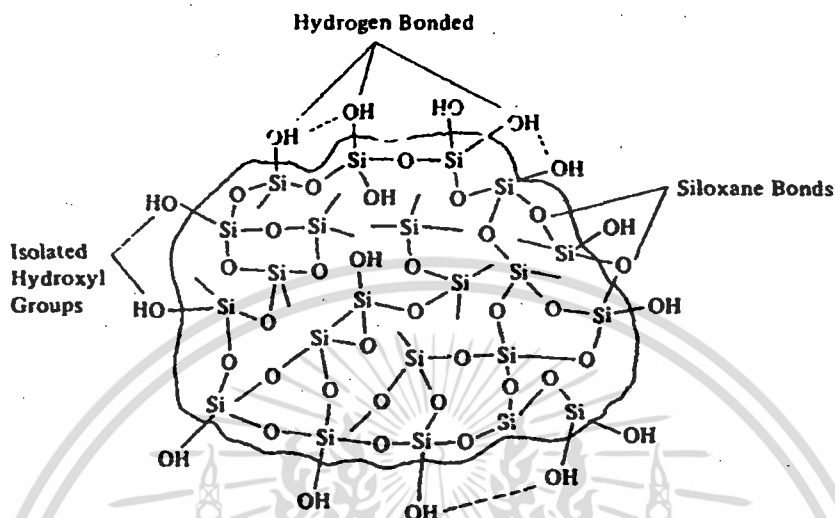
### 2.5.2 พันธะและหมู่ฟังก์ชันของซิลิกาเจล

พื้นผิวของซิลิกาเจลประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ (Robards, 1994) ดังนี้ ดังภาพที่ 2.7

1. หมู่ซิลานอล (silanol groups)- $\text{Si}(\text{OH})$ - มีคุณสมบัติเป็นกรดเล็กน้อยและเป็นหมู่ที่มีบทบาทสำคัญในการแยกสารเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่แอคทีฟ (active) สามารถเกิดอันตรกิริยาได้กับสารประกอบที่มีฟังก์ชันนอลกรุปที่มีขั้ว (polar functional group) เช่น น้ำและสารประกอบมีขั้วต่างๆ โดยไฮโดรเจนของหมู่ซิลานอลเกิดการฟอร์มพันธะไฮโดรเจนกับสารประกอบมีขั้ว ทำให้สามารถดูดซับสารประกอบเหล่านั้นได้

2. หมู่ซิลอกเซน (siloxane groups) ( $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$ ) มีอิทธิพลต่อการแยกสารน้อยมากหรือ ไม่มีเลย

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 แรงแวนเดอวาลส์ (Van der waals) หรือแรงไดโพล (dipole force) เอนทัลปีของการดูดซับทางกายภาพมีค่าประมาณ 20 กิโลจูลต่อโมลซึ่งมีค่าน้อยมาก

และพลังงานที่คายออกมาเทียบได้เท่ากับพลังงานที่ทำให้เกิดการสั่นของผลึก ไม่เพียงพอสต่อการสลายพันธะ

2. การดูดซับทางเคมี (chemisorption) เป็นการดูดซับที่แรงดึงดูดระหว่างผิวหน้าของของแข็งกับอนุภาค เกี่ยวข้องกับการสร้างพันธะเคมีโดยมากจะเกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ 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) การดูดซับจากสารละลายนี้จะเกี่ยวข้องกับการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งการดูดซับทั้งสองประเภทนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆกันไป (นิรมล, 2547)

#### 2.5.4 ประโยชน์ของสารดูดซับซิลิกาเจล

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

### 2.5.5 การนำสารดูดซับซิติกาเจลไปใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน

1. สารดูดความชื้น (desiccants) สารดูดซับซิติกาเจลสามารถดูดซับน้ำได้ดี
2. สารดูดซับ (adsorbents) นำไปใช้ดูดซับสารอื่นได้โดยเฉพาะสารที่มีขี้ ในทางอาหารมีการนำสารดูดซับซิติกาเจลมาใช้ดูดซับกลีเซอไรด์ในน้ำมัน หรือนำไปใช้ในงานด้านโครมาโตกราฟี
3. เป็นส่วนประกอบในยาสีฟัน (dentifric)
4. สารเคลือบผิว (coatings)
5. สารเร่งปฏิกิริยา (catalysts)

นอกจากนี้ในด้านความปลอดภัยยังพบว่าซิติกาเจลไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ โดยFDA ของสหรัฐอเมริกาให้การรับรองว่าสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ และพบว่าไม่ก่อให้เกิดอันตรายในระยะยาวด้วย (Weinheim , 1999)

### 2.6 ข้อจำกัดของการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารกลับมาใช้ตามกฎหมาย

โดยส่วนใหญ่น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้วมักจะมีสิ่งปนเปื้อนและสารประกอบเคมีที่เป็นอันตรายต่อร่างกายของผู้บริโภค แต่ในปัจจุบันได้มีการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารแล้วมารีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้อีก ซึ่งในการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารมารีไซเคิลนั้นในแต่ละประเทศจะต้องมีการควบคุมอย่างเข้มงวดโดยส่วนใหญ่ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำมันคือปริมาณของสารประกอบมีขี้ (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%	
Switzerland	<27%			<170°C		
Hungary	<30%					
Japan		<2.5		<170°C		

ที่มา : Riera และคณะ (2000)

## 2.7 ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของน้ำมันทอด

### 2.7.1 ปริมาณของสารประกอบมีขั้ว (polar compound)

สารประกอบมีขั้วเกิดจากสาร ไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีขั้วที่อยู่ในน้ำมันถูกไฮโดรไลซิส ออกซิไดซ์ และโพลิเมอร์ไรส์ได้สารประกอบมีขั้ว เช่นกรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์ ออกซิไดส์ไตรกลีเซอไรด์ ไซคลิกโมโนเมอร์ ไคเมอร์และโพลิเมอร์ของไตรกลีเซอไรด์ ไคเมอร์และโพลิเมอร์ที่ถูกออกซิไดส์ ดังนั้นสารประกอบมีขั้วจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพและการยอมรับของน้ำมันใช้แล้วในทุกประเทศ หากมีสารประกอบมีขั้วมากในน้ำมันทอดจะมี

79677

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลต่อกลิ่นรสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยทั่วไปจึงอนุญาตให้น้ำมันใช้แล้วมีปริมาณของสารประกอบมีขี้ไม่มากกว่า 25 -30 %

### 2.7.2 ค่าของกรด (acidity)

เป็นการวัดปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงการเกิดไฮโดรไลซิสของน้ำมัน ในระหว่างการทอดสามารถบ่งชี้ความเป็นกรดของน้ำมัน ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระมากทำให้น้ำมันมีจุดเกิดควันต่ำลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บสั้นลง

### 2.7.3 จุดเกิดควัน (smoke point)

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

### 2.7.4 ความหนืด (viscosity)

บ่งบอกถึงองค์ประกอบและชนิดของกรดไขมัน ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ใน โมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นและเมื่ออุณหภูมิของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่ความหนืดของน้ำมันทอดเพิ่มขึ้นนั้นมีผลมาจากในระหว่างการทอดมีการเกิดสาร โพลีเมอร์ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำมันมีความหนืดและเกิดฟองมากขึ้น ในประเทศเบลเยียมอนุญาตให้น้ำมันใช้แล้วที่จะนำมารีไซเคิลต้องมีความหนืดน้อยกว่า 27mPa-sec ที่อุณหภูมิ 50°C

### 2.7.5 สี (color)

เป็นตัวชี้บ่งคุณภาพของน้ำมัน น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสี น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม อาหารทุกชนิดที่ทอดจะให้สารพวก ฟอสเฟต และซัลเฟอร์ ซึ่งสารที่ออกมาเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำมันทอด ทำให้น้ำมันมีสีดำ และสะสมอยู่ในน้ำมันระหว่างการทอด เมื่อน้ำมันดำขึ้นหลังจากการทอด อาหารที่ทอดในน้ำมันนี้จะมีสีดำในอัตราที่รวดเร็วมากจนถึงจุดซึ่งอาหารที่ทอดจะดำเกิน ไปทั้งที่ยังไม่สุกหมด

### 2.7.6 ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)

เปอร์ออกไซด์เป็นสารปฐมภูมิที่เกิดขึ้นได้จากการออกซิเดชันของไขมัน การหาปริมาณสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในน้ำมันหรือไขมัน สามารถบ่งชี้ได้ว่าไขมันและน้ำมันเกิดการหืนเนื่องจากออกซิเดชันมากน้อยเท่าใด

### 2.7.7 ค่าพาราแอนนิซิดีน (p - anisidine)

เป็นการหาปริมาณสารอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ได้แก่ 2,4-dienals และ 2-alkenals เป็นต้น ซึ่งสารอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นเหล่านี้เป็นสารที่ให้กลิ่นหืน หากมีการพบสารเหล่านี้มากในน้ำมันทอดแสดงว่าน้ำมันมีการหืนมากและจะส่งผลกระทบต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหารทอด ทำให้มีกลิ่นรสที่ผิดปกติ

### 2.7.8 ปริมาณสารโพลีเมอร์ (polymer)

สารโพลีเมอร์เป็นสารที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน ในระหว่างการทอดอาหาร เกิดจากการที่โมเลกุลเล็กๆของน้ำมันมารวมตัวและจับตัวกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น เกิดเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้น้ำมันทอดมีการเกิดฟองมากขึ้นและมีการเกิดสารเหนียวที่ขอบเตาทอด ซึ่งเมื่อมีการเกิดฟองที่ผิวของน้ำมันระหว่างการทอดจะมีการสะสมเป็นชั้น ทำให้น้ำมันมีการแตกตัวและเสื่อมคุณภาพ ในการตรวจวัดควรตรวจวัดทั้ง ไคเมอร์และโพลีเมอร์ของไตรกลีเซอไรด์ที่ถูกออกซิไดส์และไม่ถูกออกซิไดส์

