

รายงานการวิจัย

การปรับปรุงน้ำมันใช้แล้วโดยกระบวนการดูดซับ และคุณภาพของน้ำมัน
ที่ปรับปรุงเมื่อใช้ทอดและผลิตภัณฑ์จากการทอด

Recovery of used oil by adsorption process and quality of refrying oil
and its products



RCH

ร 485 ค

2555

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 137340

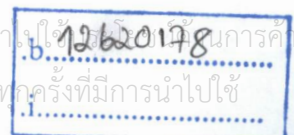
รับเดือนปี 22 ส.ย. 2558

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บทคัดย่อ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มทอดซ้ำโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลา และสัดส่วนปริมาณของถ่านกัมมันต์ต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดใ้ชุบแป้ง พบว่า การดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 80 ± 2 และ 105 ± 2 องศาเซลเซียส สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดได้ดีกว่าการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง การศึกษาสัดส่วนของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับร้อยละ 20, 25 และ 30 และเวลาในการดูดซับ 10, 20 และ 30 นาที พบว่า การดูดซับน้ำมันปาล์มทอดซ้ำด้วยถ่านกัมมันต์ในสัดส่วนปริมาณที่เพิ่มขึ้น สามารถปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำมันปาล์มทอดซ้ำดีขึ้น ค่า PV, FFA, p-AV, TPC สี และค่าความหนืด ในการทดลองนี้ พบว่าการใช้สัดส่วนถ่านกัมมันต์ร้อยละ 30 ให้คุณภาพของน้ำมันปาล์มปรับปรุงได้ดีที่สุด การดูดซับเป็นเวลา 20 และ 30 นาทีไม่มีความแตกต่างของค่าคุณภาพน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แต่มีคุณภาพที่ดีขึ้นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำมันที่ได้รับการดูดซับเพียง 10 นาที

การศึกษาศักยภาพการผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 ต่อสมบัติการทอดน้กเกิดไ้ พบว่า น้ำมันผสมมีค่า FFA, p-AV, TPC และความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นใน 3 วันแรก หลังจากนั้นลดลงในทุกสัดส่วนน้ำมันผสม การเพิ่มสัดส่วนน้ำมันปรับปรุงคุณภาพในน้ำมันผสมทำให้ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าสารประกอบมีขี้จุ ค่าพาราแอนนิซิน ค่าความหนืด ความเข้มของสีเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าความสว่างลดลง อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีคุณภาพของน้ำมันในน้ำมันผสมทุกสัดส่วนไม่แตกต่างกัน ในระหว่างการทอดน้กเกิดไ้ในน้ำมันทอดซ้ำ 7 วัน

การศึกษาคูณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของน้กเกิดไ้ที่ทอดในน้ำมันผสม สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 โดยการวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทอริก (TBA) พบว่า น้กเกิดไ้ที่ทอดจากน้ำมันผสมที่มีสัดส่วนน้ำมันปรับปรุงในน้ำมันผสมสูง มีค่า TBA สูงกว่าสัดส่วนน้ำมันปรับปรุงต่ำกว่า ในระยะเวลาการเก็บเดียวกัน และน้กเกิดไ้ที่ทอดจากน้ำมันทอดซ้ำจำนวนวันมากขึ้น มีค่า TBA สูงกว่าน้ำมันที่ทอดจำนวนวันน้อยกว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า TBA แตกต่างกัน

Abstract

Quality improvement of fried palm oil by adsorption with rice husk ash (burned at 550 ° C, 12 hr). Study the effect of temperature, time and percentage of rice husk ash to improve the quality of used fried chicken palm oil. It was found that the adsorption of rice husk ash at 80±2 and 105±2 ° C could improve the quality of used fried oil better than the adsorption at room temperature (about 27±2 ° C). The study conditions on treated of used palm oil with rice husk ash were percentage of rice husk ash 20, 25 and 30% and adsorption time 10, 20 and 30 min. The results showed more amount of rice husk ash could regenerate better both physical and chemical qualities of treated oils in terms of PV, FFA, p-AV, TPC, and viscosity. In this experiment, 30% of rice husk ash gave the best results. The adsorption time for 20 min and 30 min showed non-significant difference ($P>0.05$) on the oil quality parameters, but they were much more improved than that treated for 10 min.

The study in mixing proportion of fresh palm oil to improved oil; 100:0 75:25 50:50 and 25:75 on frying nugget oil qualities e.g. FFA, p-AV, TPC and viscosity, it was found to increase constantly during repeated of frying for 7 days. In contrast, PV increased first three days and decrease thereafter for all mixing proportion. Higher proportion of improved oil resulted in higher values of FFA, TPC, p-AV, viscosity and chroma (C^*) of mixed oil, while lower of PV and color lightness (L^*). Changing rate of all quality indices was almost the same for every oil proportion during frying of nugget.

The study quality during storage of frying nugget in mixing proportion of fresh palm oil to improved oil; 100:0 75:25 50:50 and 25:75. Fried nuggets from higher proportion of improved oil got higher TBA values compared to the same storage period, repeated oil also made higher TBA values. TBA changing rate for all oil proportion showed non-significant difference.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญภาพ.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 น้ำมันปาล์ม.....	3
2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันในระหว่างการทอดอาหาร.....	4
2.3 สารประกอบที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดอาหาร.....	6
2.4 สารดูดซับเถ้าแกลบ.....	7
2.5 ดัชนีคุณภาพของน้ำมันบริโภค.....	8
2.6 การใช้สารดูดซับในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหาร.....	10
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....	17
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	17
3.2 วัสดุดิบ.....	17
3.3 สารเคมี.....	17
3.4 สถานที่ทำการทดลอง.....	18
3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	18
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งและน้ำมัน ปาล์มใหม่ไม่ผ่านการทอด.....	21
4.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับของเถ้าแกลบที่มีต่อการปรับปรุง คุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง.....	22
4.3 ผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับและปริมาณของเถ้าแกลบต่อการปรับปรุง คุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง.....	24
4.4 ผลสัดส่วนการผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุง คุณภาพต่อสมบัติการทอดนั้กเก็ตไก่.....	30
4.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพนั้กเก็ตไก่ทอด.....	39
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	44
บรรณานุกรม.....	46
ภาคผนวก.....	50
ภาคผนวก ก.....	51
ภาคผนวก ข.....	59
ภาคผนวก ค.....	65

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม.....	3
2.2	องค์ประกอบแร่ธาตุของ Magnesol XL, diatomaceous earth และ เถ้าเคลบจากข้าว.....	8
4.1	สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดใ้ชุบแป้งและน้ำมันปาล์มใหม่ที่ไม่ผ่านการทอด.....	22
4.2	สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดใ้ชุบแป้งที่ไม่ผ่านการใช้สารดูดซับและผ่านการใช้สารดูดซับเถ้าเคลบที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2) 80 ± 2 และ 105 ± 2 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำมันหลังการดูดซับ.....	23
4.3	ค่า P-value ของสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันที่ปรับปรุงคุณภาพ...	24
4.4	ปริมาณของน้ำมันที่ได้หลังผ่านการใช้สารดูดซับเถ้าเคลบที่อุณหภูมิ 80 ± 2 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณสารดูดซับเถ้าเคลบและเวลาในการดูดซับแตกต่างกัน.....	29

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4.1	ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเถ้าแกลบ.....	25
4.2	ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเถ้าแกลบ.....	26
4.3	ค่าพาราแอนนิซิตินของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเถ้าแกลบ.....	26
4.4	ค่าสารประกอบมีขี้ของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเถ้าแกลบ.....	27
4.5	ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านที่การใช้สารดูดซับเถ้าแกลบ	27
4.6	ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเถ้าแกลบ.....	28
4.7	ค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเถ้าแกลบ.....	28
4.8	ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเถ้าแกลบ.....	29
4.9	ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน....	32
4.10	ค่าสารประกอบมีขี้ของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน...	33
4.11	ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน.....	34
4.12	ค่าพาราแอนนิซิตินของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน....	35
4.13	ค่าความหนืดของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน.....	36
4.14	ค่าสีความสว่าง (L*) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน...	37
4.15	ค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน.....	37
4.16	ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน.....	38
4.17	ค่าเข้มของสี (C*) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน.....	38
4.18	ค่า TBA ของนักเก็ตไก่ที่ผ่านการทอดในน้ำมันผสม ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์.....	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
4.19	ค่า TBA ของนักเกตไ้ที่ผ่านการทอดในน้ำมันผสม ภายหลังกการเก็บรักษา เป็นเวลา 3 สัปดาห์.....	41
4.20	ค่า TBA ของนักเกตไ้ที่ผ่านการทอดในน้ำมันผสม ภายหลังกการเก็บรักษา เป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	41
4.21	ค่า TBA ของนักเกตไ้ที่ผ่านการทอดในน้ำมันผสม ภายหลังกการเก็บรักษา เป็นเวลา 5 สัปดาห์.....	42
4.22	ค่า TBA ของนักเกตไ้ที่ผ่านการทอดในน้ำมันผสม ภายหลังกการเก็บรักษา เป็นเวลา 6 สัปดาห์.....	42
4.23	ค่า TBA ของนักเกตไ้ที่ผ่านการทอดในน้ำมันผสม ภายหลังกการเก็บรักษา เป็นเวลา 7 สัปดาห์.....	43
4.24	ค่า TBA ของนักเกตไ้ที่ผ่านการทอดในน้ำมันผสม ภายหลังกการเก็บรักษา เป็นเวลา 8 สัปดาห์.....	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ทั่วโลกมีการผลิตน้ำมันพืชประมาณ 60 ล้านตัน/ปี (Miyagi and Nakajima, 2003) ซึ่งสัดส่วนใหญ่ของน้ำมันในโลกนำไปใช้สำหรับการทอดอาหาร ในระหว่างการทอดน้ำมันจะถูกใช้อย่างต่อเนื่องและซ้ำที่อุณหภูมิสูง(160-180 องศาเซลเซียส) ในที่มีอากาศและความชื้น อาหารที่ทอดในน้ำมันร้อนจะเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่ซับซ้อน เช่น ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส ปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ส่งผลให้น้ำมันเสื่อมเสีย การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระ สารพอลิเมอร์ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ อัลดีไฮด์ และคีโตน เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนืดเพิ่มขึ้น การเกิดฟองและการเกิดสีคล้ำ ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของน้ำมันทอด ได้แก่ ปริมาณอาหารทอด เวลา อุณหภูมิการทอด ชนิดของกระบวนการทอด ชนิดน้ำมัน ชนิดอาหาร เป็นต้น น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่นิยมใช้สำหรับอาหารทอด ทั้งระดับอุตสาหกรรมและครัวเรือน เนื่องจาก ราคาถูก มีจำหน่ายทั่วไป มีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูง ทำให้มีความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันได้ดี คุณภาพของอาหารจึงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เมื่อเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ เช่น น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันถั่วเหลือง เป็นต้น (Hui, 1996)

การใช้วิธีการต่างๆ เพื่อลดสารประกอบที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาในน้ำมันที่ผ่านการทอด เช่น การใช้สารดูดซับ (Lin *et al.*, 1999; Farag and El-Anany, 2006) การใช้สารละลายของกรดเพอร์สซัลเฟตเติมในน้ำมัน เขย่าและแยกออก (Farag and Basuny, 2002) การใช้วิธีการกรองผ่านเยื่อเมมเบรนพิเศษ (Mulflur and Munson, 1987; Subramanian *et al.*, 2000) วิธีการเหล่านี้สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ใช้แล้วให้ดีขึ้นได้

ประเทศไทยมีเกลบเป็นผลพลอยได้จากการผลิตข้าวสาร ซึ่งถ้าเกลบสามารถใช้เป็นตัวดูดซับในการกำจัดผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันของน้ำมัน เนื่องจากเกลบมีองค์ประกอบ Si และ Mn สูง เมื่อเทียบกับสารดูดซับ Magnesol XL และ Diatomaceous earth (Farag *et al.*, 2009) วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้ตัวดูดซับเกลบในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดแล้ว ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เป็นการเพิ่มมูลค่าของน้ำมันใช้แล้วและลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารทอด

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับของถ้ำเกลือต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง
2. ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับและปริมาณของถ้ำเกลือต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง
3. ศึกษาสัดส่วนการผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพต่อสมบัติการทอดนั้กเก็ตไก่
4. ศึกษาคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของนั้กเก็ตไก่ที่ทอดในน้ำมันผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง โดยศึกษาอุณหภูมิการดูดซับสารของถ้ำเกลือที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2), 80 ± 2 และ 105 ± 2 องศาเซลเซียส ปริมาณของถ้ำเกลือร้อยละ 20, 25 และ 30 กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม เวลาดูดซับ 10, 20 และ 30 นาที และศึกษาสัดส่วนของน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 ซึ่งน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพเตรียมจากการดูดซับที่อุณหภูมิ เวลาในการดูดซับ และปริมาณถ้ำเกลือที่เหมาะสม ศึกษาสมบัติการทอดของน้ำมันผสมต่อการทอดนั้กเก็ตไก่ ได้แก่ ค่าสารประกอบมิซัว ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดิน ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าความหนืด ค่าสี และศึกษาคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาของนั้กเก็ตไก่ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่า TBA

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันปาล์ม

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* Jacq. อยู่ในตระกูล Palmae มีชื่อสามัญว่า African oil palm น้ำมันปาล์มได้จากการนำผลปาล์มเข้าเครื่องบีบอัดเพื่อทำการสกัดน้ำมันแล้วจึงนำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้ไปผ่านกรรมวิธีการผลิตน้ำมันปาล์มเพื่อให้ได้น้ำมันพืช (ปาล์ม) ที่มีความบริสุทธิ์ น้ำมันที่สกัดได้จากผลปาล์มสดมี 2 ชนิด ชนิดที่สกัดได้จากชั้นของเนื้อผล เรียกว่า น้ำมันปาล์ม (palm oil) และที่สกัดได้จากเนื้อในเมล็ด เรียกว่า น้ำมันเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) ซึ่งน้ำมันเมล็ดปาล์มไม่นิยมนำมาบริโภคเนื่องจากมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงถึง 85% น้ำมันปาล์มบริโภคประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม

ชื่อสามัญ	ชนิดกรดไขมัน	ร้อยละของกรดไขมัน	
		ช่วง	เฉลี่ย
กรดลอริก	C 12:0	0.1-1.0	0.2
กรดไมริสติก	C 14:0	0.9-15	1.1
กรดปาล์มิติก	C 16:0	16.8-41.8	44.0
กรดปาล์มิโตเลอิก	C 16:1	0.1-0.3	0.1
กรดสเตียริก	C 18:0	4.2-5.1	4.5
กรดโอเลอิก	C 18:1	37.3-40.8	39.2
กรอไลโนเลอิก	C 18:2	9.1-11.0	10.1
กรอไลโนเลนิก	C 18:3	0.0-0.6	0.1
กรดอาราซิติค	C 20:0	0.2-0.7	0.4

หมายเหตุ: C 12:0 หมายถึง กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 12 อะตอม ไม่มีพันธะคู่

C 18:1 C 18:2 C 18:3 หมายถึง กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ที่มา: Hamilton (1995)

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าน้ำมันปาล์มมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ คือ กรดไขมันชนิดอิ่มตัวและชนิดไม่อิ่มตัวอย่างละประมาณร้อยละ 50 เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 พันธะ (monounsaturated) ประมาณร้อยละ 40 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2 พันธะ (diunsaturated) ประมาณร้อยละ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันในระหว่างการทอดอาหาร

น้ำมันโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ประมาณ 96-99 % ในระหว่างการทอดอาหารน้ำมันได้รับความร้อนสูงถึง 160-180 องศาเซลเซียส และมีการสัมผัสกับออกซิเจนและน้ำ จึงมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเกิดสารประกอบมากมาย ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดอาหาร เช่น น้ำมันมีสีคล้ำมากขึ้น จุดเกิดควันลดลง เกิดฟองมากขึ้น มีความหนืดเพิ่มขึ้น มีกรดไขมันอิสระ สารโพลาร์ และสารพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น เป็นต้น การเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดอาหารจะมีผลต่อคุณภาพของอาหารที่นำมาทอด (Paul and Mittal, 1997) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดอาหาร ได้แก่

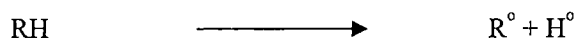
2.2.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) เป็นปฏิกิริยาเคมีที่ออกซิเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับน้ำมันตรงตำแหน่งพันธะคู่ (double bonds) ทำให้เกิดการเสื่อมเสียแก่น้ำมันปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงการเก็บรักษา แต่เมื่อมีการให้ความร้อนแก่น้ำมันปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ปฐมภูมิ (primary oxidation products) มีสมบัติไม่เสถียร คือ สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบทุติยภูมิ (secondary oxidation products) อื่น ๆ ได้ดังนี้