## 2.8 การใช้สารดูดซับในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหาร

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

Yates และ Caldwell (1993) ทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับสารประกอบมีขี้ของสารดูดซับ 8 ชนิด คือ activated carbon , acidic pH alumina , neutral pH alumina , basic pH alumina , bleaching earth , diatomaceous earth , magnesium silicate และ silica ซึ่งใช้ในการดูดซับสารประกอบมีขี้ที่ออกจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดมันฝรั่งจากร้านอาหาร โดยหลังจากนำน้ำมันทอดอาหารกรองด้วยสารดูดซับแล้ว จึงนำส่วนของสารดูดซับไปทำการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) เพื่อแยกสารประกอบมีขี้ต่างๆออกจากสารดูดซับ จากนั้นวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารประกอบมีขี้ด้วยวิธี high performance size exclusion chromatography (HPSEC) พบว่า magnesium silicate มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการดูดซับสารประกอบมีขี้ โดยสามารถดูดซับสารประกอบมีขี้ได้ 200 มิลลิกรัม/กรัม ส่วน diatomaceous earth มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารประกอบมีขี้ต่ำที่สุด โดยสามารถดูดซับสารประกอบ มีขี้ได้ 2 มิลลิกรัม/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) ศึกษาการใช้สารดูดซับร่วมกันในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดอาหารโดยสารดูดซับที่ใช้ 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 พบว่าการใช้สารดูดซับร่วมกัน 2 ชนิด คือ HB + Ma ช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำมันในด้านสีได้ดีกว่าการใช้สารดูดซับร่วมกัน 3 ชนิด และในการใช้สารดูดซับ 3 ชนิดร่วมกัน คือ HB + Ma + Br และ HB + Ma + Fr สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณสารประกอบมีขี้วี และปรับปรุงด้านสีได้ไม่แตกต่างกัน

Bheemreddy และคณะ (2002) ศึกษาผลของการใช้สารดูดซับที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำมัน โดยในการทดลองนำน้ำมันมาทอดเนื้อไก่ เป็นเวลา 10 วัน พร้อมกับการใช้สารดูดซับในการดูดซับสารต่างๆภายหลังการทอดทุกวัน ซึ่งน้ำมันที่ใช้ในการทอดไก่ คือ น้ำมันพืชคาโนลา และควบคุมสภาวะการทอดให้คล้ายกับการทอดอาหารในร้านอาหารทั่วไป สารดูดซับที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิด คือ hubesorb 600 (HB) , frypowder (Fr) และ magnasol (Ma) วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ การเปลี่ยนแปลงของสีและปริมาณสารประกอบมีขี้วีในน้ำมัน พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระลดลง 72% การเปลี่ยนแปลงของสีลดลง 52% และปริมาณสารประกอบมีขี้วีลดลง 30%

Miyagi และ Nakajima (2003)ศึกษาการใช้สารดูดซับในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันถั่วเหลืองที่ได้จากโรงอาหารและน้ำมันที่ใช้ในครัวเรือน สารดูดซับที่ใช้มี 4 ชนิด คือ silica gel , magnesium oxide , activated clay และ aluminum hydroxide gel โดยศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของสารดูดซับและวิธีการในการดูดซับที่เหมาะสม จากการทดลองพบว่าชนิดของสารดูดซับที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้คือสารดูดซับซิลิกาเจลเนื่องจากสามารถลดปริมาณสารประกอบมีขี้วี ปริมาณกรดไขมันอิสระ สี ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าพาราแอนนิซิตินได้มากกว่า50% และยังมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากที่สุด เมื่อพิจารณาปริมาณที่เหมาะสมของสารดูดซับซิลิกาเจล พบว่าเมื่อปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณสารประกอบมีขี้วี ปริมาณกรดไขมันอิสระ สี และความหนืดมีค่าลดลง เมื่อศึกษาวิธีการในการดูดซับพบว่าการใช้สารดูดซับแบบต่อเนื่อง (successive adsorption) silica gelจะมีความสามารถในการดูดซับสารประกอบมีขี้วีมากกว่าการใช้สารดูดซับแบบกะ (batch adsorption)

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการดูดซับสารของสารดูดซับซิลิกาเจลเมื่อมีการนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง 20 – 50%

Miyagi และคณะ (2003) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันในน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดแล้วโดยใช้วิธีการกระบวนการเยื่อกรอง(membrane processing)ซึ่งใช้เยื่อกรองคอมโพสิต (composite) แบบ NTGS-2200 และวิธีการกระบวนการดูดซับ (adsorption Processing) โดยใช้สารดูดซับซิลิกาเจล (silica gel) และแมกนีเซียมออกไซด์(magnesium oxide)ในปริมาณต่างๆกัน พบว่าในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยกระบวนการเยื่อกรองสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันได้โดยสามารถลดปริมาณสารประกอบมีขี้จุลินทรีย์ ค่าพาราแอนนิซิติน ค่าเปอร์ออกไซด์ได้ประมาณ 20 - 50 % และสามารถปรับปรุงสี และความหนืดได้มากกว่า 80 % แต่พบว่าไม่สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้เลย และเมื่อนำวิธีการกระบวนการดูดซับเข้าร่วมด้วยพบว่าสามารถลดปริมาณสารประกอบต่างๆได้ดียิ่งขึ้น โดยสามารถลดปริมาณสารประกอบมีขี้จุลินทรีย์ ค่าพาราแอนนิซิติน ค่าเปอร์ออกไซด์ ปริมาณกรดไขมันอิสระ สี และความหนืด ได้ประมาณ 20 - 110 % และยังพบว่าการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลร่วมกับการใช้สารแมกนีเซียมออกไซด์จะทำให้การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดีกว่าการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลเพียงชนิดเดียวหรือการใช้แมกนีเซียมออกไซด์เพียงชนิดเดียว

Cooke (2004) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของสารดูดซับในการดูดซับสารประกอบมีขี้จุลินทรีย์ 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 มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารประกอบมีขี้จุลินทรีย์มากที่สุด และ diatomaceous earth มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้อยที่สุด จากการตรวจสอบโดยวิธี TPD พบว่า diatomaceous earth ไม่มี acid adsorption sites และ basic adsorption sites ทำให้ไม่สามารถดูดซับสารประกอบมีขี้จุลินทรีย์ได้ และพบว่า magnesium silicate มี acid adsorption sites และ basic adsorption sites มากที่สุด จึงทำให้สามารถดูดซับสารประกอบมีขี้จุลินทรีย์ได้

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### 3.1 วัตถุประสงค์และสารดูดซับซิติกาเจล

3.1.1 น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่จากตลาดหัวตะเข้ ซึ่งเป็นไก่หมักด้วยซอสปรุงรส ซีอิ๊วขาว น้ำมันหอย รากผักชีกระเทียมพริกไทย และน้ำตาล แล้วนำไปชุบแป้ง จากนั้นจึงนำไปทอด

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

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

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

3.1.5 ซิติกาเจลขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม และขนาดอนุภาคน้อยกว่า 0.063 ม.ม.

3.1.6 ซิติกาเจลขนาดรูพรุน 60 อังสตรอมและขนาดอนุภาค 0.2 – 0.5 ม.ม.

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องแก้ว

3.2.2 กระจายกรองเบอร์ 1 และ เบอร์ 4

3.2.3 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

3.2.4 คอลัมน์แก้ว โครมาโตกราฟฟี

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 สารละลายฟีนอล์ฟธาลิน 1 % ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.3.4 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์
- 3.3.5 สารละลายโซเดียมโซโอซัลเฟต
- 3.3.6 สารละลายผสมอะเซติก : กลอโรฟอร์ม
- 3.3.7 สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต
- 3.3.8 สารละลายโพแทสเซียมพทาเลต
- 3.3.9 สารละลายปีโตรเลียมอีเทอร์
- 3.3.10 สารละลายกลอโรฟอร์ม
- 3.3.11 สารละลายไดเอธิลอีเทอร์
- 3.3.12 สารละลายกรดอะซิติก

### 3.4 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### 3.5 วิธีการทดลอง

#### 3.5.1 วิเคราะห์คุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่หุบแปง

นำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่หุบแปงไปกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อกำจัดเศษอาหาร 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 ศึกษาผลของขนาดรูพรุนของสารดูดซับซัลไฟด์ที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุง

#### คุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

ใช้ซัลไฟด์ที่มีขนาดอนุภาค 0.063-0.2 มิลลิเมตร ศึกษาปัจจัยของขนาดรูพรุนที่ต่างกัน โดยเลือกใช้ซัลไฟด์ที่มีขนาดรูพรุนต่างกัน คือ ขนาด 40, 60 และ 100 อังสตรอม นำซัลไฟด์จำนวน 15 กรัมผสมในน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารจำนวน 100 กรัม กวนให้เข้ากันเป็นเวลานาน 20 นาทีโดยใช้เครื่องกวนอย่างต่อเนื่อง นำไปกรองในชุดเครื่องกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 นำน้ำมันที่ผ่านการกรองมาวิเคราะห์ค่าเช่นเดียวกับข้อ 3.5.1 และหาปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการกรองโดยการชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลอง โดยใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

### 3.5.3 ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของสารดูดซับซัลไฟด์ที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุง

#### คุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

นำซัลไฟด์ที่มีขนาดรูพรุนเหมาะสมจากข้อ 3.5.2 มาศึกษาปัจจัยของขนาดอนุภาคที่ต่างกัน โดยเลือกใช้ซัลไฟด์ที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน คือ ขนาดอนุภาค  $\leq 0.063$  มิลลิเมตร ขนาด 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร นำซัลไฟด์จำนวน 15 กรัม ผสมในน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารจำนวน 100 กรัม กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 20 นาทีตลอดเวลาโดยใช้เครื่องกวน นำไปกรองในชุดเครื่องกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 นำน้ำมันที่ผ่านการกรองมาวิเคราะห์ค่าเช่นเดียวกับข้อ 3.5.1 และหาปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการกรองโดยการชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

### 3.5.4 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับสารและปริมาณสารดูดซับซิติกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

นำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารมาจำนวน 100 กรัม ใส่สารดูดซับซิติกาเจลที่มีขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนที่เหมาะสมจากข้อ 3.5.2 และ 3.5.3 โดยใช้สารดูดซับในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 10 , 20 และ 30 กรัม กวนโดยใช้เวลาในการกวนที่แตกต่างกัน คือ 10 , 20 และ 30 นาที โดยใช้เครื่องกวน นำไปกรองในชุดเครื่องกรองสุญญากาศใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วจึงนำน้ำมันที่ผ่านการกรองมาวิเคราะห์ค่าเช่นเดียวกับข้อ 3.5.1 และหาปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการกรอง โดยการชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของผลการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ Factorial Design

### 3.5.5 ศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับซิติกาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสารในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

นำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารจำนวน 100 กรัม ใส่สารดูดซับซิติกาเจลที่มีขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนที่เหมาะสมจากข้อ 3.5.2 และ 3.5.3 ในปริมาณและเวลาการกวนที่เหมาะสมจากข้อ 3.5.4 จากนั้นนำไปกรองในชุดเครื่องกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 4 และนำน้ำมันที่ผ่านการกรองมาวิเคราะห์ค่าเช่นเดียวกับข้อ 3.5.1 หาปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการกรองโดยการชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำสารดูดซับ ซิติกาเจลกลับมาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที แล้วจึงนำสารดูดซับซิติกาเจลกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง โดยนำไปผสมในน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารและกรอง จากนั้นนำน้ำมันที่ผ่านการกรองมาวิเคราะห์ค่าเช่นเดียวกับข้อ 3.5.1 แล้วจึงนำสารดูดซับซิติกาเจลกลับไปเผาอีกครั้ง ทำเช่นเดียวกันนี้จำนวน 20 ครั้ง

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ศึกษาและวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดและไม่ผ่านการทอดอาหาร

ในการทดลองเป็นการนำน้ำมันปาล์มผ่านการทอดได้จากแม่ค้าตลาดหัวตะเข้ ก่อนการทอดมีการหมักด้วยเครื่องเทศ ชุบแป้งแล้วนำไปผ่านการทอด ซึ่งในระหว่างการทอดเมื่อน้ำมันเริ่มมีสีคล้ำขึ้นแม่ค้าใช้สายตาในการพิจารณาตัดสินว่าควรมีการเปลี่ยนน้ำมันที่ทอดโดยน้ำมันที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำมันที่แม่ค้าทำการเปลี่ยนเมื่อมีสีคล้ำ เมื่อนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารนี้มาวิเคราะห์ค่าทางเคมีและกายภาพของน้ำมัน(ตารางที่4.1) เปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มใหม่ที่ยังไม่ผ่านการทอดอาหาร (ยังไม่ได้เปิดขวด) พบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารมีสมบัติทางกายภาพและเคมีเปลี่ยนแปลงไปโดยมีค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิติน และค่าสารประกอบมีขั้วเพิ่มขึ้น มีค่าสีเข้มขึ้น และมีความหนืดมากขึ้น เมื่อพิจารณาค่า กรดไขมันอิสระ พบว่าค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ผ่านการทอดอาหารมีค่า 0.08% ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดให้มีค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วไม่ควรเกิน 0.1% แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ แต่หลังจากผ่านการทอดอาหารพบว่าการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระ คือ 0.46 % แสดงให้เห็นว่าไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซิสได้เป็นกรดไขมันอิสระและสารอื่นๆ

ในด้านของค่าเปอร์ออกไซด์และค่าพาราแอนนิซิติน ซึ่งเป็นดัชนีวัดการเกิดออกซิเดชัน น้ำมันปาล์มใหม่ที่ยังไม่ผ่านการทอดอาหารมีค่าเปอร์ออกไซด์และค่าพาราแอนนิซิติน คือ 1.34 และ 1.19 meq/kg ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการเก็บน้ำมัน แม้ยังไม่มีการเปิดขวดแต่ก็มีการเกิดออกซิเดชันได้ อาจเนื่องมาจากภาชนะที่บรรจุค่อนข้างใส น้ำมันมีการสัมผัสแสง แต่หลังจากผ่านการทอดอาหารแล้วน้ำมันปาล์มมีค่าเปอร์ออกไซด์และค่าพาราแอนนิซิตินเพิ่มขึ้นเป็น 6.04 และ 37.71 meq/kg ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการทอดอาหารน้ำมันมีการเกิดออกซิเดชันมากเนื่องจากการสัมผัสกับออกซิเจนและความร้อนสูง

ในด้านค่าสารประกอบมีไขมันที่ยังไม่ผ่านการทอดมีสารประกอบมีไขมัน 3.65 % หลังจากผ่านการทอดอาหารแล้วน้ำมันมีสารประกอบมีไขมันเพิ่มขึ้น 12.28% แสดงให้เห็นว่าระหว่างทอดอาหาร ไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบมีไขมัน ซึ่งประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283 พ.ศ. 2547 ลงประกาศ ณ วันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2547 กำหนดให้น้ำมันที่จะนำมาทอดอาหาร หรือประกอบอาหารควรมีค่าสารประกอบมีไขมันไม่เกิน 25% เพราะสารประกอบมีไขมันสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพ และความเสื่อมเสียโดยรวมของน้ำมันทอด ซึ่งจากการทดลองค่าสารประกอบมีไขมันที่ตรวจพบยังอยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด แสดงว่าในทางกฎหมายน้ำมันยังไม่เสื่อมเสียจนถึงระดับที่จะต้องทิ้ง แต่แม่ค้าใช้การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมัน ในการตัดสินคุณภาพน้ำมันจึงทิ้งน้ำมันเก่าและเปลี่ยนน้ำมันใหม่

ด้านความหนืดพบว่าน้ำมันปาล์มหลังผ่านการทอดอาหารความหนืดเพิ่มขึ้น 95.40cp แสดงว่ามี การเกิดสารโพลีเมอร์ เนื่องจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันในระหว่างการทอดอาหาร ส่วนด้านสีพบว่า หลังการทอดอาหารน้ำมันมีสีที่คล้ำขึ้นอย่างเห็นได้ชัดด้วยสายตา จึงทำให้แม่ค้าต้องทำการเปลี่ยนน้ำมันทอดเนื่องจากน้ำมันที่มีสีคล้ำในการทอดอาหารจะส่งผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์อาหารได้

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดไก่จากตลาดหัวตะเข้และ น้ำมันปาล์มใหม่ที่ยังไม่ผ่านการทอดอาหาร

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

## 4.2 ศึกษาผลของขนาดรูพรุนของสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

จากการนำซิลิกาเจลขนาดอนุภาค 0.063–0.2 มิลลิเมตร มีขนาดรูพรุนต่างกันคือ 40, 60 และ 100 อังสตรอม มาศึกษาการดูดซับสารประกอบต่างๆ ในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร (ดังตารางที่ 4.2) พบว่าเมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการดูดซับด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดต่างๆ ได้แก่ ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิติน ค่าสารประกอบมีขี้และความหนืด พบว่าค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิติน ค่าสารประกอบมีขี้และความหนืดต่ำกว่าน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการดูดซับด้วยสารดูดซับซิลิกาเจล ซึ่งแสดงว่าการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค 0.063–0.2 มิลลิเมตร โดยไม่ว่าจะมีขนาดรูพรุน 40, 60 หรือ 100 อังสตรอมสามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารได้

เมื่อพิจารณาน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารซึ่งผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม พบว่ามีการปรับปรุงได้น้อยกว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 60 และ 100 อังสตรอม โดยค่ากรดไขมันอิสระ และค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ในขณะที่ค่าพาราแอนนิซิตินและสารประกอบมีขี้สูงกว่าเช่นกันแต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิติน ค่าสารประกอบมีขี้ และความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารซึ่งผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 60 และ 100 อังสตรอม พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าต่างๆ ดังตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าค่ากรดไขมันอิสระมีเปอร์เซ็นต์การลดลงประมาณ 23 - 31 % (แสดง % การลดลง ภาคผนวก ค) ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าขนาดรูพรุนที่เล็กเกินไป (40 อังสตรอม) เป็นรูพรุนที่ไม่เหมาะสมในการดูดซับโมเลกุลของสารประกอบมีขี้ต่างๆ ในน้ำมัน อาจเนื่องจากขนาดโมเลกุลมีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้กลไกการดูดซับเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวหน้าของอนุภาคซิลิกาเจลเท่านั้น

ในด้านสี พบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารที่ยังไม่ได้นำมาผ่านการใช้สารดูดซับ  
 ซิลิกาเจล และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารซึ่งผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60  
 และ 100 อังสตรอม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการ  
 ใช้สารดูดซับซิลิกาเจลจะมีสีคล้ำมากที่สุดคือ 26.4528 สีที่เห็นเป็นสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ส่วนน้ำมันปาล์มที่  
 ผ่านการทอดอาหารซึ่งผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม มีสีอ่อน  
 จางลงมากคือ 20.60, 10.78 และ 6.58 ตามลำดับ ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนด้วยสายตา

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูด  
 ซับซิลิกาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม

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

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

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การลดลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม

สมบัติทาง กายภาพและเคมี	% การลดลง		
	ขนาดรูพรุน		
	40 A <sup>o</sup>	60 A <sup>o</sup>	100 A <sup>o</sup>
กรดไขมันอิสระ(%)	23.85 <sup>b</sup>	31.72 <sup>a</sup>	31.78 <sup>a</sup>
ค่าเปอร์ออกไซด์(meq/kg)	16.08 <sup>b</sup>	19.95 <sup>a</sup>	23.28 <sup>a</sup>
ค่าพาราแอนนิซิติน (meq/kg)	28.77 <sup>a</sup>	36.72 <sup>a</sup>	36.40 <sup>a</sup>
สารประกอบมีขี้ขาว(%)	27.55 <sup>ab</sup>	53.16 <sup>a</sup>	56.18 <sup>a</sup>
ความหนืด(cp)	1.05 <sup>b</sup>	2.09 <sup>a</sup>	2.68 <sup>a</sup>
สี	22.07 <sup>c</sup>	59.18 <sup>b</sup>	75.06 <sup>a</sup>

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

จากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากผ่านสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุนต่างกัน (ตารางที่ 4.4) พบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากผ่านสารดูดซับซิลิกาเจลทั้ง 3 ขนาดรูพรุน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากผ่านสารดูดซับซิลิกาเจลเรียงจากมากไปน้อยคือ ขนาดรูพรุน 40 , 60 และ 100 อังสตรอม ได้แก่ 83.27% , 80.62% และ 75.25% ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุนใหญ่ขึ้น มีผลต่อปริมาณของน้ำมันที่ได้ภายหลังจากดูดซับมีปริมาณต่ำลง ทำให้น้ำมันมีการสูญเสียในระหว่างกระบวนการมากขึ้น ซึ่งจะมีผลทางเศรษฐกิจ หากนำกระบวนการนี้ไปใช้ในเชิงการค้า

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิติกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม

ปริมาณน้ำมัน (%)		
40 A°	60 A°	100 A°
83.27±1.20 <sup>a</sup>	80.62±2.02 <sup>b</sup>	75.25±1.31 <sup>c</sup>