1. จากการแตกตัว (fission) เป็นแอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ กรดและไฮโดรคาร์บอน
2. จากการสูญเสียน้ำ (dehydration) ได้คีโตน
3. จากการก่อรูปของอนุมูลอิสระ ได้แก่ โมโนเมอร์ ไดเมอร์ ไตรเมอร์ พอลิเมอร์

อีพอกไซด์ แอลกอฮอล์ (Perkins, 1996) สารประกอบเหล่านี้ทำให้น้ำมันและอาหารที่ผ่านการทอดเกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ปริมาณสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวเป็นผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิได้อย่างรวดเร็ว ได้มีการศึกษาค่าเปอร์ออกไซด์มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการใช้อุณหภูมิสูงในการทอด (Lomanno and Nawar, 1982)

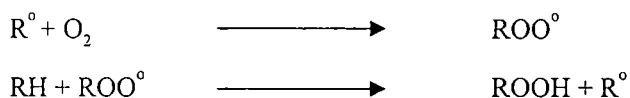
กลไกการเกิดออกซิเดชัน แบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. **ขั้นเริ่มต้น (Initiation)** เป็นขั้นตอนการเริ่มเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) เกิดกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ซึ่งไม่แข็งแรง ไวต่อปฏิกิริยา โดยเริ่มต้นที่คาร์บอนที่ตำแหน่งพันธะคู่สูญเสียไฮโดรเจนอะตอม ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นด้วยแสง รังสี โลหะ ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระไฮโดรคาร์บอน (R^\bullet) ซึ่งอะตอมอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเป็นอิเล็กตรอนที่ไม่มีคู่ (unpaired electron) ซึ่งว่องไวต่อปฏิกิริยา

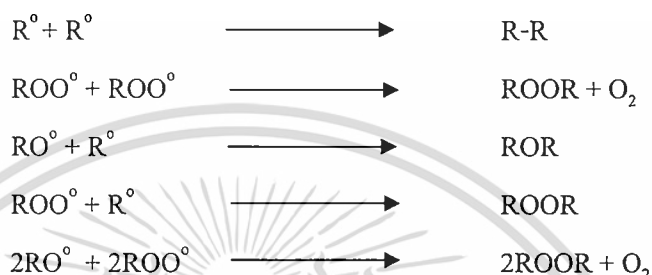


2. **ขั้นเพิ่มจำนวน (Propagation)** เกิดจากออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy radical) (ROO^\bullet) ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่เกิดขึ้น

อย่างต่อเนื่องทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากมาย โดยอนุมูลเปอร์ออกซิทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวใหม่ได้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH)



3. ขั้นสุดท้าย (Termination) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมารวมตัวกันเองเกิดเป็นสารใหม่ เช่น อัลคิลไฮด์ คีโตน แอลกอฮอล์ อัลเคน กรด เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดสี กลิ่นและรส ที่ผิดปกติของน้ำมันและไขมัน



2.2.2 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงในสถานะที่มีออกซิเจน นอกจากจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว หากยังมีการให้ความร้อนต่อเป็นเวลานานจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งจะทำให้ไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเกิดการสร้างพันธะระหว่างคาร์บอน (carbon-carbon) เกิดสารประกอบที่มีโมเลกุลสูงจำพวก โมโนเมอร์แบบวง ไคเมอร์ พอลิเมอร์ ซึ่งเป็นผลทำให้น้ำมันมีสีคล้ำ ประสิทธิภาพในการเป็นตัวกลางสำหรับการถ่ายเทความร้อนจะลดลง เนื่องจากโมเลกุลของน้ำมันเป็นสายยาวเมื่อเย็นตัวลงจะทำให้น้ำมันดังกล่าวมีลักษณะข้นหนืดและเกิดฟอง น้ำมันที่เกิดปฏิกิริยานี้ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารทอดมีลักษณะอมน้ำมันได้ง่าย คุณภาพและรสชาติเปลี่ยนแปลง และถ้าเกิดปฏิกิริยานี้มากจะทำให้น้ำมันเสียคุณค่าทางโภชนาการ

2.2.3 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อไขมันหรือน้ำมันได้รับความร้อนสูงไอน้ำในอาหารจะทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) ถูกย่อยได้เป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) กลีเซอรอล (glycerol) (O'Brien, 1993) ซึ่งการเกิดปฏิกิริยานี้ทำให้ค่าความเป็นกรดของไขมันและน้ำมันสูงขึ้น เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจะสลายตัวได้สารพวกอะโครเลอิน (acrolein) ซึ่งระเหยกลายเป็นควันและมีกลิ่นเหม็น (นิธิยา, 2548)

อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสขึ้นอยู่กับ

1. ปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้าไปในน้ำมันทอด ถ้ามีปริมาณน้ำมากขึ้นจะเกิดเร็วขึ้น
2. อุณหภูมิของน้ำมันทอด ถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้อัตราการเกิดเร็วขึ้น

3. การเติมน้ำมันแทนที่น้ำมันที่ใช้ที่หายไปในระหว่างการทอด หากมีการแทนที่น้ำมันที่ใช้แล้วด้วยน้ำมันใหม่มากขึ้น อัตราการเกิดน้อยลง
4. กากและเศษอาหารที่สะสมในการทอด ถ้ามีเศษอาหารสะสมมากทำให้อัตราการเกิดมากขึ้นด้วย โดยเป็นตัวเร่งการเกิดกรดไขมันอิสระ

2.3 สารประกอบที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดอาหาร

เมื่อเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในระหว่างการทอดอาหารเกิดสารประกอบทางเคมีต่าง ๆ มากมาย ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

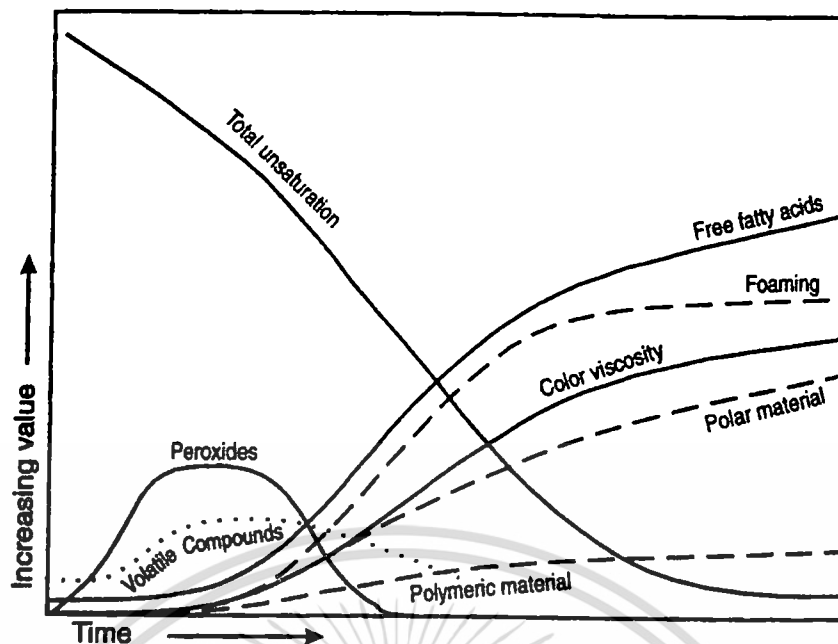
2.3.1 กลุ่มสารประกอบที่ระเหยได้

การสลายตัวของกรดไขมันในน้ำมันทอดจะส่งผลต่อการเกิดสารประกอบที่ระเหยได้และต่อกลิ่นรสของอาหารทอด สารประกอบที่ระเหยได้ เช่น ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) คีโตน (ketone) อัลดีไฮด์ (aldehyde) กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) เป็นต้น ซึ่งสารประกอบกลุ่มนี้มีผลต่อกลิ่นรสของอาหาร

2.3.2 กลุ่มสารประกอบที่ระเหยไม่ได้

สารเหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในระหว่างการเกิดออกซิเดชันและพอลิเมอไรเซชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมัน สารประกอบที่ระเหยไม่ได้ เช่น โมโนเมอร์แบบวง (cyclic monomer) โมโนเมอร์ไม่วง (noncyclic monomer) ไดเมอร์ (dimer) ไตรเมอร์ (trimer) และสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สารที่ไม่ระเหยเหล่านี้ยังคงอยู่ในน้ำมันทอด และจะเสื่อมสลายต่อไปทุกครั้งที่ใช้ น้ำมันนี้ทอดอาหาร และอาหารจะดูดซับสารเหล่านี้ไว้ หากใช้น้ำมันทอดหลาย ๆ ครั้งทำให้เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งสะสมอยู่ในน้ำมันและไม่ระเหย ทำให้ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเปลี่ยนไป เช่น ความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดสีและฟอง ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น เกิดกรดไขมันอิสระ จำนวนกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลง และเกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (Stevenson *et al.*, 1984)

การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นกระบวนการที่ทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวและจุดเกิดควันของน้ำมันลดลง ทำให้เกิดฟองในน้ำมัน สี ความหนืด กรดไขมันอิสระ สารประกอบคาร์บอนิล และสารประกอบมีขั้วเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การทอดแบบน้ำมันท่วมยังทำให้เกิดสารประกอบที่ให้กลิ่นรส (flavor complex) ทั้งที่ต้องการและไม่ต้องการ แสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม

ที่มา : Choe *et al.* (2007)

2.4 สารดูดซับเถ้าแกลบ

แกลบ (rice husk) คือ ผลผลิตที่ได้จากการสีข้าว เป็นเปลือกของข้าวสารที่เหลือใช้จากการผลิตข้าว มีลักษณะเป็นรูปทรงรี เมื่อยาวสีเหลืองอมน้ำตาล หรือเหลืองนวลแล้วแต่ภูมิประเทศที่มีการปลูกข้าว แกลบที่ถูกเผาในสภาวะที่มีการเผาไหม้สมบูรณ์ สีของขี้เถ้าแกลบจะเป็นสีเทาหรือสีขาว แต่ถ้าแกลบถูกเผาในสภาวะที่ไม่สมบูรณ์ สีของเถ้าแกลบจะมีสีดำ เมื่อแกลบข้าวถูกนำไปเผาเป็นขี้เถ้าแกลบ (rice husk ash) มีสารประกอบซิลิกาเป็นสารประกอบหลัก ซิลิกาเป็นสารประกอบอนินทรีย์ ประกอบด้วยธาตุซิลิคอน และออกซิเจน มีชื่อเรียกทางเคมีว่า ซิลิคอน ไดออกไซด์ (SiO_2) หากเผาแกลบในอุณหภูมิที่เหมาะสมจะได้ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูง เถ้าแกลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบประมาณ 70-90% และเถ้าแกลบมีความพรุน (porosity) มาก น้ำหนักเบา มีพื้นที่ผิวมาก มีสมบัติดูดซับ (adsorb) ดี มีสมบัติเป็นฉนวน ไม่นำไฟฟ้าและความร้อน ทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี ดูดซับความชื้นและสารเคมีได้ดี ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารและยา ใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงในอุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ ใช้เป็นตัวทำให้สารบริสุทธิ์ (refining agent) ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี Farag *et al.* (2009) ศึกษาองค์ประกอบแร่ธาตุของเถ้าแกลบจากข้าวและสารดูดซับ Magnesol XL, diatomaceous earth โดยใช้เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer มีค่าดังแสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบแร่ธาตุของ Magnesol XL, diatomaceous earth และ เถ้าแกลบจากข้าว

แร่ธาตุ (ppm)	Magnesol XL	Diatomaceous earth	เถ้าแกลบจากข้าว
Si	330.50 ± 2.70	325.30 ± 1.87	304.60 ± 2.40
Mg	265.70 ± 1.81	109.03 ± 2.11	173.50 ± 1.55
Ca	140.50 ± 1.02	201.02 ± 2.31	133.30 ± 1.34
Fe	10.03 ± 0.62	25.07 ± 1.02	20.03 ± 1.03
Al	6.30 ± 0.51	10.50 ± 0.72	8.99 ± 0.68
Mn	566.30 ± 3.40	450.50 ± 2.91	521.30 ± 4.11
Cu	10.30 ± 0.76	71.30 ± 2.03	75.50 ± 1.13

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Farag *et al.* (2009)

2.5 ตัวชี้วัดคุณภาพของน้ำมันบริโภค

2.5.1 ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (polar compound)

สารประกอบมีขั้วเกิดจากไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีขั้วในน้ำมัน ถูกไฮโดรไลซิส ออกซิไดส์ และพอลิเมอร์ไรด์ ได้สารประกอบที่มีขั้วเช่น กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดเมอร์ และพอลิเมอร์ ที่ถูกออกซิไดส์ ดังนั้นสารประกอบมีขั้ว จึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพ และการยอมรับของน้ำมันใช้แล้วในทุกประเทศ หากมีสารประกอบมีขั้วมากในน้ำมันทอด มีผลต่อกลิ่นรสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ (283) พ.ศ. 2547 กำหนดให้น้ำมันที่จะนำมาทอดอาหารหรือประกอบอาหารมีค่าสารประกอบมีขั้วไม่เกิน 25%

2.5.2 ค่ากรด (acid value)

เป็นค่าที่บ่งบอกคุณภาพของน้ำมันและไขมัน โดยเป็นค่าบ่งชี้ว่า ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยมีเอนไซม์ไลเปส (lipase) และความชื้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลที่ได้คือ กลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ ซึ่งทำให้น้ำมันและไขมันมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น หากค่าความเป็นกรดสูง แสดงว่าน้ำมันเสื่อมคุณภาพ มีจุดเกิดควันต่ำ และเป็นสาเหตุเริ่มต้นของการเหม็นหืน (rancidity) นอกจากนี้ยังมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (lipid oxidation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาถูกโซ่ ซึ่งทำให้เกิดการเหม็นหืนอย่างต่อเนื่อง และรวดเร็ว

2.5.3 จุดเกิดควัน (smoke point)

จุดเกิดควัน คือ อุณหภูมิที่ไขมัน หรือน้ำมัน ได้รับความร้อนจนเกิดเป็นควันขึ้น เป็นสมบัติที่สำคัญของน้ำมัน หรือไขมัน ในการจะนำไปใช้ทอดอาหาร บ่งบอกถึงความคงทนความร้อนของน้ำมัน แสดงถึงคุณภาพน้ำมันที่จะนำมาใช้ โดยน้ำมันที่มีจุดเกิดควันต่ำเกินไปไม่ควรนำมาใช้ในการทอด น้ำมันหรือไขมันสำหรับใช้ในการทอดอาหารที่ดี ต้องทนความร้อน ไม่สลายตัวเป็นควันที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิต่ำ เพราะถ้าเกิดควันขณะทอด ทำให้อาหารมีกลิ่นควันติดไปด้วย ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดควัน หากน้ำมันมีกรดไขมันอิสระต่ำ จะทำให้จุดเกิดควันสูง แต่ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ค่าจุดเกิดควันจะลดลง

2.5.4 ความหนืด (viscosity)

บอกถึงองค์ประกอบและชนิดของกรดไขมัน ความหนืดของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อพันธะคู่ใน โมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิของไขมันหรือน้ำมันเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่ความหนืดของน้ำมันทอดเพิ่มขึ้น มีผลมาจากในระหว่างการทอดมีการเกิดสารพอลิเมอร์ขึ้น เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำมันมีความหนืดและเกิดฟองมากขึ้น ในประเทศเบลเยียมอนุญาตให้น้ำมันใช้แล้วที่นำมารีไซเคิลต้องมีความหนืดน้อยกว่า 27 mPa-sec ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (Riera *et al.*, 2000)

2.5.5 สี (color)

เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของน้ำมัน น้ำมันแต่ละชนิดมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน และวิธีการกำจัดสี โดยการฟอกสี น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อน มีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม อาหารทุกชนิดที่ทอดให้สารพวก ฟอสเฟต และซัลเฟอร์ ซึ่งสารที่ออกมาเหล่านี้ ทำปฏิกิริยากับน้ำมันทอด ทำให้น้ำมันมีสีดำ และสะสมอยู่ในน้ำมันระหว่างการทอดอาหาร เมื่อน้ำมันดำขึ้นหลังจากการทอด อาหารที่ทอดในน้ำมันนี้มีสีดำในอัตราที่รวดเร็วมากจนถึงจุดซึ่งอาหารที่ทอดจะดำเกินไปทั้งที่ยังไม่สุกหมด

2.5.6 ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)

เปอร์ออกไซด์เป็นสารปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการออกซิเดชันของไขมัน การหาปริมาณสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในน้ำมันหรือไขมัน โดยสามารถบ่งชี้ได้ว่า ไขมันและน้ำมันเกิดการหืน เนื่องจากออกซิเดชันมากน้อยเท่าใด จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 56 (พ.ศ.2524) กำหนดให้น้ำมันปาล์ม มีค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม

2.5.7 ค่าพาราแอนนิดีน (*p*-anisidine)

เป็นการหาปริมาณสารอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ได้แก่ 2,4-dienals และ 2-alkenals เป็นต้น ซึ่งสารอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นนี้เป็นสารที่ให้กลิ่นหืน หากมีการพบสารเหล่านี้มากในน้ำมันทอด แสดงว่าน้ำมันมีการหืนมากและส่งผลกระทบต่อกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหารทอด ทำให้มีกลิ่นรสที่ผิดปกติ

2.5.8 ปริมาณสารพอลิเมอร์ (polymer)

สารพอลิเมอร์ เป็นสารที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการทอดอาหารเกิดจากการที่โมเลกุลเล็ก ๆ ของน้ำมันมารวมตัว และจับตัวเป็น โมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นเกิดเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้น้ำมันทอดมีการเกิดฟองมากขึ้นและมีการเกิดสารเหนียวที่ขอบเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเมื่อมีการเกิดฟองที่ผิวของน้ำมันระหว่างการทอดจะมีการสะสมเป็นชั้น ทำให้น้ำมันมีการแตกตัวและเสื่อมคุณภาพ ในการตรวจวัดควรตรวจวัดทั้ง ไคเมอร์ และพอลิเมอร์ ของไตรกลีเซอไรด์ที่ถูกลอกซีไคส์และไม่ถูกลอกซีไคส์

2.6 การใช้สารดูดซับในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหาร

Lin *et al.* (1998) ศึกษาการใช้สารดูดซับปรับปรุงคุณภาพน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมไฮโดรเจนที่ผ่านการทอดอาหาร (เนื้อซี่โครง ออกไก่ หมูสับ) อย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ที่ 360 องศาฟาเรนไฮต์ โดยสารดูดซับที่ใช้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ สารดูดซับที่ใช้ทั่วไปในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ Silasorb, Britesorb, HB 600, Purim, Frypowder, Activated Carbon และ Magnesol และสารดูดซับที่ไม่นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ ได้แก่ Sorbead AF และ Calsilite จากการศึกษาพบว่า HB 600 ทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลง 84.5% Frypowder ทำให้เสถียรภาพของน้ำมันดีขึ้น 38.3% Magnesol ทำให้สีของน้ำมันดีขึ้น 46.3% และการผสมกันของสารดูดซับ HB 600 และ Magnesol มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ 90.8-93.7% ลดปริมาณสารประกอบมีขี้ตัวได้ 6.0-17.8% และปรับปรุงความคงตัวของน้ำมันได้ 23.4-24.7%

Lin *et al.* (1999) ศึกษาการใช้สารดูดซับร่วมกันในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดอาหาร โดยสารดูดซับชนิดต่าง ๆ ได้แก่ Britesorb (Br), Hubersorb 600 (HB), Frypowder (Fr) และ Magnesol (Ma) ในการดูดซับสารประกอบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดอาหาร จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของชุดสารดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับสารประกอบต่าง ๆ คือ 3% : 3% : 2% (HB : Ma : Fr) และ 2% : 3% : 2% (HB : Ma : Br) และเวลาที่ใช้ในการผสมที่เหมาะสมสำหรับชุดสารดูดซับ HB : Ma : Fr คือ 6-9 นาที และ HB : Ma : Br คือ 3-6 นาที ซึ่งสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ 82.6 – 87.6 % ลดค่าการดูดกลืนแสงได้ 26.8–32.6 % และเมื่อเติมสารต้านอนุมูลอิสระ butylated hydroxytoluene 50 ppm และ propyl gallate 50 ppm พบว่าค่า oxidative stability index ของน้ำมันเพิ่มขึ้น 48.9 – 80.8%

Farook and Ravendran (2000) ศึกษาการเตรียมตัวดูดซับจากถั่วเหลืองด้วยการแช่กรดไนตริกที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ และ 14.0 โมลาร์ ซึ่งมี pH 6.58 และ 6.13 ตามลำดับ โดยแช่กรดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อทำให้ pH เป็นกลาง จากนั้นทำแห้งในตู้อบที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาทดสอบการดูดซับกรดไขมันอิสระ พบว่าการแช่กรดเพิ่มพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนของถั่วเหลืองให้มากขึ้นกว่าถั่วเหลืองที่ไม่ได้ผ่านการแช่กรด และยังเพิ่มความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระโดยการแช่กรดที่ความเข้มข้น 14.0 โมลาร์ มีความสามารถในการดูดซับมากกว่าการแช่กรดที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์

Kalapathy and Proctor (2000) ศึกษาการผลิตฟิล์มโซเดียมซิติลเกิดจากถั่วเหลืองเพื่อลดปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอด โดยฟิล์มที่เตรียมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32, 28, 24 และ 20% กับสารละลาย ซิลิกาความเข้มข้น 45, 50, 55 และ 60% ตามลำดับ ฟิล์มที่เตรียมได้มีความชื้น 20-23% พบว่าฟิล์มที่เตรียมได้มีประสิทธิภาพในการดูดซับกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-40 นาที การดูดซับด้วยซิลิกาฟิล์มที่ความเข้มข้น 45 และ 50% เป็นเวลา 40 นาที สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ดีกว่าการดูดซับด้วยซิลิกาฟิล์มที่ความเข้มข้น 60% โดยปริมาณกรดไขมันอิสระลดลง จาก 0.8 เป็น 0.55, 0.55, 0.57 และ 0.59% หลังจากการดูดซับเป็นเวลา 40 นาที ด้วยซิลิกาฟิล์มความเข้มข้น 45, 50, 55 และ 60% ตามลำดับ ค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น 48- 60 meq/kg จากการดูดซับด้วยซิลิกาฟิล์มที่ความเข้มข้น 45, 50 และ 55% การดูดซับด้วยซิลิกาฟิล์มที่ความเข้มข้น 60% สามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ถึง 42 meq/kg ค่า Saponification เพิ่มขึ้นจาก 51 เป็น 100 ppm

Lin *et al.* (2001) ศึกษาการใช้สารดูดซับร่วมกันในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหาร (เนื้อซี่โครง อกไก่ หมูสับ) อย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ที่ 360 องศาฟาเรนไฮต์ โดยสารดูดซับที่ใช้ ได้แก่ Britesorb (Br), Hubersorb 600 (HB), Frypowder (Fr) and Magnesol (Ma) จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของชุดสารดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับสารประกอบต่าง ๆ คือ 3% : 3% : 2% (HB : Ma : Fr) และ 2% : 3% : 2% (HB : Ma : Br) ซึ่งอัตราส่วนของชุดสารดูดซับ 3% : 3% : 2% (HB : Ma : Fr) สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยลดปริมาณกรดไขมันอิสระ, สารประกอบมีขี้, Food oil Sensor และความแตกต่างของสี (ΔE) 61.9, 38.0, 11.3 และ 25.2% ตามลำดับ อัตราส่วนของชุดสารดูดซับ 2% : 3% : 2% (HB : Ma : Br) สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน โดยลดปริมาณกรดไขมันอิสระ, สารประกอบมีขี้, Food oil Sensor, และความแตกต่างของสี (ΔE) 59.7, 25.2, 19.5 และ 3.5% ตามลำดับ

Miyagia *et al.* (2001) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดและประเมินความเป็นไปได้ของการรีไซเคิล โดยใช้กระบวนการกรอง โดยใช้เมมเบรนพอลิเมอร์ NTGS-2200 พบว่าการปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน โดยวิธีนี้สามารถลดสารประกอบมีขี้ และผลิตภัณฑ์ออกซิเดชัน ซึ่งทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมันทอด สารประกอบมีขี้ลดลง 32-42% ผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันลดลง 14-48%

Bheemreddy *et al.* (2002) ศึกษาผลของการใช้สารดูดซับที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำมัน โดยในการทดลองนี้ใช้น้ำมันพืชคาโนลามาทอดเนื้อไก่ เป็นเวลา 10 วัน พร้อมกับการใช้สารดูดซับในการดูดซับสารต่าง ๆ ภายหลังจากการทอดทุกวัน และควบคุมสภาวะการทอดให้คล้ายกับการทอดอาหารในร้านอาหารทั่วไป สารดูดซับที่ใช้มี 3 ชนิด ได้แก่ Hubersorb 600 (HB), Frypowder (Fr) และ Magnesol (Ma) จากการศึกษาพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระ การเปลี่ยนแปลงของสี และปริมาณสารประกอบมีขี้ ลดลง 72 30 และ 52% ตามลำดับ

วรศรา (2528) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง โดยใช้สารดูดซับซิลิกาเจล จากผลการศึกษา พบว่า ขนาดรูพรุนและขนาดอนุภาคของสารดูดซับซิลิกาเจลมีผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร ขนาดรูพรุน 100 อังสตรอม สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันได้ดีกว่าที่ขนาดรูพรุน 40 และ 60 อังสตรอม ซิลิกาเจลขนาดอนุภาคเล็ก (≤ 0.063 มิลลิเมตร) ไม่ทำให้การปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีส่วนใหญ่ของน้ำมันดีขึ้นกว่าซิลิกาเจลขนาดอนุภาคใหญ่กว่า (0.063-0.2 และ 0.2-0.5 มิลลิเมตร) ในขณะที่ซิลิกาเจลขนาดอนุภาค 0.063-0.2 มิลลิเมตร ทำให้การปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันดีที่สุด เวลาในการดูดซับและปริมาณสารดูดซับซิลิกาเจลมีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหาร การเพิ่มปริมาณซิลิกาเจลทำให้น้ำมันมีการปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพดีขึ้น และเมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นมีผลต่อการปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเล็กน้อย น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งที่ วริศรา (2548) ศึกษา มีค่ากรดไขมันอิสระ 0.46% ค่าเปอร์ออกไซด์ 6.04 meq/kg ค่าพาราแอนนิซิติน 37.71 meq/kg ค่าสารประกอบมีขี้ 12.28 % ค่าความหนืด 95.40 cP เมื่อใช้สารดูดซับซิลิกาเจลที่มีขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม ขนาดอนุภาค 0.063-0.2 มิลลิเมตร ปริมาณ 30 กรัม ใช้เวลาในการดูดซับ 10 นาที ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง พบว่า มีค่ากรดไขมันอิสระ 0.19% ค่าเปอร์ออกไซด์ 3.89 meq/kg ค่าพาราแอนนิซิติน 8.88 meq/kg ค่าสารประกอบมีขี้ 5.25 % ค่าความหนืด 83.60 cP

สาวตรี และ ศदानันท์ (2548) ศึกษาความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่เลิกใช้จากการทอดปลาทองโก๋ โดยใช้ตัวดูดซับจำพวกซิลิกา 4 ชนิด ได้แก่ Silica Hydrogel and Alumina Blend (R100), Silica Hydrogel and Perlite Blend (C201), Silica Xerogel (C930) และ Spray-Dried Sodium Silicate (F100) ที่ระดับความเข้มข้น 1-3% w/w พบว่าตัวดูดซับทั้งหมดโดยเฉลี่ยมีประสิทธิภาพในการทำงานดีขึ้นที่ระดับความเข้มข้น 3% มีความสามารถในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระตามลำดับดังนี้ Sodium Silicate, Silica Xerogel, Silica Hydrogel and Perlite Blend และ Silica Hydrogel and Alumina Blend โดย Sodium Silicate ที่ระดับความเข้มข้น 3% ลดปริมาณกรดไขมันอิสระจาก 0.46-0.67% เหลือ 0.22-0.34% ในด้านประสิทธิภาพในการลดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm และความหนืด มีค่าตามลำดับดังนี้ Silica xerogel (13.6%, 0.7%), Silica Hydrogel and Perlite Blend (7.8%, -0.1%), Silica Hydrogel and Alumina Blend (4.8%, -2.7%), Sodium Silicate (-0.6%, -43.6%)

สาวตรี และ ศदानันท์ (2549) ศึกษาความเข้มข้นและเวลาของการดูดซับที่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่เลิกใช้จากการทอดอาหารชนิดต่าง ๆ เช่น อาหารจานด่วน อุตสาหกรรมบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป และปลาทองโก๋ โดยตัวดูดซับจำพวกซิลิกาที่ใช้มี 4 ชนิด ได้แก่ Silica Hydrogel and Alumina Blend (R100), Silica Hydrogel and Perlite Blend (C201), Silica Xerogel (C930) และ Spray-Dried Sodium Silicate (F100) ที่ระดับความเข้มข้น 1-3% w/w พบว่าตัวดูดซับที่มีความสามารถในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ดีที่สุดคือ Sodium Silicate โดยที่ระดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นจะมีประสิทธิภาพในการลดกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น โดย 3% Sodium

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Silicate สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ 90.35-102.04% เมื่อศึกษาประสิทธิภาพในการลดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร พบว่า 3% Silica Xerogel มีความสามารถในการลดสีค้ำของน้ำมันปาล์มที่เติมน้ำแล้วได้ร้อยละ 39.57 เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของ Silica Xerogel สามารถลดสีค้ำของน้ำมันได้มากขึ้น การปรับปรุงคุณภาพด้วย 3% Silica Xerogel เป็นเวลา 10 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการดำเนินงาน

Miyagi and Nakajima (2003) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดที่ได้จากโรงอาหารและที่ใช้ในครัวเรือนด้วยกระบวนการใช้สารดูดซับ และประเมินความเป็นไปได้ของการนำสารดูดซับกลับมาใช้อีก สารดูดซับที่ใช้ ได้แก่ silica gel, magnesium oxide, activated clay และ aluminum hydroxide gel โดยทำการทดลองเพื่อหาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมของสารดูดซับและวิธีการดูดซับที่เหมาะสม จากการทดลองพบว่าชนิดของสารดูดซับที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ คือ silica gel เนื่องจากสามารถลดปริมาณสารประกอบมีขี้วัว ปริมาณกรดไขมันอิสระ สี ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าพาราแอนนิซิตินได้มากกว่า 50% และยังมีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันมากที่สุด เมื่อพิจารณาปริมาณที่เหมาะสมของสารดูดซับซิลิกาเจล พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาเจลเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณสารประกอบมีขี้วัว ปริมาณกรดไขมันอิสระ สี และความหนืดลดลง เมื่อศึกษาวิธีการในการดูดซับ พบว่า การใช้สารดูดซับแบบติดต่อกันอย่างต่อเนื่อง (successive adsorption) ซิลิกาเจลจะมีความสามารถในการดูดซับสารประกอบมีขี้วัวมากกว่าการใช้สารดูดซับแบบ batch adsorption นอกจากนี้ยังได้ศึกษาประสิทธิภาพในการนำสารดูดซับกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งอีก พบว่า ซิลิกาเจลมีประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง 20 – 50 %

Miyagi *et al.* (2003) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดแล้วโดยใช้กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรอง (membrane processing) ซึ่งใช้เยื่อกรองคอมโพสิต (composite) แบบ NTGS-2200 และกระบวนการดูดซับ (adsorption processing) ซึ่งใช้สารดูดซับ silica gel ปริมาณ 0-15 กรัม และ magnesium oxide ปริมาณ 0-3 กรัม พบว่าการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยใช้กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรอง สามารถปรับปรุงคุณภาพโดยรวมของน้ำมัน แต่ไม่สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระ และผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากออกซิเดชันได้ และเมื่อใช้กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรองร่วมกับกระบวนการดูดซับ พบว่า สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันได้ดีขึ้นใกล้เคียงกับน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการทอด และยังพบว่าการใช้สารดูดซับ silica gel ร่วมกับ magnesium oxide จะทำให้การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดีกว่าการใช้สารดูดซับ silica gel หรือ magnesium oxide เพียงชนิดเดียว

Maskan and Bagci (2003) ศึกษาผลของการใช้สารดูดซับที่มีผลต่อคุณภาพน้ำมันเมล็ดทานตะวันที่ผ่านการทอดมันฝรั่ง โดยในการทดลองใช้มันฝรั่ง 100 กรัม น้ำมันเมล็ดทานตะวัน 1.5 ลิตร ทอดที่ 170 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทอดแต่ละครั้ง 6 นาที จำนวน 50 ครั้ง สารดูดซับที่ใช้ ได้แก่ CaO, MgO, Mg₂CO₃, activated charcoal, bentonite, magnesium silicate และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pekmez earth จากการศึกษพบว่า bentonite, magnesium silicate และ pekmez earth มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณความหนืด กรดไขมันอิสระ และปรับปรุงคุณภาพสีของน้ำมัน และจากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวดูดซับในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเมล็ดทานตะวันผ่านการทอด คือการรวมกันของ 2% pekmez earth, 3% bentonite และ 3% magnesium silicate

Farag and Basuny (2006) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่ผ่านการทอดโดยใช้สารช่วยกรองสังเคราะห์ (Magnesol XL) และธรรมชาติ (diatomaceous earth และ kaolin) โดยใช้ในระดับต่าง ๆ 1, 2 และ 4 % ทำการศึกษาการดูดซับผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันของน้ำมัน ในรูปแบบโลหะ (ไอออนบวก Mg, Ca, Fe, Na, K, Al, Cu, Mn, Zn และไอออนลบ CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-}) ของ Magnesol XL, diatomaceous earth และ kaolin และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี (ดัชนีหักเหของแสง ความหนืด สี การเกิดฟอง ค่าของกรด ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าไอโอดีน คอนจูเกตไดอิน และสารพอลิเมอร์) ของน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่ไม่ผ่านการทอดและผ่านการทอด โดยนำน้ำมันมาทอดมันฝรั่งแผ่นที่ 180 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องจากการศึกษาพบว่า Magnesol XL, diatomaceous earth และ kaolin มี Si + Mg, Si + Ca and Si + Al น้ำมันที่ผ่านการทอดมีดัชนีหักเหของแสง, ความหนืด, สี, การเกิดฟอง, ค่าของกรด, ค่าเปอร์ออกไซด์, คอนจูเกตไดอิน และสารพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ค่าไอโอดีนลดลง ส่วนน้ำมันที่ผ่านการทอดและใช้สารช่วยกรองสามารถปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันที่ผ่านการทอด