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

จากการทดลองนี้พบว่า การเพิ่มขนาดรูพรุนเป็น 60 อังสตรอม ทำให้คุณภาพของน้ำมันที่ปรับปรุงได้ดีขึ้นกว่าการใช้ซิติกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม แต่การเพิ่มขนาดรูพรุนเป็น 100 อังสตรอม ไม่ทำให้การปรับปรุงคุณภาพดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นคุณภาพทางด้านสี ซึ่งหากเปรียบเทียบกับคุณภาพทางเคมีซึ่งมีความสำคัญต่อสุขภาพมากกว่า และปริมาณผลผลิตภายหลังจากกระบวนการซึ่งมีผลทางด้านเศรษฐกิจ จึงเลือกขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม ใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

#### 4.3 ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของสารดูดซับซิติกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

เลือกใช้สารดูดซับซิติกาเจลที่มีขนาดรูพรุนเหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่แล้ว คือขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม มีขนาดอนุภาคต่างกันคือ ขนาด  $\leq 0.063$  มิลลิเมตร, 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และ 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร ศึกษาการดูดซับสารประกอบต่างๆในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร (ตารางที่ 4.5) เมื่อพิจารณาปริมาณกรดไขมันอิสระ และสีพบว่าน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ได้นำมาผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลทั้ง 3 ขนาดอนุภาค มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารที่ยังไม่ได้นำมาผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากที่สุดและสีคล้ำมากที่สุด คือ 0.39% และ 28.73 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลขนาดอนุภาค  $\leq 0.063$  มิลลิเมตร มีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยที่สุดและมีสีคล้ำน้อยที่สุดคือ 0.22 % และ 1.24 ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะของสีใกล้เคียงกับสีของน้ำมันปาล์มที่ยังไม่ผ่านการทอดอาหาร

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันที่ผ่านการดูดซับด้วยซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน พบว่าที่ขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร ให้ค่าสมบัติทางเคมี คือ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิติน และค่าสารประกอบมีซัลเฟอร์ต่ำที่สุด คือ 4.11 meq/kg 14.95 meq/kg และ 6.22 % ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าน้ำมันที่ได้มีคุณภาพดีที่สุดในขณะที่ซิลิกาเจลที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด คือ ขนาด  $\leq 0.063$  มิลลิเมตร ซึ่งมีปริมาณพื้นที่ผิวสูงที่สุด ไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ใช้ทอดแล้วดีกว่าขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร ทั้งนี้อาจเนื่องจากสภาวะทางกายภาพระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับซึ่งพบว่าสารละลายของเหลวมีความหนืดค่อนข้างสูงในระหว่างการกวนจึงทำให้ปฏิกิริยาการดูดซับเกิดขึ้นได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ในขณะที่การใช้ซิลิกาเจลขนาดอนุภาค 0.2 -0.5 มิลลิเมตร น้ำมันที่ได้มีคุณภาพทางเคมีกายภาพ ต่ำกว่าซิลิกาเจลขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณพื้นที่ผิวที่น้อยกว่า

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

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้ สารดูดซับซัลฟิเตอ และผ่านการ ใช้สารดูดซับซัลฟิเตอขนาดอนุภาค  $\leq 0.063$  ,  $0.063 - 0.2$  และ  $0.2 - 0.5$  มิลลิเมตร

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

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การลดลงของสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุง  
ด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค  $\leq 0.063$  ,  $0.063 - 0.2$  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 <sup>a</sup>	37.83 <sup>b</sup>	27.24 <sup>c</sup>
ค่าเปอร์ออกไซด์(meq/kg)	11.87 <sup>c</sup>	21.23 <sup>a</sup>	17.78 <sup>b</sup>
ค่าพาราแอนนิซิดิน (meq/kg)	33.52 <sup>a</sup>	36.65 <sup>a</sup>	33.35 <sup>a</sup>
สารประกอบมีขี้ขั้ว(%)	43.76 <sup>b</sup>	54.75 <sup>a</sup>	42.52 <sup>b</sup>
ความหนืด(cp)	4.98 <sup>a</sup>	5.06 <sup>a</sup>	3.51 <sup>a</sup>
สี	95.69 <sup>a</sup>	60.30 <sup>b</sup>	32.01 <sup>c</sup>

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

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

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดอนุภาค  
 $\leq 0.063$  มิลลิเมตร  $0.063 - 0.2$  มิลลิเมตร และขนาด  $0.2 - 0.5$  มิลลิเมตร

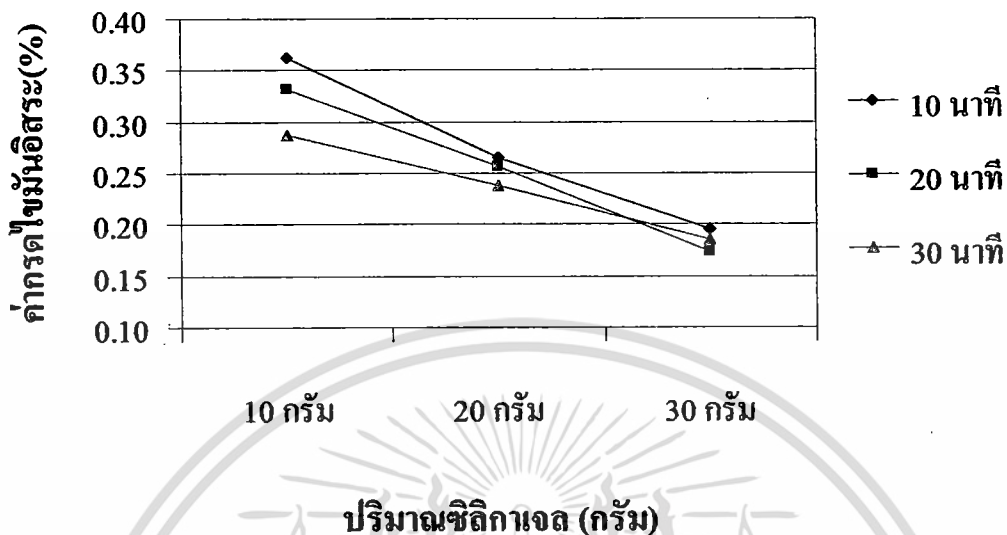
ปริมาณน้ำมัน (%) <sup>ns</sup>		
$\leq 0.063$ มม.	$0.063 - 0.2$ มม.	$0.2 - 0.5$ มม.
77.43 $\pm$ 1.26	78.98 $\pm$ 2.17	80.12 $\pm$ 1.66

หมายเหตุ : <sup>ns</sup> แสดงถึงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

#### 4.4 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับสารและปริมาณสารดูดซับซิติกาเจลที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

ใช้สารดูดซับซิติกาเจลขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม และขนาดอนุภาค 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดรูพรุนและขนาดอนุภาคที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ โดยนำสารดูดซับซิติกาเจลมาจำนวน 10 , 20 และ 30 กรัม กวนกับน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารปริมาณ 100 กรัม โดยใช้เวลาการกวนต่างกันคือ 10 , 20 และ 30 นาที เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงทั้งคุณภาพทางเคมีและกายภาพ พบว่าปริมาณสารดูดซับซิติกาเจลเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 30 กรัม มีผลให้คุณภาพของน้ำมันทั้งทางเคมีและกายภาพดีขึ้นตามลำดับ ดังภาพที่ 4.1 – 4.6 ที่กราฟมีความชันเป็นลบ แสดงว่าการเพิ่มปริมาณซิติกาเจลทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมากขึ้น จึงดูดซับสารประกอบมีขี้ตัวต่างๆ ในน้ำมันทอดมากขึ้น ได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ สารโพลีเมอร์ เป็นต้น การที่สารดูดซับซิติกาเจลสามารถดูดซับสารประกอบมีขี้ตัวได้เนื่องจากพื้นที่ผิวของซิติกาเจลมีหมู่ซิลานอลซึ่งเป็นหมู่ที่สามารถเกิดการฟอร์มพันธะไฮโดรเจนกับสารประกอบมีขี้ตัว (Robard, 1994) ซึ่งสอดคล้องกับ Miyagi และ Nakajima ในปี 2003 ที่พบว่า การเพิ่มปริมาณสารดูดซับซิติกาเจลจะช่วยในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าสารประกอบมีขี้ตัว ค่าสี และค่าความหนืดลงได้

เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพและเคมีของของน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงเมื่อใช้เวลาในการกวนแตกต่างกัน พบว่าเมื่อเวลาในการกวนเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 30 นาที ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์และค่าความหนืดมีการปรับปรุงมากขึ้น (ภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.5) เมื่อพิจารณาค่าพาราแอนนิซินดินและค่าสีพบว่า การใช้เวลาการกวน 20 นาที มีการปรับปรุงน้อยกว่าการใช้เวลาการกวน 10 และ 30 นาที (ภาพที่ 4.3 และ 4.6) แต่จากการทดลองจะเห็นว่ามีการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ส่วนในด้านค่าสารประกอบมีขี้ตัวพบว่าการเพิ่มเวลาในการกวนไม่มีผลต่อการปรับปรุงค่าสารประกอบมีขี้ตัว แสดงว่าการใช้เวลาการกวนเพียง 10 นาที สารประกอบมีขี้ตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของซิติกาเจลอย่างทั่วถึงแล้ว (ภาพที่ 4.4)

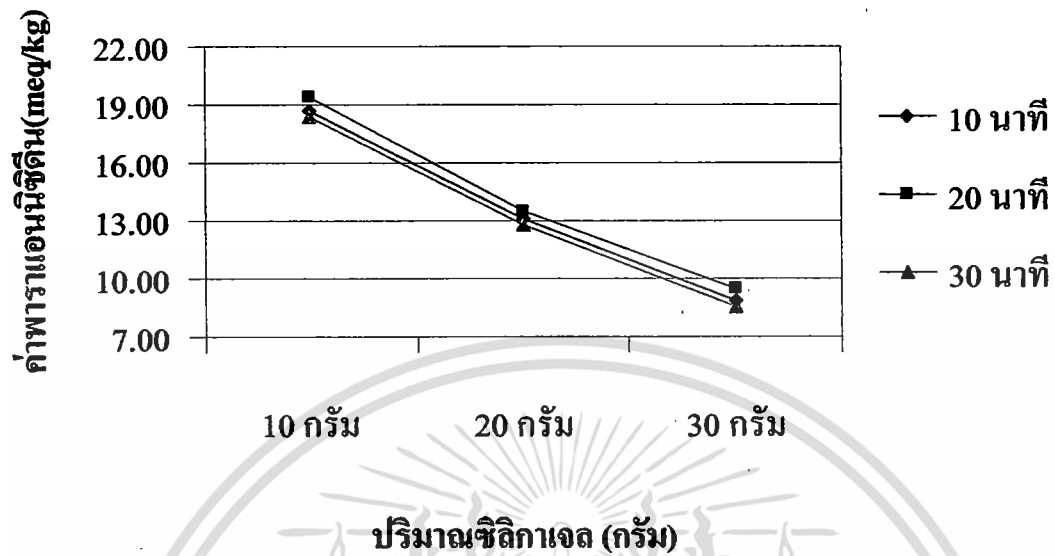


ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของค่ากรดไขมันอิสระที่เวลาในการกวน 10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซีลีกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม



ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์ที่เวลาในการกวน 10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซีลีกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

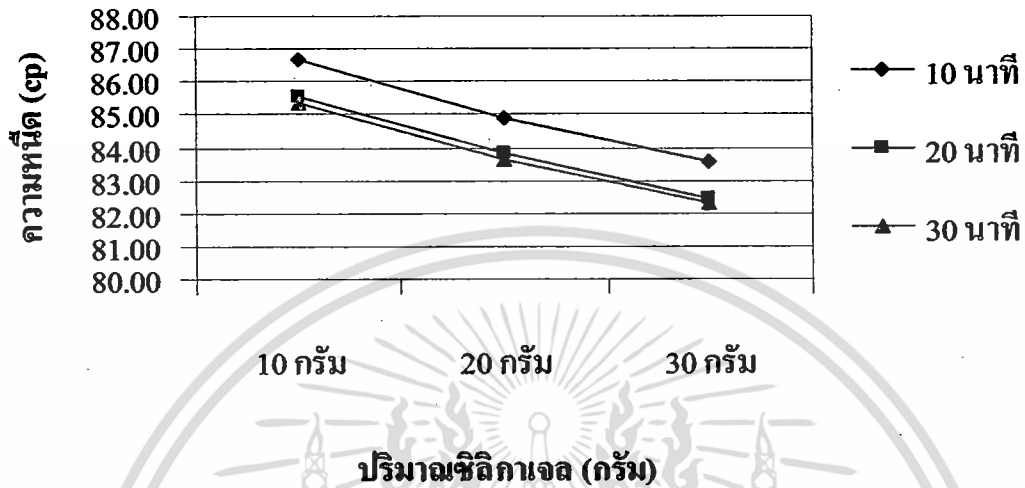


ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าพาราแอนนิซิดินที่เวลาในการกวน 10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซัลไฟต์ 10, 20 และ 30 กรัม



ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของค่าสารประกอบมีซัลไฟต์ที่เวลาในการกวน 10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซัลไฟต์ 10, 20 และ 30 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นที่เวลาในการกวน 10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซีลีกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่เวลาในการกวน 10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับซีลีกาเจล 10, 20 และ 30 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้หลังผ่านสารดูดซับซลิคาเจลที่ใช้เวลาในการกวนต่างกัน และมีปริมาณสารดูดซับซลิคาเจลต่างกัน(ตารางที่4.8) พบว่าปริมาณสารดูดซับซลิคาเจลเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำมันภายหลังการดูดซับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) โดยเมื่อปริมาณซลิคาเจลเพิ่มขึ้นเป็น 10, 20 และ 30 กรัม ปริมาณน้ำมันภายหลังการดูดซับลดลงแตกต่างกัน ประมาณ 84 %, 70 % และ 58 % ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของปริมาณน้ำมันที่ได้มีผลทางเศรษฐกิจ เมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นเป็น 10, 20 และ 30 นาที พบว่าปริมาณน้ำมันภายหลังการดูดซับไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) แสดงว่าการใช้เวลาในการกวนเพียง 10 นาทีสามารถทำให้เกิดการดูดซับบนพื้นผิวของซลิคาเจลอย่างทั่วถึงแล้ว ทำให้เมื่อเพิ่มเวลาในการกวนเป็น 20 และ 30 นาที จึงไม่มีผลต่อการดูดซับ

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซนต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซลิคาเจลโดยใช้เวลาในการดูดซับและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณน้ำมัน(%)		
	ปริมาณสารดูดซับซลิคาเจล (กรัม)		
	10	20	30
10	82.08± 0.75 <sup>Aa</sup>	69.53± 2.01 <sup>Ab</sup>	55.91± 5.22 <sup>Ac</sup>
20	86.40± 0.06 <sup>Aa</sup>	72.55± 5.52 <sup>Ab</sup>	58.81± 3.56 <sup>Ac</sup>
30	85.69± 0.28 <sup>Aa</sup>	70.12± 0.89 <sup>Ab</sup>	60.63± 4.43 <sup>Ac</sup>

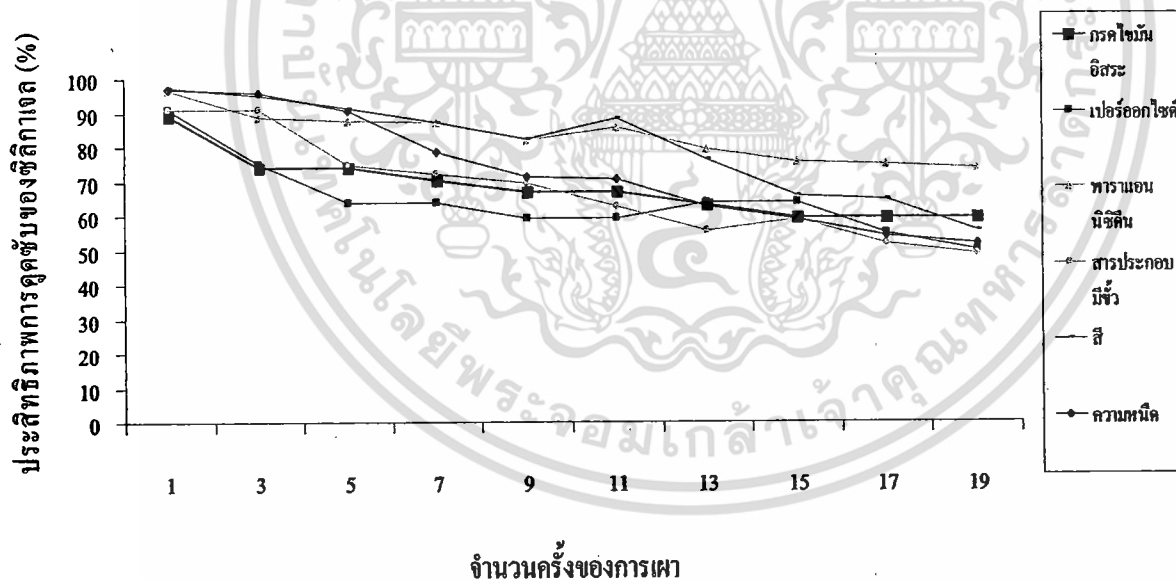
หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน (a b c) หมายถึงมีความแตกต่างกันของปริมาณสารดูดซับซลิคาเจลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

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

#### 4.5 ศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับซิติกาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสารในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร

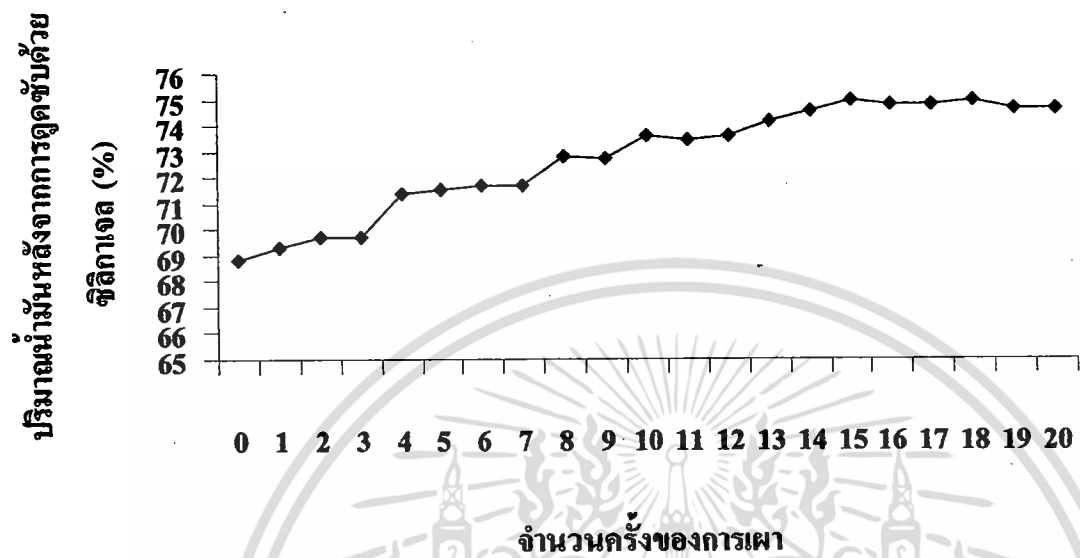
การทดลองนี้เลือกใช้สารดูดซับซิติกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม และขนาดอนุภาค 0.063–0.2 มิลลิเมตร จำนวน 30 กรัม ผสมในน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร 100 กรัม ใช้เวลาในการกวน 10 นาที และมีการนำสารดูดซับซิติกาเจลกลับมาใช้อีก โดยนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 550 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับสารที่เปลี่ยนแปลงไปของสารดูดซับซิติกาเจล (ภาพที่ 4.7 และแสดงตัวอย่างการคำนวณภาคผนวก ง) จากผลทดลองพบว่าเมื่อจำนวนครั้งของการนำสารดูดซับซิติกาเจลกลับมาใช้ (จำนวนครั้งของการเผา) เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับสารดูดซับซิติกาเจลลดลง สามารถดูดซับกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิติน และสารประกอบมีขี้ผึ้งได้น้อยลง ประสิทธิภาพในการปรับปรุงสี และความหนืดลดลงด้วยเช่นกัน โดยประสิทธิภาพการดูดซับสารลดลงประมาณ 27 – 52 % จากการทดลองของ Miyagi และ Nakajima ในปี 2003 พบว่าหลังการนำสารดูดซับซิติกาเจลไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสแล้วนำกลับมาใช้เป็นจำนวน 30 ครั้ง ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสารประกอบต่างๆ ลดลงประมาณ 20 – 50 % และทำให้การปรับปรุงสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันต่ำลง โดยระหว่างการกวนหรือการดูดซับซิติกาเจลจะเกิดการดูดซับสารประกอบในน้ำมันซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ หากต้องการนำซิติกาเจลกลับมาใช้ใหม่จำเป็นต้องเผาเพื่อให้สารประกอบอินทรีย์เหล่านั้นสลายไป โดยสารอินทรีย์จะถูกเผาไหม้จนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน (ลักขณา , 2531) การเผาจะใช้อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส หากใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส สารอินทรีย์จะสลายไม่หมดหลงเหลืออยู่ในซิติกาเจลทำให้พื้นที่ในการดูดซับลดลงจึงมีผลต่อการดูดซับเมื่อนำซิติกาเจลกลับไปใช้ในครั้งต่อไป อย่างไรก็ตามการเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 500°C ทำให้หมู่ซิลานอลของสารดูดซับซิติกาเจลซึ่งเป็นหมู่ที่มีบทบาทสำคัญในการดูดซับสารประกอบมีขี้ผึ้งเปลี่ยนให้เป็นหมู่ซิลิโชน ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสารประกอบมีขี้ผึ้งลดลงและสอดคล้องกับ Khoo และคณะในปี 1979 พบว่าการให้ความร้อนซิติกาในอุณหภูมิที่มากกว่า 500 องศาเซลเซียส อาจทำให้เกิดการหักพับของโครงสร้างภายในนำไปสู่การลดพื้นที่ผิวของสารดูดซับ ทำให้ซิติกาที่ผ่านการเผายังดูดซับสารประกอบได้น้อยลง