Bhattacharya *et al.* (2008) ศึกษาการใช้สารดูดซับปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทอดขนมขบเคี้ยวที่ทำจากถั่ว ซึ่งการทอดเป็นการทอดแบบน้ำมันท่วมและทอดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 30 และ 36 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 170-180 องศาเซลเซียส โดยสารดูดซับที่ใช้ ได้แก่ activated charcoal powder (ACH), aluminum oxide (ALO), aluminum hydroxide (ALH), activated clay (ACL), celite (CE), silica gel (SG), activated carbon (ACA), frypowder (FP), britesorb (BR) และ magnesol (MA) และประเมินผลการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันจากการตรวจสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมัน ปริมาณกรดไขมันอิสระ สารประกอบมีขั้ว ค่าเปอร์ออกไซด์ พาราแอนนิซิดีน สี และความหนืด จากการศึกษพบว่าการใช้สารดูดซับ activated carbon (ACA), magnesol (MA) silica gel (SG) และ aluminum hydroxide (ALH) สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระ สารประกอบมีขั้ว ค่าเปอร์ออกไซด์ และปรับปรุงคุณภาพสีและความหนืดของน้ำมัน และการใช้สารดูดซับรวมกัน 2 ชนิด และ 4 ชนิด มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพโดยรวมของน้ำมันได้ดีกว่าการใช้สารดูดซับเพียงชนิดเดียว โดยสารดูดซับ 2 ชนิด (MA 7.5% + SG 2.5%) และ 4 ชนิด (MA 3.75% + ACA 3.75% + SG 1.25% + ALH 1.25%) สามารถลดการย่อยสลายของน้ำมันปาล์มจากความร้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kim *et al.* (2008) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับกรดไขมันอิสระในขั้นตอน degumming ของน้ำมันถั่วเหลืองโดยใช้ถ่านแกลบและซิลิกาเจลจากถ่านแกลบ โดยถ่านแกลบเตรียมจากการนำถ่านมาบดจนมีขนาด 180 ไมโครเมตร นำไปเผาที่อุณหภูมิต่างกันคือที่ 300 องศาเซลเซียส (RHA300), 500 องศาเซลเซียส (RHA500), 700 องศาเซลเซียส (RHA700) และ 900 องศาเซลเซียส (RHA900) เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ซิลิกาเจลจากถ่านแกลบเตรียมโดยการสกัดอัลคาไลจาก RHA500 (RHS500) เพื่อสกัดเอาซิลิกาออกมาจากถ่านแกลบ จากการศึกษาพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเผามีผลต่อลักษณะของรูพรุนของถ่านแกลบโดยพื้นที่ผิวของถ่านแกลบจะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาให้สูงขึ้นคือที่ RHA300 จะมีพื้นที่ผิวมากที่สุดซึ่งเท่ากับ $88 \text{ m}^2/\text{g}$ และน้อยลงไปตามลำดับ แต่เมื่อนำไปสกัดด้วยสารละลายซิลิกา พบว่า RHS500 มีขนาดของพื้นที่ผิว $345 \text{ m}^2/\text{g}$ ซึ่งมากที่สุด ส่วนปริมาตรของรูพรุนเปรียบเทียบได้ดังนี้คือ $\text{RHS500} > \text{RHA500} > \text{RHA300} > \text{RHA700} > \text{RHA900}$ และเมื่อนำมาทดสอบการดูดซับกรดไขมันอิสระพบว่า RHS500 และ RHA500 มีประสิทธิภาพในการดูดซับมากที่สุดและค่อนข้างใกล้เคียงกัน ส่วนที่ RHA300 และ RHA700 มีประสิทธิภาพลดลงตามลำดับ แต่ที่ RHA900 ไม่พบการดูดซับกรดไขมันอิสระเลย ทั้งนี้เหตุที่พบว่าที่ RHS500 และ RHA300 มีพื้นที่ผิวมากที่สุดทำให้ดูดซับได้ดี แต่ที่ RHA300 ดูดซับได้น้อยกว่าอาจเป็นเพราะเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ที่ 300 องศาเซลเซียส

Taspinnar *et al.* (2008) ศึกษาความสามารถในการดูดซับของแมกนีเซียมซิลิเกตสังเคราะห์และ activated carbon ที่เตรียมจากถ่านโดยการเผาที่ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และนำมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ ให้ได้ MgSiO_3 ศึกษาความสามารถในการดูดซับในตัวอย่างโอเลอิกบริสุทธิ์ น้ำมันดอกทานตะวันที่ไม่ผ่านการทอดและน้ำมันดอกทานตะวันผ่านการทอด จากการศึกษาพบว่าแมกนีเซียมซิลิเกตสังเคราะห์และ activated carbon มีพื้นที่ผิว $680 \text{ m}^2/\text{g}$ และ $43 \text{ m}^2/\text{g}$ ตามลำดับ แมกนีเซียมซิลิเกตสังเคราะห์มีความสามารถในการดูดซับสารมีขี้ผึ้งเท่ากับ 644 mg ของสารประกอบมีขี้ผึ้งต่อตัวดูดซับ 1 กรัม ซึ่งมีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ Magnesol XL และ activated carbon

ภาควิชาเคมี และคณะ (2554) ศึกษาวิจัยการเตรียมตัวดูดซับจากถ่านแกลบเพื่อดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเตรียมจากการเผาถ่านแกลบที่อุณหภูมิ 450 และ 700 องศาเซลเซียส และแช่กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ ก่อนหรือหลังเผา ทดลองดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวดูดซับ 0.4 กรัมต่อน้ำมันปาล์มดิบ 20 กรัม ดูดซับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า ถ่านแกลบเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ดูดซับดีกว่าถ่านแกลบเผาที่ 450 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเผาถ่านแกลบที่อุณหภูมิสูงทำให้สิ่งเจือปนน้อยและรูพรุนมีขนาดใหญ่ สำหรับการแช่กรดของถ่านแกลบเผาที่ 450 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่การแช่กรดของถ่านแกลบเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับลดลง อาจเนื่องจากการแช่กรดส่งผลต่อขนาดรูพรุน พื้นที่ผิวและองค์ประกอบของตัวดูดซับ โดยลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแช่กรดก่อนหลังไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับดีที่สุด คือ เถ้าแกลบแช่กรดก่อนเผาที่ 450 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับกรดไขมันอิสระได้ 210 มิลลิกรัมของกรดไขมันต่อกรัมของตัวดูดซับ

Farag *et al.* (2009) ศึกษาการใช้สารดูดซับปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดอกทานตะวันกลั่นที่ใช้ในการทอดมันฝรั่งแผ่น ซึ่งเป็นการทอดแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 ± 5 องศาเซลเซียส และทอดอย่างต่อเนื่องวันละ 4 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน สารดูดซับที่ใช้ ได้แก่ Magnesol XL, diatomaceous earth, เถ้าแกลบ โดยใช้อัตราส่วนของสารดูดซับ 2% w/v ใช้เวลาในการดูดซับ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า น้ำมันดอกทานตะวันที่ผ่านการทอดซ้ำมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของค่าสี, ความหนืด, ดัชนีหักเหแสง, จุดเกิดควัน, ค่าของกรด, ค่าเปอร์ออกไซด์, ค่า TBA, คอนจูเกตไดอินและไตรอิน, สารประกอบมีขี้, สารโพลีเมอร์, ค่ากรดไขมันอิสระ ส่วนค่าไอโอดีนลดลง น้ำมันดอกทานตะวันที่ผ่านการทอดซ้ำหลังจากการใช้สารดูดซับมีคุณภาพดีขึ้น คือ สารดูดซับ Magnesol XL, diatomaceous earth, เถ้าแกลบของข้าว ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ สามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์จาก 34.50 เป็น 2 meq/kg ค่า TBA จาก 1.11 ลดลงอยู่ในช่วง 0.5-0.7 ค่าคอนจูเกตไดอินจาก 1.91 ลดลงอยู่ในช่วง 0.5-0.8 และไตรอินจาก 1.05 ลดลงอยู่ในช่วง 0.2-0.5 ค่าสารประกอบมีขี้จาก 18.90% ลดลงอยู่ในช่วง 3.3-3.57% ค่าสารโพลีเมอร์จาก 7.40% ลดลงอยู่ในช่วง 0.58-0.66% ค่ากรดไขมันอิสระจาก 1.8% ลดลงอยู่ในช่วง 0.2-0.3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	Shimadzu (UV-1601), Japan
3.2.2 เครื่องวัดสารประกอบมีขั้ว	Ebro TM electronic (FOM 310), Germany
3.2.3 เครื่องวัดความหนืด	Brookfield (DV-III), USA
3.2.4 เครื่องวัดสี	Hunter Lab (Color Queat XE), USA
3.2.5 เตาเผา	Nabertherm, Germany
3.2.6 เครื่องบดละเอียด (Pin mill)	Retsch (DR 1000), Germany
3.2.7 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)	Memmert, Germany
3.2.8 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)	Hermle (ZK 380), Germany
3.2.9 เตาไฟฟ้า (Hotplate)	Clifton (Cerastir), England
3.2.10 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง	Ohaus (ARC 120), USA
3.2.11 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง	Denver (SI-324), Germany
3.2.12 กระดาษกรองเบอร์ 1	Whatman, England
3.2.13 หม้อทอด	Princess, China
3.2.14 ชุดเครื่องกรองสูญญากาศ	
3.2.15 เครื่องกวนผสม	
3.2.16 เครื่องแก้ว	

3.2 วัตถุดิบ

- 3.2.1 น้ำมันปาล์มผ่านการทอดไก่ชุบแป้งจากร้านขายอาหารฟาสต์ฟูดแห่งหนึ่ง บริเวณตลาดลาดกระบัง ซึ่งทอดแบบน้ำมันท่วม และเปลี่ยนน้ำมันเมื่อน้ำมันมีสีคล้ำ
- 3.2.2 แกลบข้าวเจ้าจากโรงสีข้าว
- 3.2.3 น้ำมันปาล์ม ยี่ห้อ หยก
- 3.2.4 นักเก็ตไก่แซ่แข็ง ยี่ห้อ สุรพลนิชิเรฟูดส์

3.3 สารเคมี

- 3.3.1 ไอโซออกเทน MERCK, Germany
- 3.3.2 ฟีนอล์ฟธาลีน CARLO ERBA, France

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3	โซเดียมไฮดรอกไซด์	MERCK, Germany
3.3.4	คลอโรฟอร์ม	LAB-SCAN, Thailand
3.3.5	กรดอะซิติก	MERCK, Germany
3.3.6	โพแทสเซียมไอโอไดด์	MERCK, Germany
3.3.7	โซเดียมไรโอซัลเฟต	CARLO ERBA, France
3.3.8	พาราแอนนิซิติน	MERCK, Germany
3.3.9	กรดไตรคลอโรอะซิติก	MERCK, Germany
3.3.10	กรดไทโอบาร์บิทูริก	SIGMA, Germany
3.3.11	เอซิลแอลกอฮอล์ 95 %	

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ห้องปฏิบัติการ กลุ่มวิจัยอาหารเพื่อโภชนาการ กรมอนามัย

3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.5.1 การเตรียมตัวดูดซับได้แก่

บดเมล็ดด้วยเครื่องบดหยาบ จากนั้นนำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด (Pin Mill) ขนาดอนุภาค ≤ 250 ไมโครเมตร นำเมล็ดที่บดได้ใส่ลงในครูชีเบต เผากำจัดสารคาร์บอนบนเตาจนหมดควัน จากนั้นนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง หรือจนได้เมล็ดที่มีสีขาว นำออกทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องใน โถดูดความชื้น แล้วเก็บในขวดแก้วมีฝาปิด

3.5.2 วิเคราะห์คุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง

นำน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

3.5.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน

- 1) วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (AOCS Ca 5a-40)
- 2) วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (AOCS Ca Cd 8-5)
- 3) วิเคราะห์สารประกอบมีขี้ว โดยใช้เครื่อง EbroTM electronic (FOM 310) วัดที่อุณหภูมิ 150 ± 1 องศาเซลเซียส
- 4) วิเคราะห์ปริมาณพาราแอนนิซิติน (AOCS Cd 18-90)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน

1) วิเคราะห์ความหนืด โดยใช้เครื่อง Brookfield Viscometer รุ่น DV III ใช้ชุด small sample adapter หัววัด No.18 ใช้ตัวอย่าง 5 กรัม วัดที่อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส

2) วิเคราะห์สี โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab (Color Quest XE)

3.5.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับของเถ้าแกลบที่มีต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่หุบแป้ง

ชั่งน้ำมันปาล์มทอดไก่ที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ปริมาณ 300 กรัม เติมน้ำดูดซับเถ้าแกลบสัดส่วน 20 กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม ใช้เวลาดูดซับ 20 นาที กวนด้วยเครื่องกวนตลอดเวลา โดยดูดซับที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2), 80 ± 2 และ 105 ± 2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ กรองด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศ ใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำน้ำมันที่กรองได้มาวิเคราะห์ค่าเช่นเดียวกับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดในข้อ 3.5.2 และวัดปริมาณน้ำมันที่ได้หลังการดูดซับ

3.5.4 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับและปริมาณของเถ้าแกลบต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่หุบแป้ง

ชั่งน้ำมันปาล์มทอดไก่ที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ปริมาณ 300 กรัม ให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เลือกได้จาก 3.5.3 จากนั้นเติมน้ำดูดซับเถ้าแกลบสัดส่วน 20, 25 และ 30 กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม ใช้เวลาดูดซับ 10, 20 และ 30 นาที กวนด้วยเครื่องกวนตลอดเวลา กรองด้วยชุดเครื่องกรองสุญญากาศ ใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำน้ำมันที่กรองได้มาวิเคราะห์ค่าเช่นเดียวกับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดในข้อ 3.5.2 และวัดปริมาณน้ำมันที่ได้หลังการดูดซับ

3.5.5 ศึกษาสัดส่วนการผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพต่อสมบัติการทอดนั้กเกตไก่

ผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ในสัดส่วน 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 นำนั้กเกตไก่แช่แข็งที่จำหน่ายในท้องตลาด ปริมาณ 0.5 กิโลกรัม ทอดในน้ำมันแต่ละสัดส่วน โดยมีปัจจัยควบคุมคือ อุณหภูมิ 165 ± 2 องศาเซลเซียส แบ่งทอด 2 ครั้ง ทอดครั้งละ 5 นาที รวมเป็นเวลาทั้งสิ้น 10 นาที ใช้ปริมาณน้ำมัน 2.5 ลิตร หลังจากทอดเสร็จปล่อยให้น้ำมันร้อนต่อเนื่องไปอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จึงปิดสวิทช์หม้อทอด ทำการกรองน้ำมัน น้ำมันที่ผ่านการทอดจะนำไปใช้ทอดนั้กเกตไก่ซ้ำในวันรุ่งขึ้น ทำซ้ำต่อเนื่องกันจนครบ 7 วัน เก็บตัวอย่างน้ำมันหลังเสร็จสิ้นสุดการทอดของแต่ละวัน 100 มิลลิลิตรใส่ขวดสีชา วิเคราะห์ค่าเช่นเดียวกับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดในข้อ 3.5.2 และนั้กเกตไก่ที่ทอดแล้วเก็บใส่ในถุงพลาสติกพอลิโพรไพลีน (polypropylene) เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

3.5.6 ศึกษาคุณภาพการเก็บรักษานักเก็ตไก่ทอด

เก็บตัวอย่างนักเก็ตไก่ที่ทอดจากการทอดในน้ำมันผสม ข้อ 3.5.5 ในแต่ละวัน โดยนำนักเก็ตไก่ทอดมาแช่น้ำมันออกโดยใช้กระดาษซับมันรองพื้น ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บใส่ในถุงพลาสติกพอลิโพรไพลีน และปิดถุงให้สนิท เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ วิเคราะห์ค่าความหืน (Thiobabaturic acid, TBA) (ดัดแปลงจาก Jaysingh and Cornforth, 2003) ทุกสัปดาห์

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาคผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ ข้อ 3.5.3 และการศึกษาสัดส่วนการผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพต่อสมบัติการทอดนักเก็ตไก่ ข้อ 3.5.5 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับและปริมาณของถ้ำเกลบต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง ข้อ 3.5.4 วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) ขนาด 3x3 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncans' New Multiple Range Test

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งและน้ำมันปาล์มใหม่ไม่ผ่านการทอด

น้ำมันที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นน้ำมันปาล์มที่ใช้ทอดไก่จากร้านขายอาหารฟาสต์ฟู้ดแห่งหนึ่ง บริเวณลาดกระบัง ซึ่งเป็นการทอดแบบน้ำมันท่วมและจะมีการเปลี่ยนน้ำมันเมื่อน้ำมันมีสีคล้ำ เมื่อนำน้ำมันที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งนี้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันพบว่า มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซีดิน ค่าสารประกอบมีขี้วัว ค่าสี ค่าความหนืด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มใหม่ที่ยังไม่ผ่านการทอด (ยังไม่ได้เปิดขวด) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

กรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการทอดมีค่า 0.08 % ซึ่งโดยทั่วไปมาตรฐานการผลิตน้ำมันบริโภคกำหนดให้มีค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วไม่เกิน 0.1% แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในขั้นตอนของการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ แต่หลังจากน้ำมันผ่านการทอดแล้วพบว่าน้ำมันมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 1.97 % แสดงให้เห็นว่าไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซิสได้เป็นกรดไขมันอิสระและสารประกอบอื่น ๆ

ค่าเปอร์ออกไซด์และค่าพาราแอนนิซีดินเป็นดัชนีวัดการเกิดออกซิเดชัน น้ำมันปาล์มใหม่ที่ไม่ผ่านการทอดมีค่าเปอร์ออกไซด์และค่าพาราแอนนิซีดิน 1.44 และ 1.54 meq/kg ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าน้ำมันใหม่ที่ยังไม่เปิดขวดก็มีการเกิดออกซิเดชันได้ อาจเนื่องจากภาชนะที่บรรจุค่อนข้างใส น้ำมันมีการสัมผัสแสง น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดมีค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าพาราแอนนิซีดินเป็น 4.52 และ 15.19 meq/kg ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการทอดน้ำมันมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากการสัมผัสกับออกซิเจนและความร้อน จากการศึกษาของ วริศรา (2548) พบว่า ตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งที่นำมาศึกษามีค่าเปอร์ออกไซด์และค่าพาราแอนนิซีดินเป็น 6.04 และ 37.71 meq/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างจากตัวอย่างของการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนน้ำมันทอดของร้านค้า มีความแตกต่างกัน โดยใช้ความคุ้นเคยหรือความรู้สึกของผู้ประกอบการ โดยมีดัชนีแตกต่างกัน เช่น ความหนืด หรือสีของน้ำมัน เป็นต้น

ค่าสารประกอบมีขี้วัวของน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการทอดมีค่า 4.08 % น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งมีค่าสารประกอบมีขี้วัวเพิ่มขึ้นเป็น 21.58 % แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการทอด ไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีขี้วัวเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และพอลิเมอร์ไรเซชัน ได้เป็นสารประกอบมีขี้วัวต่าง ๆ ดังนั้นในการวัดปริมาณสารประกอบมีขี้วัวเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าเชื่อถือสำหรับการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันในระหว่างการ

ทอด (Fritsch, 1981; Farhoosh and Moosavi, 2008) การตรวจวัดปริมาณสารประกอบมีไขมันเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283 กำหนดให้น้ำมันที่จะนำมาทอดอาหารหรือประกอบอาหารมีค่าสารประกอบมีไขมันไม่เกิน 25% จากการศึกษาของ วริศรา (2548) พบว่า ค่าสารประกอบมีไขมันของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่อมีค่า 12.28% ซึ่งมีค่าแตกต่างกับการศึกษานี้ อาจเนื่องมาจากวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่อหุบแฉียงและน้ำมันปาล์มใหม่ที่ไม่ผ่านการทอด

สมบัติทางเคมีและกายภาพ	น้ำมันปาล์มใหม่	น้ำมันปาล์ม
	ไม่ผ่านการทอด	ผ่านการทอดไก่อหุบแฉียง
ค่ากรดไขมันอิสระ (%)	0.08±0.04	1.97±0.08
ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)	1.44±0.02	4.52±0.04
ค่าพาราแอนิซิดีน (meq/kg)	1.54±0.06	15.19±0.08
ค่าสารประกอบมีไขมัน (%)	4.08±0.12	21.58±0.35
ค่าความหนืด (cP @ 25±1°C)	65.65±0.01	85.74±0.19
ค่าความสว่าง (L*)	96.19±0.18	30.40±0.18
ค่าสีแดง (a*)	-7.14±0.07	41.18±0.12
ค่าสีเหลือง (b*)	52.99±0.17	52.06±0.03

ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มที่ไม่ผ่านการทอดมีค่า 65.65 (cP) และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่อหุบแฉียงมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเป็น 85.74 (cP) ตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่อหุบแฉียงจากการทดลองของ วริศรา (2548) มีค่าความหนืด 95.04 cP แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการทอดเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งน้ำมันที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลานานทำให้เกิดสารประกอบโมเลกุลสูง ส่งผลให้น้ำมันมีความหนืดสูงและมีสีคล้ำ เกิดฟองง่ายขณะทอด (นิธิยา, 2548)

ค่าสี L* ของน้ำมันทอดมีค่าลดลงจากน้ำมันใหม่ แสดงถึงน้ำมันมีสีคล้ำขึ้น ความสว่างลดลง ค่าสี a* มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงถึงความเปลี่ยนสีแดงที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาบราวนิงแบบไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) ของส่วนผสมน้ำตาลและ โปรตีนในไก่อทอด ค่าสี b* ค่าไม่เปลี่ยนแปลง

4.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับของเถ้าแกลบต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่อหุบแฉียง

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับสารของเถ้าแกลบที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่อหุบแฉียง โดยใช้ตัวดูดซับเถ้าแกลบ 20 กรัมต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมัน 100 กรัม คุณค่าสารต่าง ๆ ในน้ำมันที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2), 80 ± 2 และ 105 ± 2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และให้สารคุณค่าสัมผัสกับน้ำมันโดยการกวนด้วยเครื่องกวนผสมอัตโนมัติเป็นเวลา 20 นาที พบว่า การคุณค่าของเค้าเกลือทั้ง 3 อุณหภูมิ สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดได้ คือ มีค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนิซิดีน ค่าสารประกอบมีขี้ ค่าความหนืดลดลง ค่าความสว่างของน้ำมันเพิ่มขึ้น การคุณค่าของเค้าเกลือที่อุณหภูมิ 80 ± 2 และ 105 ± 2 องศาเซลเซียส สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดได้ดีกว่าการคุณค่าที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2) (ตารางที่ 4.2) เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันในระหว่างการคุณค่าทำให้น้ำมันมีความหนืดน้อยลง จึงสามารถแทรกซึมและสัมผัสสารคุณค่าได้มากกว่า จึงสามารถคุณค่าสารประกอบต่าง ๆ ในน้ำมันได้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Esteban *et al.* (2012) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับความหนืดของน้ำมันพืช พบว่า เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันปาล์มเพิ่มความหนืดของน้ำมันปาล์มจะลดลง ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 และ 110 องศาเซลเซียส น้ำมันปาล์มมีค่าความหนืด 45.34, 20.84, 15.60, 12.35, 9.94, 8.21 และ 6.88 mm^2s^{-1} ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดไก่ชุบแป้งที่ไม่ผ่านการใช้สารคุณค่าและผ่านการใช้สารคุณค่าเค้าเกลือที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2), 80 ± 2 และ 105 ± 2 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำมันหลังการคุณค่า

สมบัติทางเคมีและกายภาพ	น้ำมันปาล์ม			
	ผ่านการทอด	อุณหภูมิห้อง	$80\pm 2^\circ\text{C}$	$105\pm 2^\circ\text{C}$
ปริมาณน้ำมันหลังการคุณค่า (%)	-	$77.50^b \pm 1.17$	$84.16^a \pm 1.18$	$85.84^a \pm 0.23$
ค่ากรดไขมันอิสระ (%)	$1.97^d \pm 0.08$	$0.55^c \pm 0.02$	$0.48^b \pm 0.00$	$0.38^a \pm 0.02$
ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)	$4.52^d \pm 0.04$	$1.73^c \pm 0.01$	$1.61^b \pm 0.10$	$1.44^a \pm 0.05$
ค่าพาราแอนิซิดีน (meq/kg)	$15.19^c \pm 0.08$	$11.88^a \pm 0.10$	$10.35^a \pm 0.10$	$12.16^b \pm 0.09$
ค่าสารประกอบมีขี้ (%)	$21.58^c \pm 0.35$	$17.08^b \pm 0.12$	$15.58^a \pm 0.12$	$15.67^a \pm 0.12$
ค่าความหนืด(cP @ $25\pm 1^\circ\text{C}$)	$85.74^c \pm 0.19$	$76.10^b \pm 0.04$	$74.92^a \pm 0.02$	$74.08^a \pm 0.03$
ค่าความสว่าง (L*)	$30.40^c \pm 0.18$	$44.69^b \pm 0.23$	$46.06^a \pm 0.23$	$45.13^b \pm 0.00$
ค่าสีแดง (a*)	$41.18^b \pm 0.12$	$42.02^a \pm 0.04$	$42.04^a \pm 0.13$	$42.81^a \pm 0.05$
ค่าสีเหลือง (b*)	$52.06^c \pm 0.03$	$77.17^b \pm 0.37$	$78.02^a \pm 0.24$	$77.93^a \pm 0.65$

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน (a b c) หมายถึง มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของน้ำมันภายหลังการคุณค่าของเค้าเกลือที่อุณหภูมิห้อง(27 ± 2), 80 ± 2 และ 105 ± 2 องศาเซลเซียส พบว่า การคุณค่าของเค้าเกลือที่อุณหภูมิ 80 ± 2 และ 105 ± 2 องศาเซลเซียส มีปริมาณของน้ำมันภายหลังการคุณค่ามากกว่าการคุณค่าของเค้าเกลือที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(27±2) (ตารางที่ 4.2) เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันในระหว่างการดูดซับทำให้น้ำมันมีความหนืดน้อยลงน้ำมันจึงไม่เกาะติดกับตัวดูดซับ

4.3 ผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับและปริมาณของถ้ำเกลบที่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่หุบแป้ง

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยปริมาณสารดูดซับถ้ำเกลบมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อการปรับปรุงคุณภาพทางเคมีและกายภาพของน้ำมัน คือ ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน ค่าสารประกอบมีขี้้ว ค่าความหนืด และค่าสี L* a* b* ส่วนปัจจัยเวลาในการดูดซับมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการปรับปรุงคุณภาพทางเคมีของน้ำมัน คือ ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน และค่าสารประกอบมีขี้้ว แต่ไม่มีอิทธิพลต่อคุณภาพทางกายภาพด้านความหนืดและค่าสีของน้ำมัน และปัจจัยทั้ง 2 มีผลร่วมกันต่อทุกค่าคุณภาพ ยกเว้น ค่าความหนืด

ตารางที่ 4.3 ค่า P-value ของสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันที่ปรับปรุงคุณภาพ

ปัจจัย	สมบัติทางเคมีและกายภาพ							
	PV	p-AV	FFA	TPC	Viscosity	L*	a*	b*
ปริมาณถ้ำเกลบ	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.021*	0.031*	0.011*
เวลาในการดูดซับ	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.360	0.700	0.744	0.698*
ปริมาณถ้ำเกลบ x เวลาในการดูดซับ	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.185	0.000*	0.023*	0.000*

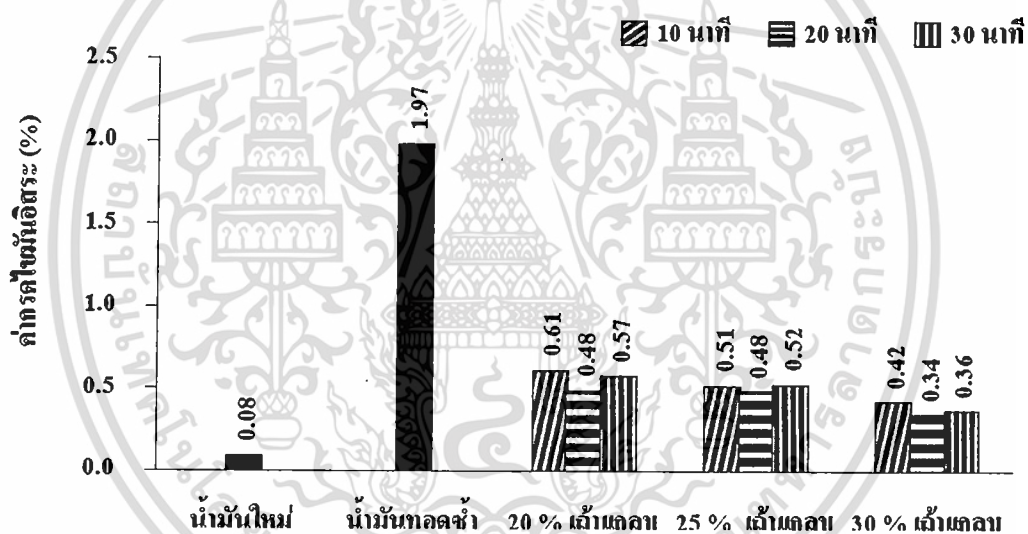
*significant $P \leq 0.05$

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับสารของถ้ำเกลบที่มีต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่หุบแป้ง ในข้อ 4.2 เลือกอุณหภูมิในการดูดซับสารต่าง ๆ ของถ้ำเกลบที่อุณหภูมิ 80 ± 2 องศาเซลเซียส มาใช้ในการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับสารและปริมาณของถ้ำเกลบที่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอด โดยใช้สารดูดซับถ้ำเกลบสัดส่วน 20, 25 และ 30 กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม ใช้เวลาดูดซับ 10, 20 และ 30 นาที กวนด้วยเครื่องกวนตลอดเวลา เมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันที่ผ่านการดูดซับด้วยสารดูดซับถ้ำเกลบ พบว่า สัดส่วนของสารดูดซับถ้ำเกลบที่เพิ่มขึ้นจาก 20 กรัม เป็น 25 และ 30 กรัม มีผลทำให้สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันดีขึ้นตามลำดับ จากภาพที่ 4.1-4.8 แสดงว่าการเพิ่มสัดส่วนของถ้ำเกลบยอมทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากขึ้นจึงสามารถดูดซับ

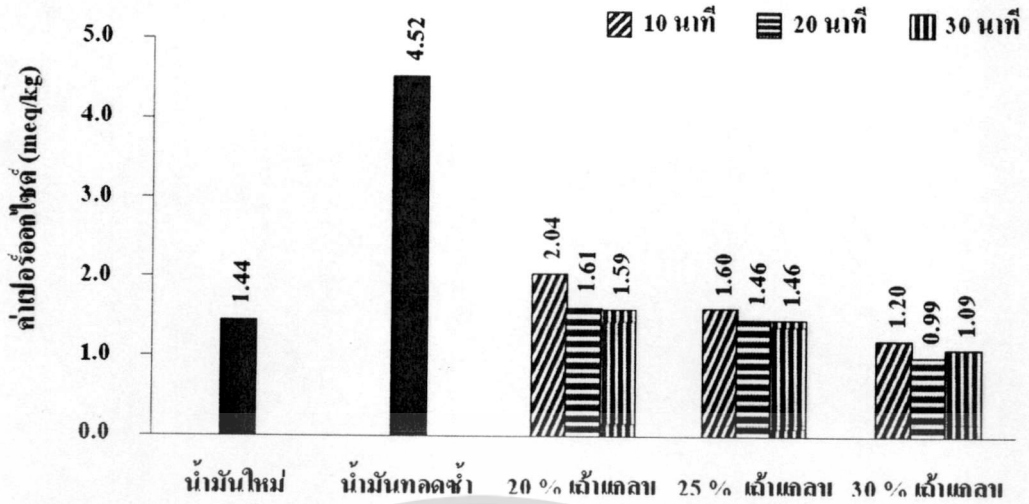
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบต่าง ๆ ได้แก่ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ สารโพลีเมอร์ ในน้ำมันทอดได้มากขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบของเถ้าแกลบส่วนใหญ่เป็นซิลิกา ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพได้ (Farag *et al.*, 2009)