ในด้านปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการนำสารดูดซับซิกาเจลกลับไปเผาแล้วนำกลับมาใช้เป็นจำนวน 20 ครั้ง (ภาพที่ 4.8) พบว่าในช่วงแรกของการนำซิกาเจลกลับมาใช้ ปริมาณน้ำมันที่ได้ภายหลังจากดูดซับมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของซิกาเจลลดลง แต่เมื่อนำซิกาเจลกลับมาใช้หลังจากผ่านการเผาครั้งที่ 15 ขึ้นไป พบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้ค่อนข้างคงที่และไม่สามารถทำให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันได้อีกต่อไป โดยเห็นได้ชัดเจนจากปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งค่ากรดไขมันอิสระเริ่มมีค่าคงที่เมื่อใช้ซิกาเจลที่ผ่านการเผาครั้งที่ 15 โดยหลังจากการปรับปรุงค่ากรดไขมันอิสระมีค่าคงที่อยู่ที่ 0.2481 % ในขณะที่ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิน ค่าสารประกอบมีขี้ ความหนืด และสี มีการปรับปรุงน้อยลงโดยมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการเผาครั้งที่ 15 ขึ้นไป ยกตัวอย่างเช่น ค่าเปอร์ออกไซด์ เมื่อนำซิกาเจลที่ผ่านการเผาครั้งที่ 15 มีค่าเปอร์ออกไซด์ 2.626 meq/kg แต่หลังจากผ่านการเผาครั้งที่ 19 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2.929 meq/kg แสดงว่ามีการปรับปรุงน้อยลง (ภาคผนวก ง) ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการใช้ซิกาเจลในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันทอดสามารถที่จะนำซิกาเจลกลับมาใช้ได้อีกประมาณ 10–15 ครั้ง หลังจากนั้นไปไม่สมควรนำกลับมาใช้แล้ว



ภาพที่ 4.7 ประสิทธิภาพการดูดซับสารของสารดูดซับซิกาเจลที่เปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 ปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการนำชิลิกาเจลกลับมาใช้เป็นจำนวน 20 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการทอดอาหาร พบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมี พบว่ามีค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน ค่าสารประกอบมีขั้วเพิ่มขึ้น น้ำมันมีสีคล้ำขึ้นและมีความหนืดมากขึ้น แสดงให้เห็นถึงความเสื่อมเสียของน้ำมันที่นำไปผ่านการทอดอาหาร

2. จากการศึกษาผลของขนาดรูพรุนของสารดูดซับซิลิกาเจลในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร โดยใช้ขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม พบว่าขนาดรูพรุน 40 อังสตรอม มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยส่วนใหญ่น้อยกว่าที่ขนาดรูพรุน 60 และ 100 อังสตรอม อาจมีผลเนื่องจากสารประกอบมีขั้วมีขนาดโมเลกุลใหญ่เกินไปไม่สามารถถูกดูดซับในรูพรุนขนาดเล็กได้ กลไกการดูดซับจึงอาจเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวหน้าของอนุภาค เมื่อเพิ่มขนาดรูพรุนเป็น 60 อังสตรอมพบว่าการปรับปรุงคุณภาพไม่แตกต่างจากขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม ยกเว้นคุณภาพด้านสีซึ่งปรับปรุงได้น้อยกว่า แต่เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำมันที่ได้พบที่ขนาดรูพรุน 60 อังสตรอมให้ปริมาณน้ำมันมากกว่า ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงคุณภาพทางเคมีซึ่งมีความสำคัญต่อสุขภาพมากกว่าคุณภาพด้านสีและปริมาณน้ำมันที่ได้หลังการดูดซับที่มีปริมาณมากกว่าจึงเลือกสารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 60 อังสตรอมเป็นขนาดรูพรุนที่เหมาะสม ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน

3. จากการศึกษาผลขนาดอนุภาคของสารดูดซับซิลิกาเจลในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารโดยใช้ขนาดอนุภาค  $\leq 0.063$  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 ดังนั้นจึงควรเลือกสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค  $\leq 0.063$  มิลลิเมตร เป็นขนาดอนุภาคที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน

4. จากการศึกษาผลของเวลาการกวนและปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหาร โดยใช้เวลาในการกวน 10, 20 และ 30 นาที และปริมาณสารดูดซับ 10, 20 และ 30 กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม พบว่า เมื่อปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลเพิ่มขึ้นมีผลทำให้น้ำมันมีการปรับปรุงคุณภาพทั้งทางด้านเคมี และกายภาพได้ดีขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารดูดซับทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากขึ้นจึงสามารถดูดซับสารประกอบมีขี้ต่างๆในน้ำมันทอดได้มากขึ้น จึงช่วยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันให้ดีขึ้น เมื่อเวลาในการกวนเพิ่มขึ้นพบว่าเวลาในการกวนมีผลต่อค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิน ค่าสี และความหนืดเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อค่าสารประกอบมีขี้ซึ่งเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำมันและไม่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ได้ภายหลังการดูดซับ ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงค่าสารประกอบมีขี้ ปริมาณน้ำมันภายหลังการดูดซับ และผลของเวลาในทางเศรษฐกิจ จึงเลือกเวลาในการกวน 10 นาทีและปริมาณสารดูดซับ 30 กรัม เป็นเวลาและปริมาณที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน

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

## บรรณานุกรม

- นิธิยา รัตนปพนนท์. 2545. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- นิรมล วรสิษฐ. 2547. “การใช้เบนทอไนต์ฟอกสีกลิ่นในน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดแล้วหลายครั้ง.”  
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มณฑาทิพย์ ชุ่นฉลาด. 2535. “คุณภาพน้ำมันทอด.” วารสารอาหาร สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนา  
ผลิตภัณฑ์อาหาร. 22(2) : 8-12.
- แม่น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2534. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ :  
[ม.ป.ท. : ม.ป.พ.] : 759-760
- ลักขณา รุจนะไกรกานต์. 2531. หลักการวิเคราะห์อาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการ  
อาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. [เชียงใหม่] : 273
- American Oil Chemists' Society .1997. **Official Methods and Recommended Practices of the  
AOCS. 5<sup>th</sup> 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  $\beta$ -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.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### ก1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (AOCS,1995)

#### 1.1 อุปกรณ์และสารเคมี

##### 1.1.1 เครื่องแก้ว

##### 1.1.2 สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 95%

##### 1.1.3 สารละลายฟีนอล์ฟธาลิน 1 % ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95 %

##### 1.1.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

#### 1.2 วิธีวิเคราะห์

##### 1.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมันตามโดยใช้ปริมาณตามตารางที่ 1 ใส่พลาสติกขนาด 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 เติมสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ตามปริมาณที่เหมาะสมดังพิจารณาจากตารางที่1 โดยสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องผ่านการทำให้เป็นกลางแล้ว (Neutralized) โดยการเติมสารละลายฟีนอล์ฟธาลิน 2 มิลลิลิตร และไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนสารละลายมีสีชมพูอ่อนแล้วจึงนำไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

##### 1.2.3 เติมสารละลายฟีนอล์ฟธาลินซึ่งใช้เป็นอินดิเคเตอร์ 2 มิลลิลิตร

1.2.4 ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ จะสามารถพิจารณาจากตารางที่ 1 จนได้สารละลายสีชมพูคงตัว 30 วินาที

1.2.5 บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

1.2.6 คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ

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

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

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

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 สารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต 0.1 นอร์มอล
- 2.1.5 สารละลายโซเดียมไรโอซัลเฟต 0.01 นอร์มอล
- 2.1.6 สารละลายน้ำแป้ง (indicator) ความเข้มข้น 1%

### 2.2 วิธีวิเคราะห์

- 2.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน  $5 \pm 0.05$  กรัมใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.2.2 เติมสารละลายผสมอะเซติก : คลอโรฟอร์ม (3:2) 30 มิลลิลิตร
- 2.2.3 เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 0.5 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 เขย่าสารละลายเป็นเวลา 1 นาที และเติมน้ำกลั่นทันที 30 มิลลิลิตร

2.2.5 โทเทรคด้วยสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.01 นอร์มอล จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อน และเติมสารละลายน้ำแข็ง 2 มิลลิลิตร แล้วโทเทรคต่อจนสารละลายสีน้ำเงินจางหายไป

2.2.6 บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ที่ใช้ในการโทเทรค

2.2.7 ทำสารละลาย blank ตามวิธีเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้นแต่ไม่ใส่ตัวอย่างน้ำมัน

2.2.8 คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์

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

เมื่อ B = ปริมาตรที่ใช้ในการ โทเทรค blank (มิลลิลิตร)

S = ปริมาตรที่ใช้ในการ โทเทรคตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