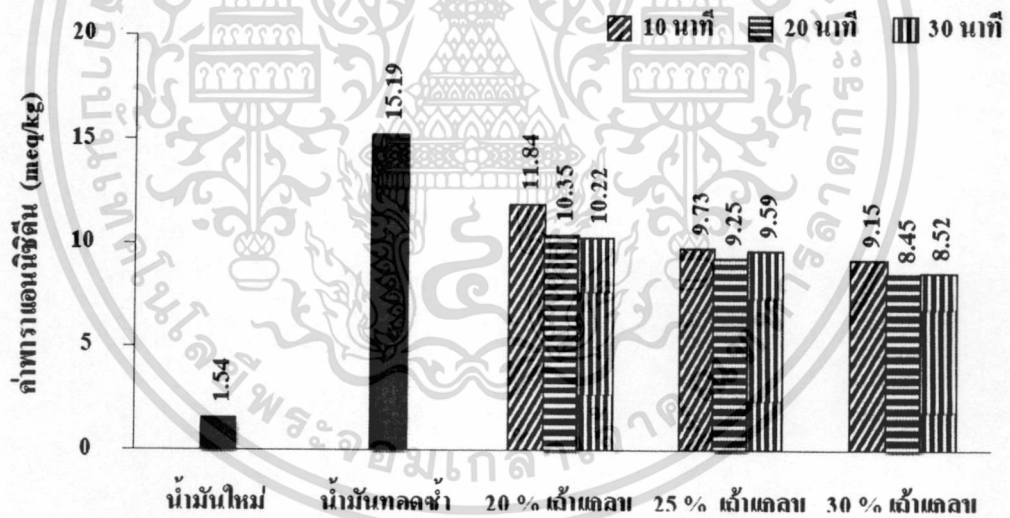
เมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันที่ผ่านการดูดซับด้วยเถ้าแกลบ เมื่อใช้เวลากการดูดซับต่างกัน พบว่า เมื่อใช้เวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 30 นาที ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนนิซิดีน และค่าสารประกอบมีขี้ของน้ำมันทอดซ้ำมีการปรับปรุงคุณภาพดีขึ้น (ภาพที่ 4.1-4.4) การเพิ่มเวลาในการดูดซับไม่มีผลต่อการปรับปรุงค่าความหนืด และค่าสีของน้ำมัน (ภาพที่ 4.5-4.8) และเมื่อพิจารณาเวลาในการดูดซับที่ 20 และ 30 นาที จะเห็นว่า การดูดซับที่ 20 นาที ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ มีการปรับปรุงคุณภาพดีกว่าการดูดซับที่เวลา 30 นาที (ภาพที่ 4.1, 4.2) ส่วนค่าพาราแอนนิซิดีน มีค่าไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 4.3)



ภาพที่ 4.1 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเถ้าแกลบ

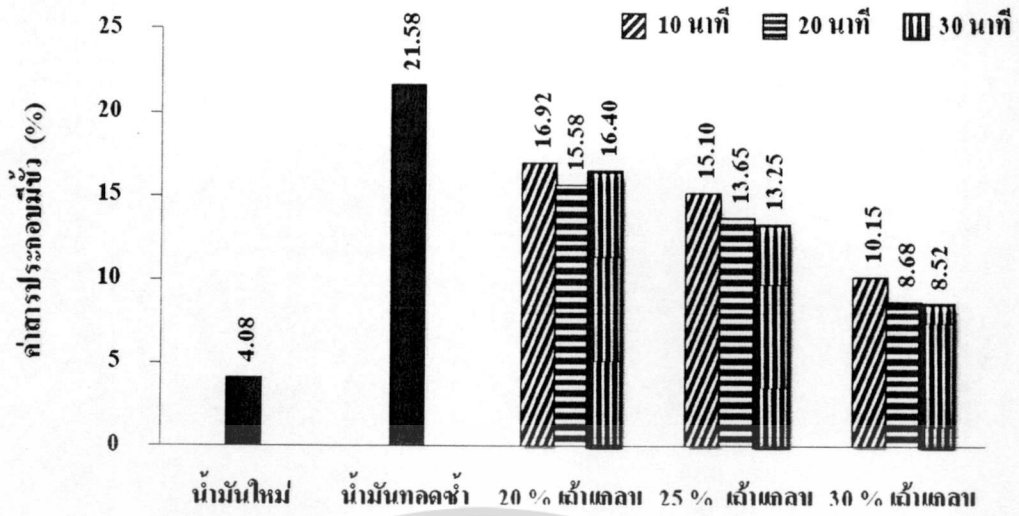


ภาพที่ 4.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเถ้าแกลบ

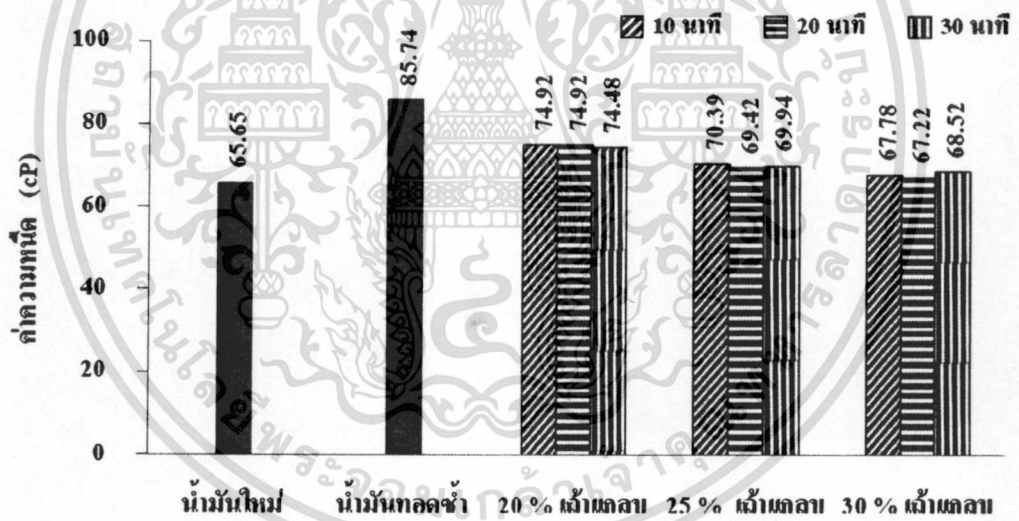


ภาพที่ 4.3 ค่าพาราแอนนิซิดินของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเถ้าแกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

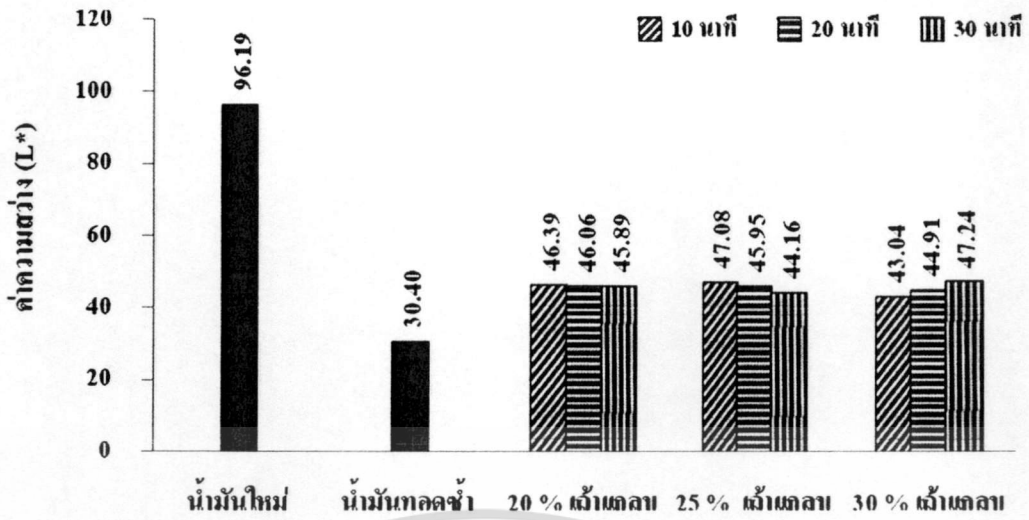


ภาพที่ 4.4 ค่าสารประกอบมีขี้ของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเฝ้านเกลบ

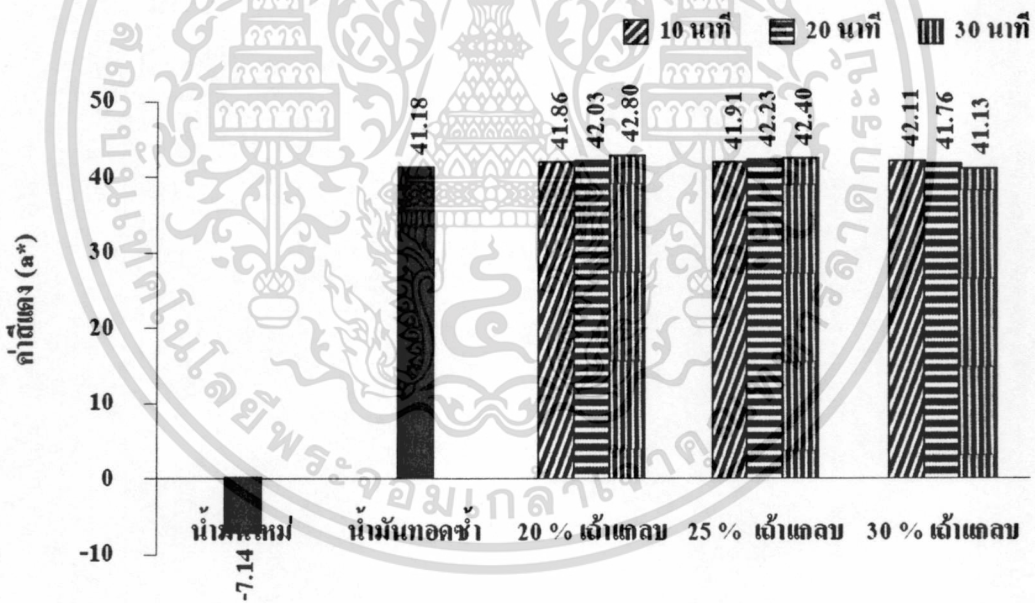


ภาพที่ 4.5 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเฝ้านเกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

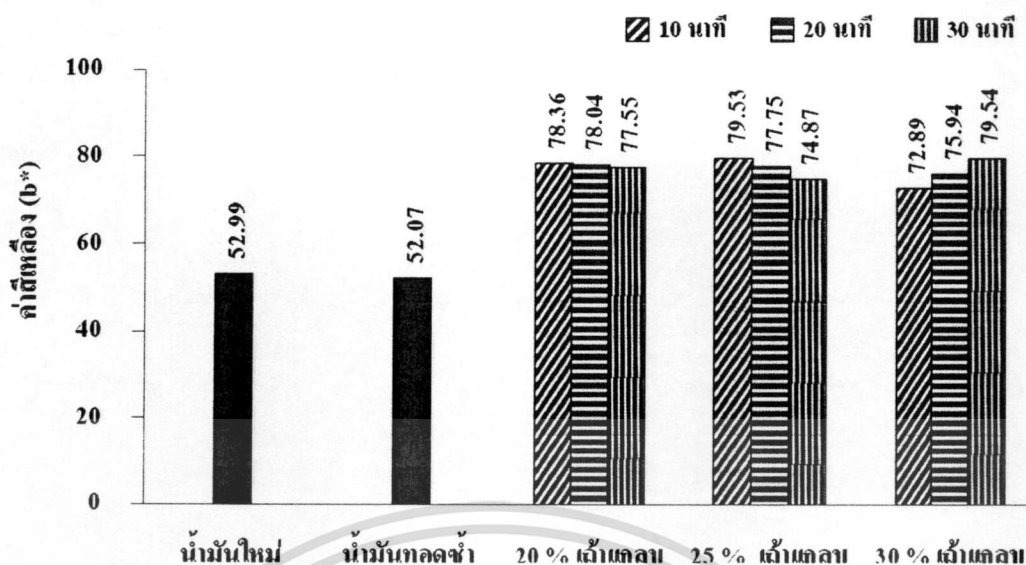


ภาพที่ 4.6 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเถ้าแกลบ



ภาพที่ 4.7 ค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเถ้าแกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันปาล์มใหม่ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดซ้ำ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้สารดูดซับเล้าเกลบ

ตารางที่ 4.4 ปริมาณน้ำมันที่ได้หลังจากการใช้สารดูดซับเล้าเกลบที่อุณหภูมิ 80 ± 2 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการดูดซับและปริมาณสารดูดซับเล้าเกลบแตกต่างกัน

เวลาในการดูดซับ (นาที)	ปริมาณน้ำมัน (%)		
	ปริมาณสารดูดซับเล้าเกลบ (กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม)		
	20	25	30
10	85.32 ^{Ac} ± 0.26	75.16 ^{Ab} ± 0.23	70.18 ^{Aa} ± 0.10
20	84.16 ^{Bc} ± 1.18	74.08 ^{Bb} ± 0.02	69.44 ^{Ba} ± 0.16
30	76.50 ^{Cc} ± 0.71	70.94 ^{Cb} ± 0.55	65.40 ^{Ca} ± 0.37

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกัน (a b c) หมายถึง มีความแตกต่างกันของปริมาณสารดูดซับเล้าเกลบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2) ตัวอักษรที่ต่างกัน (A B C) หมายถึง มีความแตกต่างกันของเวลาที่ใช้ในการดูดซับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากการเปรียบเทียบปริมาณของน้ำมันที่ได้หลังจากการใช้สารดูดซับเล้าเกลบที่อุณหภูมิ 80 ± 2 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการดูดซับและปริมาณสารดูดซับเล้าเกลบแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.4) พบว่า เมื่อปริมาณสารดูดซับเล้าเกลบเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำมันภายหลังจากการใช้สารดูดซับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และเมื่อเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 20 และ 30 นาที พบว่า ของผสมระหว่างน้ำมันกับตัวดูดซับเล้าเกลบมีลักษณะเหนียวมากขึ้น และเมื่อนำไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรองแยกตัวดูดซับออกจากน้ำมัน ปริมาณน้ำมันภายหลังผ่านการใช้สารดูดซับจึงมีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งการลดลงของปริมาณน้ำมันภายหลังผ่านการใช้สารดูดซับมีผลทางเศรษฐกิจ

จากการศึกษาของ วริศรา (2548) น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง มีค่ากรดไขมันอิสระ 0.46% ค่าเปอร์ออกไซด์ 6.04 meq/kg ค่าพาราแอนนิซิดีน 37.71 meq/kg ค่าสารประกอบมีขี้วัว 12.28 % ค่าความหนืด 95.40 cP เมื่อใช้สารดูดซับซลิคาเจลที่มีขนาดรูพรุน 60 อังสตรอม ขนาดอนุภาค 0.063-0.2 มิลลิเมตร ปริมาณ 30 กรัม ใช้เวลาในการดูดซับ 10 นาที ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง พบว่า มีค่ากรดไขมันอิสระ 0.19% ค่าเปอร์ออกไซด์ 3.89 meq/kg ค่าพาราแอนนิซิดีน 8.88 meq/kg ค่าสารประกอบมีขี้วัว 5.25% ค่าความหนืด 83.60 cP จากการทดลองนี้ น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง มีค่ากรดไขมันอิสระ 1.97% ค่าเปอร์ออกไซด์ 4.52 meq/kg ค่าพาราแอนนิซิดีน 15.19 meq/kg ค่าสารประกอบมีขี้วัว 21.58 % ค่าความหนืด 85.74 cP เมื่อใช้สารดูดซับถั่วแกลบปริมาณ 30 กรัม ใช้เวลาในการดูดซับ 20 นาที ที่อุณหภูมิ 80 ± 2 องศาเซลเซียส ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง พบว่า มีค่ากรดไขมันอิสระ 0.34% ค่าเปอร์ออกไซด์ 0.99 meq/kg ค่าพาราแอนนิซิดีน 8.45 meq/kg ค่าสารประกอบมีขี้วัว 8.65 % ค่าความหนืด 67.78 cP ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกันจะเห็นว่าสารดูดซับถั่วแกลบสามารถทำให้ค่ามีค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าสารประกอบมีขี้วัว ค่าความหนืด ลดลงได้ดีกว่าสารดูดซับซลิคาเจล ยกเว้นค่าพาราแอนนิซิดีน

Farag *et al.* (2009) ศึกษาการใช้สารดูดซับปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดอกทานตะวันกลั่นที่ใช้ในการทอดมันฝรั่งแผ่น ทอดแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 ± 5 องศาเซลเซียส และทอดอย่างต่อเนื่องวันละ 4 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน โดยใช้สารดูดซับถั่วแกลบ 2% w/v ใช้เวลาในการดูดซับ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ผลการศึกษา พบว่า น้ำมันดอกทานตะวันกลั่นทอดมันฝรั่งแผ่น มีค่าเปอร์ออกไซด์จาก 34.50 meq/kg ค่าสารประกอบมีขี้วัว 18.90% ค่ากรดไขมันอิสระ 1.8% ค่าความหนืด 10 min เมื่อผ่านการใช้สารดูดซับถั่วแกลบ น้ำมันดอกทานตะวันกลั่นทอดมันฝรั่งแผ่น มีค่าเปอร์ออกไซด์ 2 meq/kg ค่าสารประกอบมีขี้วัว 3.5% ค่ากรดไขมันอิสระ 0.9% ค่าความหนืด 6.5 min เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองนี้พบว่าสารดูดซับถั่วแกลบมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทอดซ้ำได้ แต่ค่าการลดลงของสารต่าง ๆ แตกต่างกันเนื่องจากน้ำมันที่นำมาปรับปรุงคุณภาพต่างชนิดกัน