### ก3. วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบมีขี้ (AOCS, 1995)

#### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องแก้ว

3.1.2 กอลัมน์แก้วโครมาโตกราฟฟี

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 สารละลายไดเอซิลอีเทอร์

3.1.10 สารละลายคลอโรฟอร์ม

3.1.11 สารละลายกรดอะซิติก

3.1.12 สารละลาย Elution solvent (สารละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ : สารละลายไดเอทิลอีเทอร์ = 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 desiccator ที่อุณหภูมิห้อง

3.2.2 ชั่งซิลิกาเจลจำนวน 152 กรัมใส่พลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจำนวน 8 กรัม

3.2.3 ปิดพลาสติกด้วยจุกปิดแล้วนำไปแช่โดยใช้เครื่องเขย่า

### 3.3 การเตรียมคอลัมน์

3.3.1 นำสารละลาย Elution solvent จำนวน 30 มิลลิลิตร ใส่ในคอลัมน์

3.3.2 นำ cotton wool ใส่ในคอลัมน์โดยใช้แท่งแก้วช่วยในการกดเพื่อไล่อากาศ

3.3.3 นำสารดูดซับซิลิกาเจล 25 กรัมผสมกับสารละลาย Elution solvent 80 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตรแล้วเทลงในคอลัมน์

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

3.3.5 เติมน้ำ 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 ที่อุณหภูมิห้องจำนวน 20 มิลลิลิตร ที่ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลาย Elution solvent ให้เป็น 50 มิลลิลิตร

3.4.3 ปิเปตสารละลายตัวอย่างนี้ออกมาจำนวน 20 มิลลิลิตรใส่ในคอลัมน์ระวางอย่าให้โดนผิวหน้าของสารที่อยู่ในคอลัมน์

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 นำฟลาสก์ที่ทราบน้ำหนักคงที่อีกฟลาสก์หนึ่งวางไว้ใต้คอลัมน์แล้วเติมสารละลายไดเอทิลอีเทอร์ จำนวน 150 มิลลิลิตรลงในคอลัมน์แล้วเปิดจุกให้สารละลายไหลออกมาเพื่อชะส่วนของสารประกอบมีขั้วออกมา ใช้เวลาประมาณ 60 – 70 นาที

3.4.9 นำฟลาสก์ทั้งสองไประเหยโดยใช้เครื่อง rotary evaporator โดยใช้อุณหภูมิ น้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส

3.4.10 ใส่ก๊าซไนโตรเจนในฟลาสก์ทั้งสอง

3.4.11 นำฟลาสก์ไปชั่งน้ำหนักหาปริมาณสารประกอบมีขั้ว

3.4.12 คำนวณปริมาณสารประกอบมีขั้ว

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

เมื่อ  $m$  = น้ำหนักของตัวอย่างน้ำมัน ใน 20 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  $0.5 - 4.0 \pm 0.001$  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 ปิเปิดสารละลายตัวอย่างจากขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ออกมาจำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดสอบ
- 4.2.6 ปิเปิดสารละลาย blank จำนวน 5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดสอบอีกหลอดหนึ่ง
- 4.2.7 นำหลอดทดสอบทั้งสองมาเติมสารละลายพารา-แอนนิซิดีนหลอดละ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาทีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา
- 4.2.8 นำหลอดทดสอบทั้งสองไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร
- 4.2.9 คำนวณพารา-แอนนิซิดีน (p - anisidine value)

$$p-A.V. = \frac{25 \times (1.2A_s - A_b)}{m}$$

m

เมื่อ  $A_s$  = ค่าการดูดกลืนแสงหลังจากเติมพารา-แอนนิซิดีน

$A_b$  = ค่าการดูดกลืนแสงก่อนเติมพารา-แอนนิซิดีน

m = น้ำหนักตัวอย่างน้ำมัน, กรัม

## ก5. วิธีวิเคราะห์สี (AOCS, 1995)

### 5.1 อุปกรณ์และสารเคมี

5.1.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

5.1.2 กิวเวคแก้ว

5.1.3 กระจกกรอง

5.1.4 สารละลายเมทิลีนคลอไรด์ (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 แล้วใส่กิวเวคที่มี

สารละลายเมทิลีนคลอไรด์และเซตให้ transmittance เป็น 100%

5.2.4 ใส่กิวเวคที่มีสารละลายนิกเกิลซัลเฟตและวัด transmittance ของสารละลายค่าควรอยู่ในช่วง 24.2 – 28.2 %

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

## ตารางที่ ก2 การคาลิเบรทเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

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 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยวัดความยาวคลื่นที่ 460, 550, 620 และ 670 นาโนเมตรซึ่งค่าที่ได้ควรใกล้เคียง 0.001

5.3.4 กำหนดค่าสี

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

### 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 เช็กระดับลูกน้ำ 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 ทววมุมอุณหภูมิตลอดการวิเคราะห์ที่ 26 องศาเซลเซียส
- 6.2.4 ใส่หัววัดเบอร์ SC4-18 และจุ่มหัววัดในตัวอย่าง
- 6.2.5 กด Select SPDL เพื่อเลือกรหัสหัววัด (คือ 18) และกด Select SPDL อีกครั้งเพื่อตอบตกลง
- 6.2.6 ใส่ตัวเลขที่ความเร็วรอบ 26 rpm อ่านค่าความหนืดของตัวอย่างเป็นเซนติพอยส์ (cp)

## ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข1 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้  
สารดูดซับขี้ดิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

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 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้  
สารดูดซับขี้ดิกาเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข3 ค่าพาราแอนนิซิคืนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับขี้ดึกาเจลดขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าพาราแอนนิซิคืน (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 ค่าสารประกอบมีขี้ดึกของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับขี้ดึกาเจลดขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าสารประกอบมีขี้ดึก (%)		
	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 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับขี้ดึกาเจลดขนาดรูพรุนต่างกัน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข6 ค่าสีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับ  
ซิติกาเจลดขนาดรูพรุนต่างกัน

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 น้ำหนักของน้ำมันปาล์มที่ได้หลังจากผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลดขนาดรูพรุนต่างกัน

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 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้  
สารดูดซับซิติกาเจลดขนาดอนุภาคต่างกัน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข9 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้  
สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

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 ค่าพาราแอนนิซิตินของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้  
สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าพาราแอนนิซิติน (meq/kg)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	22.4901	23.2181	25.1167
ขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ 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 ค่าสารประกอบมีขี้ของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้  
สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าสารประกอบมีขี้ (%)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	12.7491	14.0765	14.2456
ขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข12 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สาร  
 คูดซ์บิซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าความหนืด (cp)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	95.1	94.7	95.3
ขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ 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 ค่าสีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สาร  
 คูดซ์บิซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร	28.0899	28.6579	29.4552
ขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ 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 น้ำหนักของน้ำมันปาล์มที่ได้หลังจากผ่านการใช้สารคูดซ์บิซิลิกาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ 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 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซลิกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณสารดูดซับซลิกาเจล (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 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซลิกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณสารดูดซับซลิกาเจล (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 ค่าพาราแอนนิซิดินของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซลิกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณสารดูดซับซลิกาเจล (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	10.5767
30	15.2659	21.5427	10.8470	14.6557	6.6020	10.4620

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข18 ค่าสารประกอบมีขี้ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับ  
ซิติกาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณสารดูดซับซิติกาเจล (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 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจล โดย  
ใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณสารดูดซับซิติกาเจล (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 ค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจล โดยใช้เวลาใน  
การกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

เวลาการกวน (นาที)	ปริมาณสารดูดซับซิติกาเจล (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 สมบัติทางกายภาพ เคมีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับ  
ซลิคาเจล โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

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

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

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

3) ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร 2 ถัง

## ภาคผนวก ก

**ตารางที่ ก1** เปรอร์เซ็นต์การลดลงของค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซัลฟิติกเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

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 ก2** เปรอร์เซ็นต์การลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซัลฟิติกเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

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 ก3** เปรอร์เซ็นต์การลดลงของค่าพาราแอนนิซิตินของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซัลฟิติกเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	% การลดลงของค่าพาราแอนนิซิติน			
	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 เปรอร์เซ็นต์ การลดลงของค่าสารประกอบมีขี้ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซัลฟิดิกเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

ตัวอย่าง	% การลดลงของค่าสารประกอบมีขี้			
	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 เปรอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซัลฟิดิกเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

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 เปรอร์เซ็นต์การลดลงของค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซัลฟิดิกเจลขนาดรูพรุนต่างกัน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๗ เปรอร์เซ็นต์การลดลงของค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซัลฟิลาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	%การลดลงของค่ากรดไขมันอิสระ			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ 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 ๘ เปรอร์เซ็นต์การลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซัลฟิลาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	%การลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ 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 ๙ เปรอร์เซ็นต์การลดลงของค่าพาราแอนนิซิทีนของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซัลฟิลาเจลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	% การลดลงของค่าพาราแอนนิซิทีน			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค10 เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าสารประกอบมีขี้ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซัลฟิดิกากลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	% การลดลงของค่าสารประกอบมีขี้			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ 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 เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซัลฟิดิกากลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	% การลดลงของค่าความหนืด			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ 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 เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซัลฟิดิกากลขนาดอนุภาคต่างกัน

ตัวอย่าง	% การลดลงของค่าสี			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
ขนาดอนุภาค $\leq 0.063$ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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

น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารมีปริมาณกรดไขมันอิสระ 0.3898 % เมื่อนำมาควบกับซิลิกาเจล  
หลังจากกรองพบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน 0.1506 % และเมื่อนำซิลิกาเจลไปผ่านการเผา  
ครั้งที่ 1 แล้วนำกลับไปควบกับน้ำมันหลังจากกรองพบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน 0.1772%  
การคำนวณ

$$\begin{aligned} (\%) &= 100 \times (0.3898 - 0.1772) / (0.3898 - 0.1506) \\ &= 88.88 \% \end{aligned}$$

ดังนั้นหลังจากซิลิกาเจลผ่านการเผาครั้งที่ 1 จะมีประสิทธิภาพการดูดซับลดลงเหลือ 88.88 %

ตารางที่ ง1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารและยังไม่ได้ปรับปรุงซึ่ง