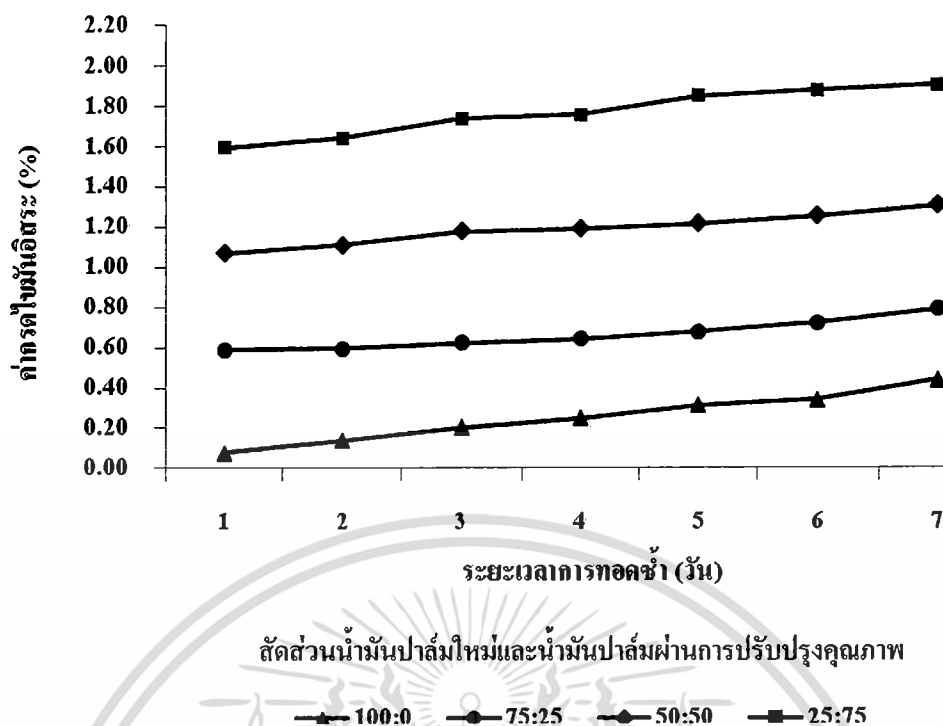
4.4 ผลลัพธ์ส่วนการผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพต่อสมบัติการทอดนั้กเกตไ้

น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุง คุณภาพได้จากการดูดซับด้วยเถ้าแกลบ 30 กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม ใช้เวลาในการดูดซับ 20 นาที ที่อุณหภูมิ 80 ± 2 องศาเซลเซียส และมีสมบัติทางเคมีและกายภาพ ดังนี้ ค่ากรดไขมันอิสระ 0.35% ค่าสารประกอบมีขี้ขั้ว 9.50% ค่าเปอร์ออกไซด์ 0.95 meq/kg ค่าพาราแอนนิซิดีน 8.52 meq/kg ค่าความหนืด 67.79 cP ค่าความสว่าง (L^*) 45.78 ค่าสีแดง (a^*) 41.50 ค่าสีเหลือง (b^*) 76.30 นำมาผสมกับน้ำมันปาล์มใหม่ในสัดส่วน น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 นำนั้กเกตไ้แช่แข็งที่จ้าหน่ายในท้องตลาดทอดในน้ำมันแต่ละสัดส่วน โดยการทอดแต่ละวันจะทอด 2 ครั้ง ทอดครั้งละ 5 นาที รวมเป็นเวลาทั้งสิ้น 10 นาที หลังจากทอดเสร็จปล่อยให้น้ำมันร้อนต่อเนื่องไปอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมงน้ำมันที่ผ่านการทอดจะนำไปใช้ทอดนั้กเกตไ้ซ้ำในวันรุ่งขึ้น ทำซ้ำต่อเนื่องกันจนครบ 7 วัน เก็บตัวอย่างน้ำมันหลังเสร็จสิ้นสุดการทอดของแต่ละวัน 100 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันผสม

4.4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันผสม

4.4.1.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ

น้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าแกลบมีค่ากรดไขมันอิสระ 0.35% เมื่อผสมนำน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สัดส่วน 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 มีค่ากรดไขมันอิสระ 0.07 0.25 0.33 และ 0.35% ตามลำดับ เมื่อนำน้ำมันผสมไปทอดนั้กเกตไ้ โดยทอดในน้ำมันทอดซ้ำ เป็นเวลา 7 วัน พบว่า น้ำมันผสมมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่ากรดไขมันอิสระจากค่าเริ่มต้นของน้ำมันผสมแต่ละสัดส่วนใกล้เคียงกัน (พิจารณาจากความชันของเส้นกราฟ) โดยค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดจะสูงขึ้นเมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.9) ซึ่งสอดคล้องกับ Chung *et al.* (2004) ที่ทำการทอด flour dough แบบต่อเนื่องในน้ำมันถั่วเหลืองผสมกับน้ำมันงาที่อัตราส่วนต่าง ๆ แล้วนำน้ำมันมาวิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระ พบว่า ค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันทอดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้น



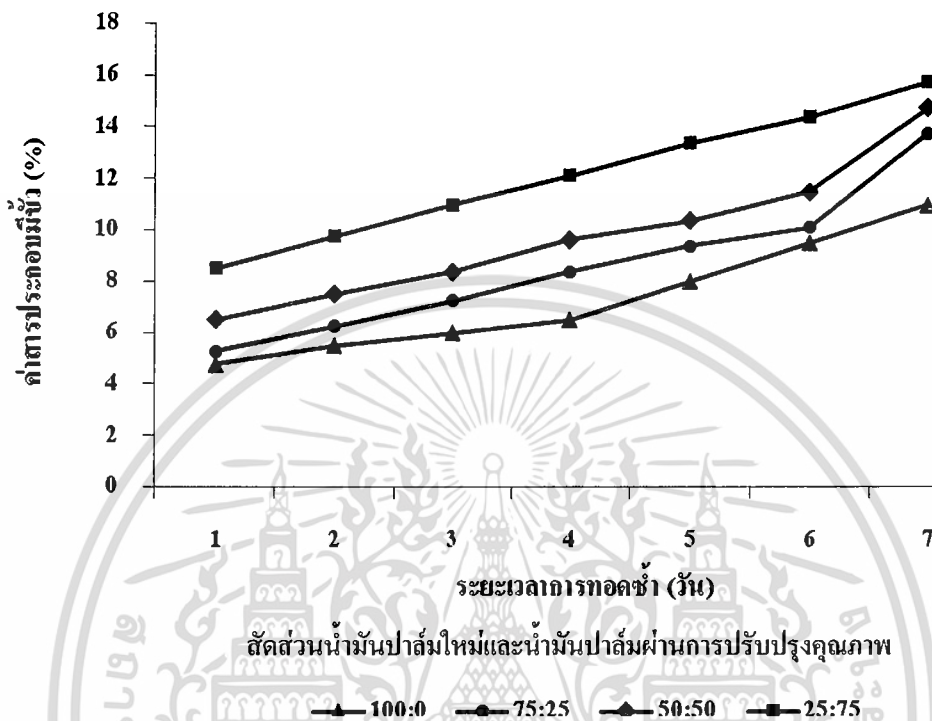
ภาพที่ 4.9 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน

4.4.1.2 ปริมาณสารประกอบมีขี้

การสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์ในระหว่างการทอดจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ทำให้เกิดสารประกอบมีขี้ เช่น ทำให้เกิดการก่ตัวของสารประกอบที่สลายตัวได้ (decomposition products) ขึ้น ทั้งสารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ (volatile decomposition product) เช่น ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) คีโตน (ketone) อัลดีไฮด์ (aldehyde) กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) เป็นต้น และสารประกอบสลายตัวที่ระเหยไม่ได้ (non-volatile decomposition product) เช่น โมโนเมอร์แบบวง (cyclic monomer) โมโนเมอร์ไม่ใช่วง (noncyclic monomer) ไดเมอร์ (dimer) ไตรเมอร์ (trimer) รวมถึงอะคริลามิด (acrylamide) ด้วย (Shyu *et al.*, 1998)

น้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าแกลบมีค่าสารประกอบมีขี้ 9.50% เมื่อผสมนำน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สัดส่วน 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 มีค่าสารประกอบมีขี้ 4.00 5.00 5.55 และ 8.00 % ตามลำดับ เมื่อนำน้ำมันผสมไปทอดนั้กเกิดไ้ 7 ครั้ง เป็นเวลา 7 วัน พบว่า น้ำมันผสมมีค่าสารประกอบมีขี้เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.10) การใช้ อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการทอดที่นานจะเร่งให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพ Arroyo *et al.* (1992) พบว่า ปริมาณสารประกอบมีขี้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนครั้งหรือระยะเวลาในการทอด เพิ่มขึ้น จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283 กำหนดให้น้ำมันที่จะนำมาทอดอาหารหรือประกอบอาหารมีค่าสารประกอบมีขี้ไม่เกิน 25% ซึ่งน้ำมันผสมหลังจากการทอดนั้กเกิดไ้เป็นเวลา 7 วัน มีค่าสารประกอบมีขี้ไม่เกิน 25%

อัตราการเพิ่มขึ้นของสารประกอบมีขั้วของน้ำมันผสมแต่ละสัดส่วนใกล้เคียงกัน (พิจารณาจากความชันของเส้นกราฟ) อย่างไรก็ตามพบอัตราการเพิ่มสูงผิดปกติของการทอดในวันที่ 7 ในน้ำมันผสม สัดส่วน 75:25 50:50



ภาพที่ 4.10 ค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน

4.4.1.3 ค่าเปอร์ออกไซด์

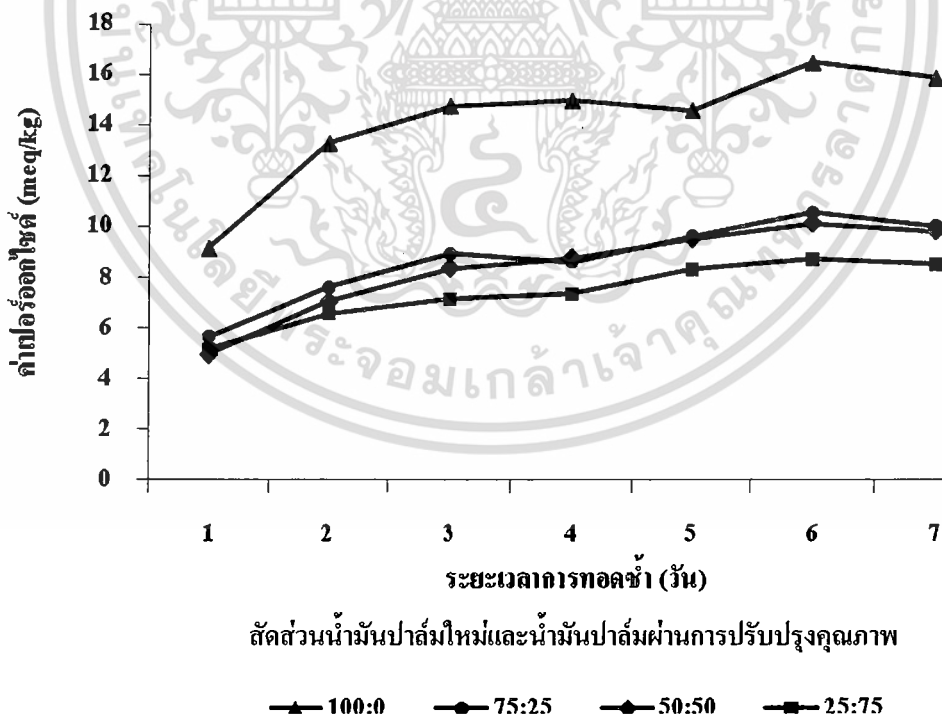
น้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยถ่านแกลบมีค่าเปอร์ออกไซด์ 0.95 meq/kg เมื่อผสมน้ำมันปาล์มใหม่: น้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สัดส่วน 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 มีค่าเปอร์ออกไซด์ 1.45 1.24 1.10 และ 1.00 meq/kg ตามลำดับ เมื่อนำน้ำมันผสมไปทอดนั้กเกตไก่ เป็นเวลา 7 วัน พบว่าน้ำมันผสมมีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรก หลังจากนั้นมีความโน้มถ่วงลดลงเล็กน้อยในช่วงท้าย (ภาพที่ 4.11) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากน้ำมันเมื่อได้รับความร้อนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ระเหยได้และไม่เสถียรจะสลายตัวไปเป็นสารที่ให้กลิ่นจำพวก อัลดีไฮด์ (aldehyde) คีโตน (ketone) ลิโปเปอร์ออกไซด์ (lipoperoxide) และอนุมูลอิสระ (free radical) สารประกอบเหล่านี้เป็นผลทำให้น้ำมันและอาหารที่ผ่านการทอดเกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ ดังนั้นในช่วงแรกของการใช้น้ำมันทอดซ้ำค่าเปอร์ออกไซด์จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่หลังจากนั้นเมื่อไฮโดรเปอร์ออกไซด์สลายตัว ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Che and Tan (1999) ที่ทำการทอดมันฝรั่งแผ่น 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 130 วินาที ทอดซ้ำทุก 30 นาที วันละ 5 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 5 วันติดต่อกัน พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 3 และเริ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงในวันที่ 4 จนกระทั่งสิ้นสุดการทอด โดยกล่าวว่า การลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์ไม่ได้เป็นตัวชี้วัดว่าน้ำมันยังมีคุณภาพดี ดังนั้นการดูการเสื่อมเสียทั้งหมดของน้ำมัน ไม่สามารถวัดโดยใช้วิธีนี้เพียงวิธีเดียว

เมื่อพิจารณาสัดส่วนของน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 พบว่า น้ำมันปาล์มที่ไม่ผสมน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงกว่าเนื่องจากน้ำมันปาล์มที่ผสมน้ำมันผ่านการปรับปรุงคุณภาพในระหว่างการทอด สามารถอธิบายได้ว่าไฮโดรเปอร์ออกไซด์เกิดจากการทำปฏิกิริยาของออกซิเจนที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพเป็นน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดอาหารมาแล้ว เคยเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนที่พันธะคู่ ทำให้สูญเสียพันธะคู่ มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวจำนวนน้อยลง ทั้งนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Farag *et al.* (2009) พบว่า เถ้าแกลบมีประสิทธิภาพในการลดกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้ ซึ่งเห็นได้จากการลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์ค่าไอโอดีน ค่าการหักเหของแสงของน้ำมันดอกทานตะวันผ่านการทอดซ้ำที่ดูดซับด้วยเถ้าแกลบซึ่งน้ำมันมีจำนวนพันธะคู่ลดลง จะมีค่าการหักเหของแสงลดลงด้วย

การผสมน้ำมันผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สัดส่วน 75:25 50:50 และ 25:75 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ในระหว่างการทอดไม่แตกต่างกันมากนัก ดังแสดงในภาพที่ 4.11



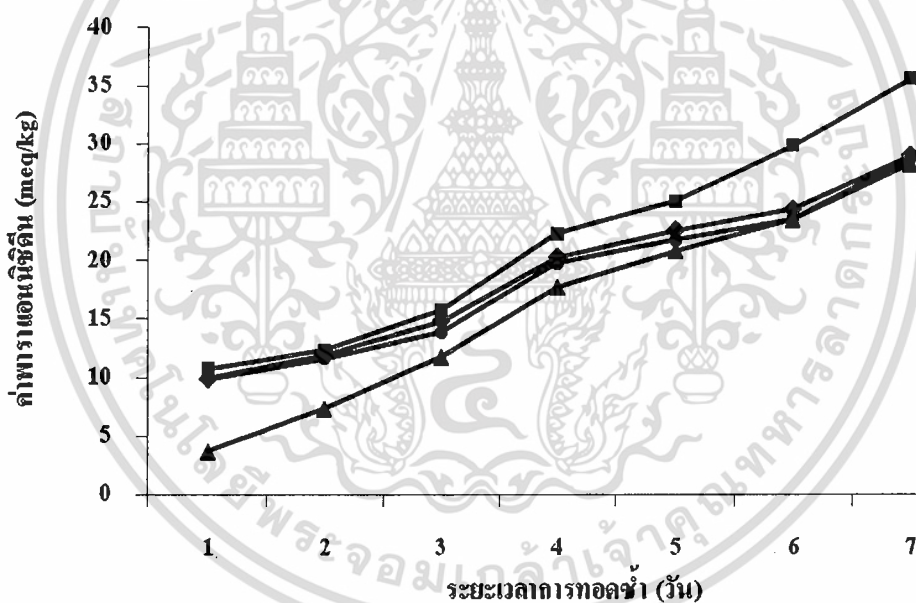
ภาพที่ 4.11 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.4 ค่าพาราแอนนิซิดีน

ค่าพาราแอนนิซิดีนเป็นตัวบ่งชี้ในการเกิดผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันอันดับสองที่ได้จากการสลายตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ จากภาพที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าค่าพาราแอนนิซิดีนสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น การเพิ่มของค่าพาราแอนนิซิดีน แสดงให้เห็นว่ามีการสะสมของสารประกอบอัลดีไฮด์ที่สำคัญ เช่น 2, 4-dienals และ 2 alkenals ในน้ำมันระหว่างทอด ถึงแม้ว่าจะเป็นสารที่สามารถระเหยได้แต่บางส่วนก็ยังสะสมอยู่ในน้ำมัน ทำให้น้ำมันทอดเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (Perkins, 1996)