นำมาใช้ศึกษาประสิทธิภาพของสารดูดซับซิลิกาเจลในการนำกลับมาใช้ดูดซับสาร

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

ตารางที่ ๖2 ประสิทธิภาพการดูดซับกรดไขมันอิสระที่เปลี่ยนแปลงไปของซิลิกาเจลหลังผ่านการเผา เป็นจำนวน 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 ๖3 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๔4 ประสิทธิภาพการดูดซับค่าพาราแอนนิซิดีนที่เปลี่ยนแปลงไปของซลิกาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 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 ๔5 ประสิทธิภาพการดูดซับค่าสารประกอบมีซั่วที่เปลี่ยนแปลงไปของซลิกาเจลหลังผ่านการเผาเป็นจำนวน 20 ครั้ง

จำนวนครั้งการเผา	สารประกอบมีซั่ว (%)	% 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 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 7 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 เปรอ์เซ็นต์น้ำมันที่ได้หลังการนำชิลิกาเจลกลับมาใช้เป็นจำนวน 20 ครั้ง

จำนวนครั้งการเผา	น้ำหนักน้ำมันที่ใช้ใน แต่ละครั้งการเผา	น้ำหนักชิลิกาเจลที่ใช้ ในแต่ละครั้งการเผา	% น้ำมันที่ได้หลัง การดูดซับ
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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

**ตารางที่ จ1** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิเตอและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิเตอขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 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** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิเตอและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิเตอขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 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 จ3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพาราแอนนิซิตี้ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 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 จ4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสารประกอบมีขี้ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 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 จ5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 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			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๖ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิลาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิลาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 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 ๗ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซัลฟิลาเจลที่มีขนาดรูพรุน 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 ๘ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิลาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิลาเจลขนาดอนุภาค  $\leq 0.063$  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 ๑๑ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดอนุภาค  $\leq 0.063$  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	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 ๑๑๐ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพาราแอนนิซิดินของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดอนุภาค  $\leq 0.063$  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	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 ๑๑๑ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสารประกอบมีขี้ผึ้งของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดอนุภาค  $\leq 0.063$  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	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			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดอนุภาค  $\leq 0.063$  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	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 ๑13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลและผ่านการใช้สารดูดซับซัลฟิคาเจลขนาดอนุภาค  $\leq 0.063$  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	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 ๑14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับซัลฟิคาเจลที่มีขนาดอนุภาค  $\leq 0.063$  มิลลิเมตร 0.063 – 0.2 มิลลิเมตร และขนาด 0.2 – 0.5 มิลลิเมตร

Source of variation	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig
Treatment	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			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

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 ๑16 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

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 ๑17 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าพาราแอนนิซิดินของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซิติกาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

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			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสารประกอบมีขี้ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซลิคาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

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 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซลิคาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

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			

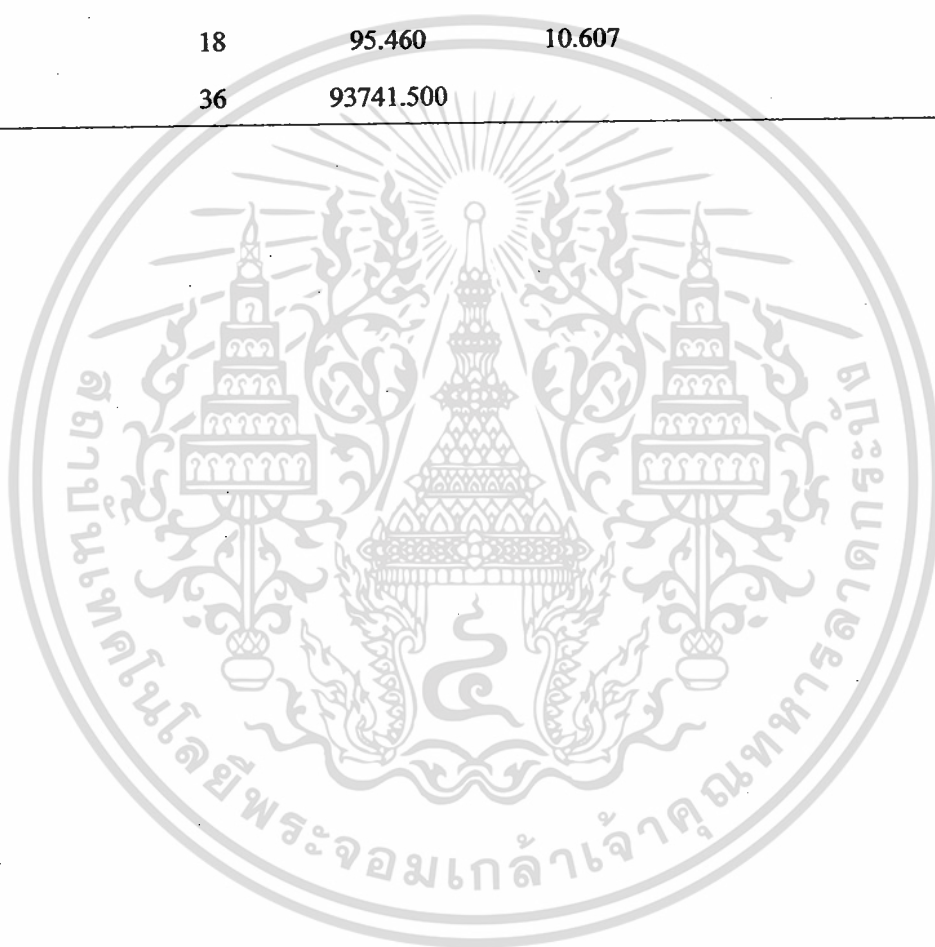
ตารางที่ จ20 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับซลิคาเจลโดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

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			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

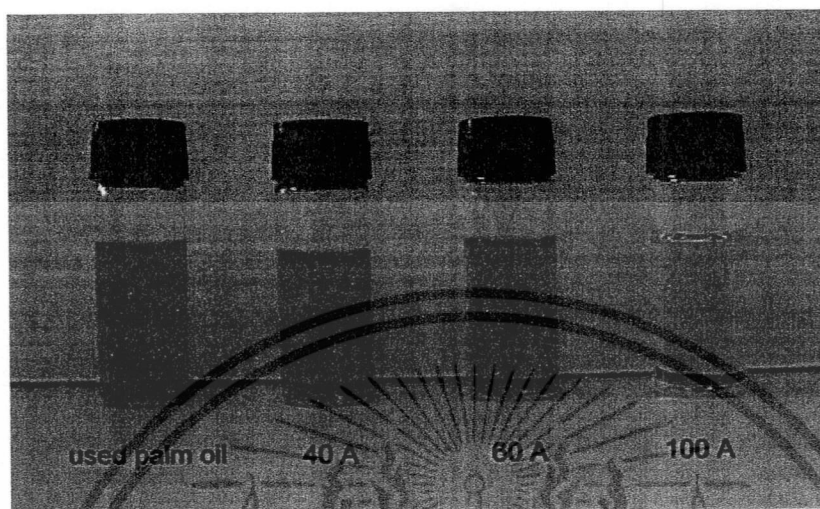
ตารางที่ ๖21 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่ได้หลังจากกรองผ่านด้วยสารดูดซับชนิดิกาลเจล  
โดยใช้เวลาในการกวนและปริมาณสารดูดซับต่างกัน

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			

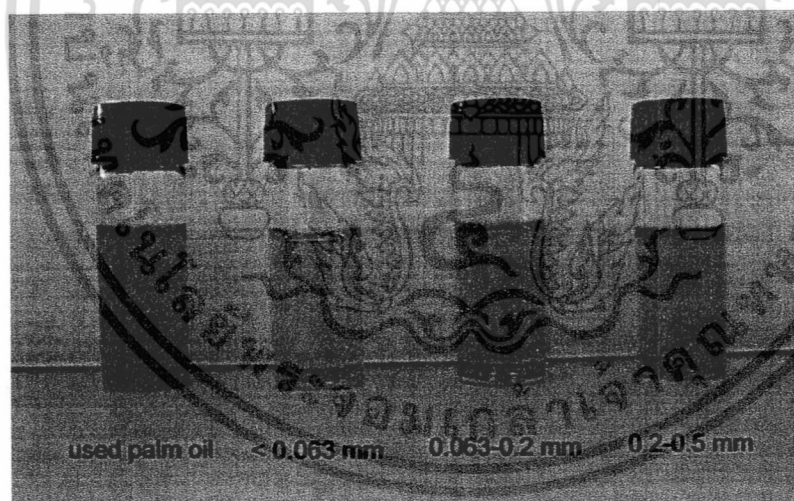


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฉ

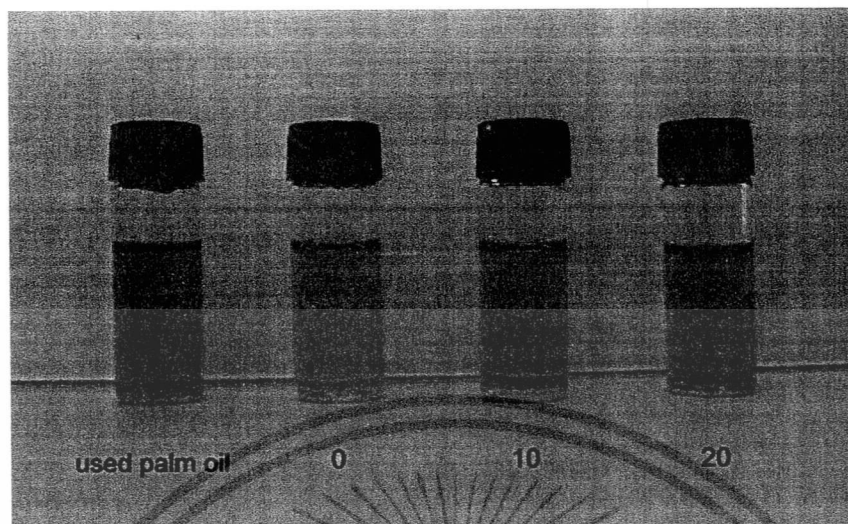


ภาพที่ ฉ1 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดรูพรุน 40, 60 และ 100 อังสตรอม



ภาพที่ ฉ2 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารดูดซับซิลิกาเจลขนาดอนุภาค  $\leq 0.063$  ,  $0.063 - 0.2$  และ  $0.2 - 0.5$  มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ๓3 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารหลังผ่านการปรับปรุงด้วย  
ซิงก้าเจดที่ผ่านการเผาครั้งที่ 0 , 10 และ 20



ภาพที่ ๓4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของซิงก้าเจดหลังผ่านการเผา 20 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้