น้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเต้าเกลือมีค่าพาราแอนนิซิดีน 8.52 meq/kg เมื่อผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สัดส่วน 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 มีค่าพาราแอนนิซิดีน 1.48 7.55 7.61 และ 8.21 meq/kg ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่าค่าพาราแอนนิซิดีนในน้ำมันผสม สัดส่วน 75:25 50:50 และ 25:75 มีค่าไม่แตกต่างจากน้ำมันปาล์มใหม่ หลังจากทอดนึ่งไก่แล้ว 7 วัน



สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

—▲— 100:0 —●— 75:25 —◆— 50:50 —■— 25:75

ภาพที่ 4.12 ค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน

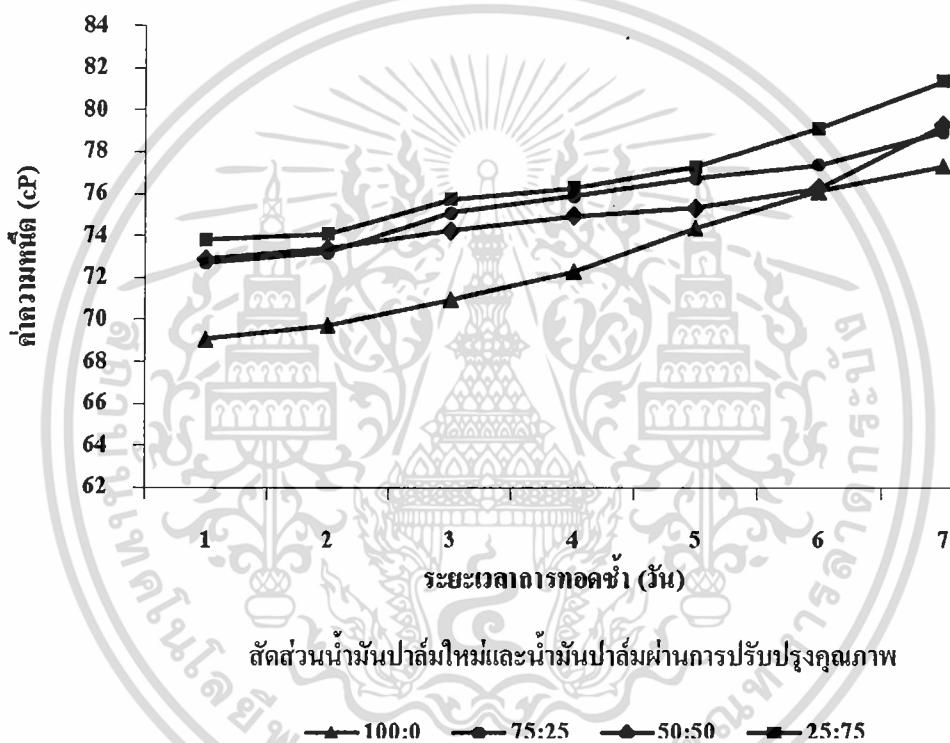
4.4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน

4.4.2.1 ค่าความหนืด

เมื่อนำน้ำมันมาให้ความร้อนซ้ำ ๆ เป็นเวลานาน จะทำให้จำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น เกิดการจับกันของคาร์บอนภายในโมเลกุลของกรดไขมันได้สารประกอบวงแหวน (cyclic compounds) ไดเมอร์ (dimers) ไตรเมอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(trimers) อีพอกไซด์(epoxides) และพอลิเมอร์ (polymers) ทำให้โมเลกุลใหญ่ขึ้น น้ำมันจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Shyu *et al.*, 1998) ทำให้เกิดฟองได้ง่ายขึ้น ซึ่งน้ำมันที่มีความหนืดมากจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงทำให้ต้องใช้เวลานานในการทอดมากขึ้น

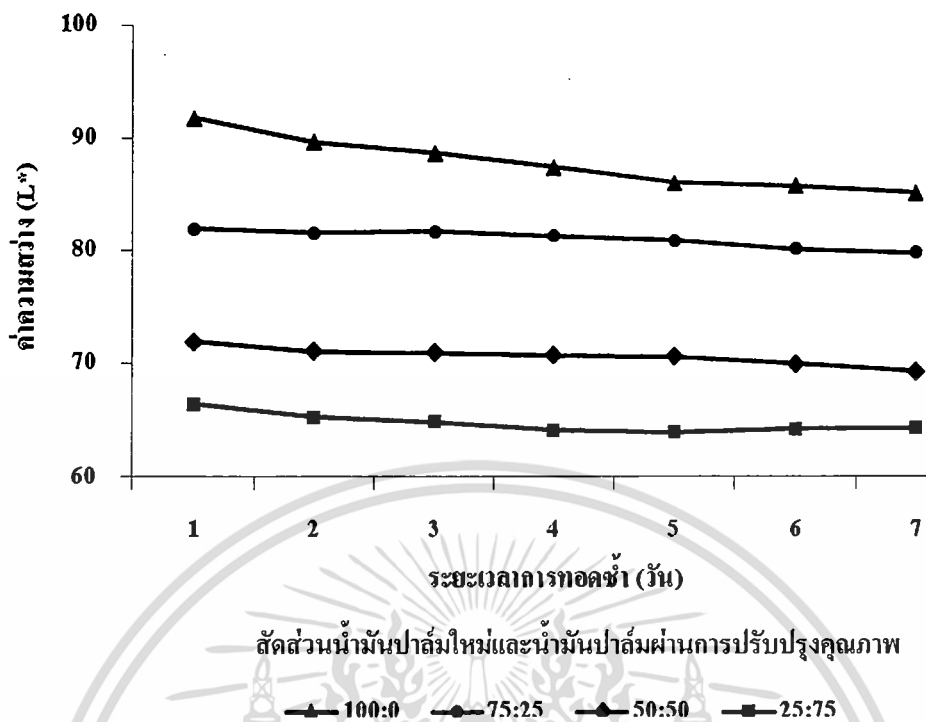
น้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าแกลบมีค่าความหนืด 67.79 cP เมื่อผสมน้ำมันปาล์มใหม่: น้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สัดส่วน 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 มีค่าความหนืด 65.50 66.88 67.10 และ 67.4 cP ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าค่าความหนืดในน้ำมันผสมหลังจากทอดนักเก็ตไก่แล้ว 7 วัน จากภาพที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อทอดระยะเวลา 7 วัน



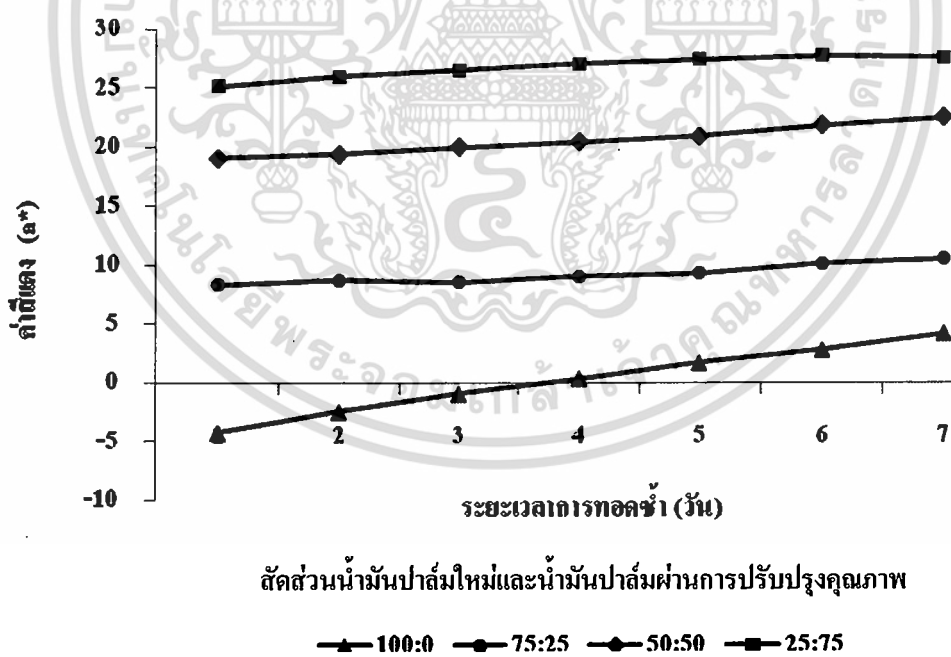
ภาพที่ 4.13 ค่าความหนืดของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน

4.4.2.2 ค่าสี

สีของน้ำมันจะเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำมัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันทอดอาหารจะส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพของน้ำมันทอดและอาหารทอด (Melton *et al.*, 1994) น้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเถ้าแกลบมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) และค่าความเข้มของสี (C^*) (คำนวณจาก $(a^*+b^*)^2$) 45.78 41.50 76.30 และ 86.86 ตามลำดับ จากผลการทดลองน้ำมันผสมหลังจากทอดนักเก็ตไก่แล้ว 7 วัน พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) และค่าความเข้มของสี (C^*) ดังภาพที่ 4.14 - 4.17

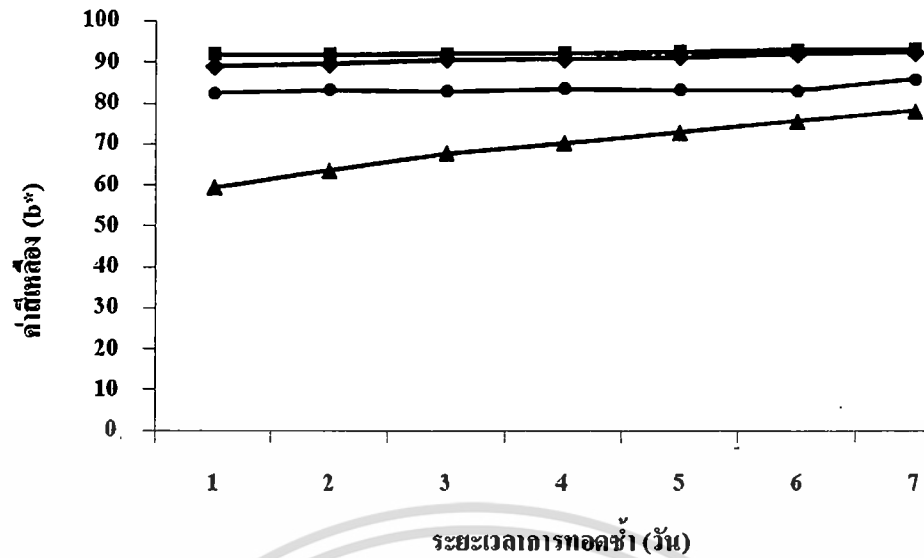


ภาพที่ 4.14 ค่าสีความสว่าง (L^*) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน

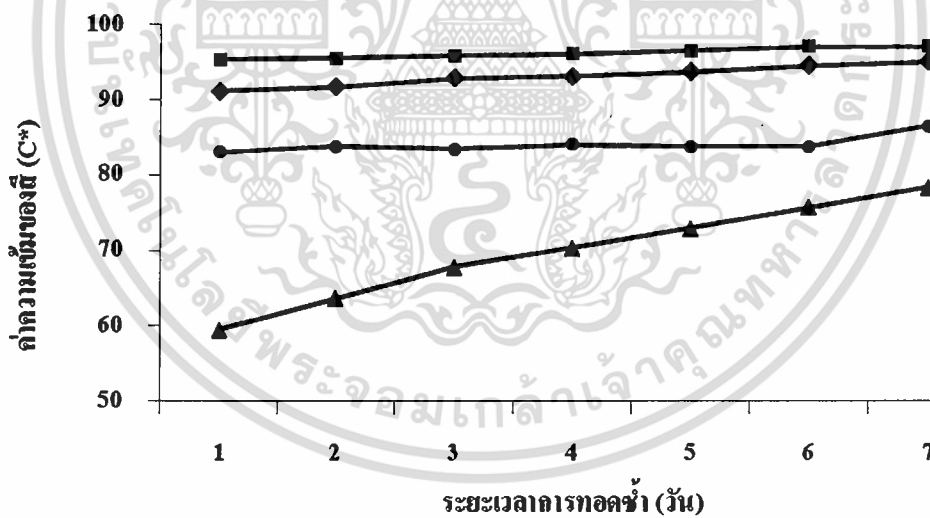


ภาพที่ 4.15 ค่าสีแดง (a^*) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ
 100:0 75:25 50:50 25:75
 ภาพที่ 4.16 ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน



สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ
 100:0 75:25 50:50 25:75
 ภาพที่ 4.17 ค่าความเข้มของสี (C*) ของน้ำมันผสมที่ผ่านการทอดซ้ำเป็นระยะเวลา 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.14 พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ของน้ำมันผสมมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น หมายถึง น้ำมันมีสีคล้ำขึ้น ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและจากการไหม้เกรียมของเศษอาหารทอดที่ตกค้าง (Che and Tan, 1999)

ในด้านค่าสีแดง (a^*) (ภาพที่ 4.15) ค่าสีเหลือง (b^*) (ภาพที่ 4.16) ของน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ค่าสี a^* มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงถึงความเป็นสีแดงที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาบราวน์แบบไม่ใช้เอนไซม์ของส่วนผสมน้ำตาลและโปรตีนในไก่ทอด ในน้ำมันปาล์มมีแคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นสารสีที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม (Basoglu *et al.*, 1996) การเกิดออกซิเดชันของวิตามินที่ละลายได้ในไขมันทั้งวิตามินเอ แคโรทีนอยด์ และวิตามินอี จะทำให้วิตามินถูกทำลายไปและทำให้สีและกลิ่นของน้ำมันเปลี่ยนไปได้เช่นกัน

ในด้านค่าความเข้มของสี (C^*) (ภาพที่ 4.17) ของน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มของสีคำนวณจากรากที่สองของ $a^{*2}+b^{*2}$ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับค่าสีแดง (a^*) และ ค่าสีเหลือง (b^*) ซึ่งค่าความเข้มของสีต่ำแสดงว่าน้ำมันมีสีอ่อน ในขณะที่สีที่มีความเข้มของสีสูงแสดงว่าน้ำมันมีความอึดตัวของสีสูงมีความเข้มหรือมีสีแก่

การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันใหม่มีอัตราสูงกว่าน้ำมันผสม ทั้งค่าความสว่าง (L^*) และค่า chroma (C^*) ที่ได้จากการคำนวณของ a^* และ b^* และมีการเปลี่ยนแปลงค่า C^* ชัดเจน เนื่องจากรังควัตถุที่มีในน้ำมันใหม่ครบถ้วนได้สลายตัวไปในระหว่างการทอด

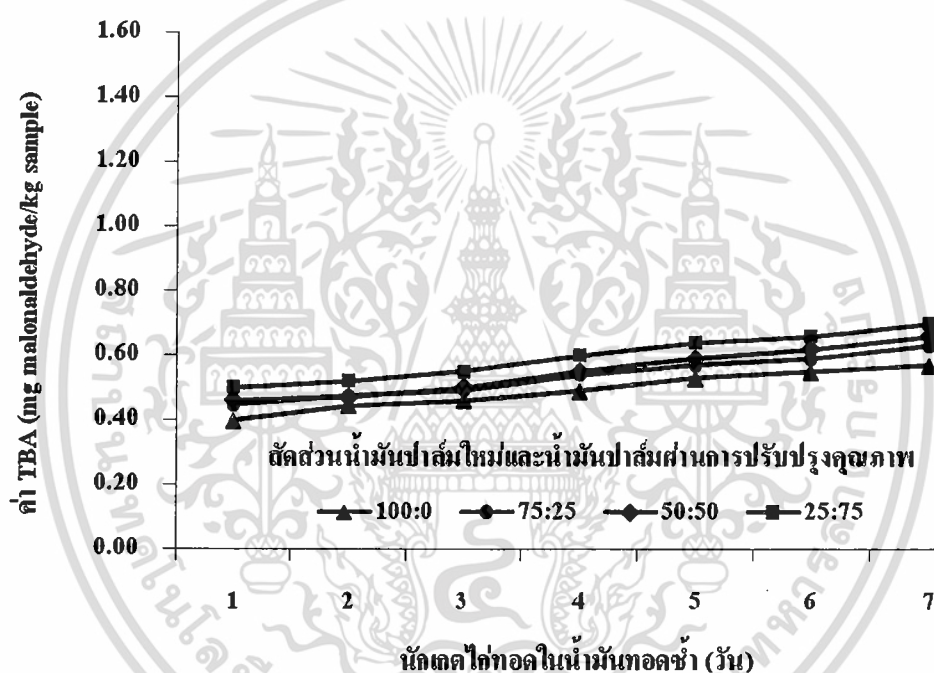
4.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพนักเกตไก่ทอด

การเก็บรักษาตัวอย่างนักเกตไก่ทอดที่ทอดในน้ำมันผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สัดส่วน 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่านักเกตไก่ทอดมีการเปลี่ยนแปลงค่า TBA ดังแสดงในภาพที่ 4.18 ถึง 4.24

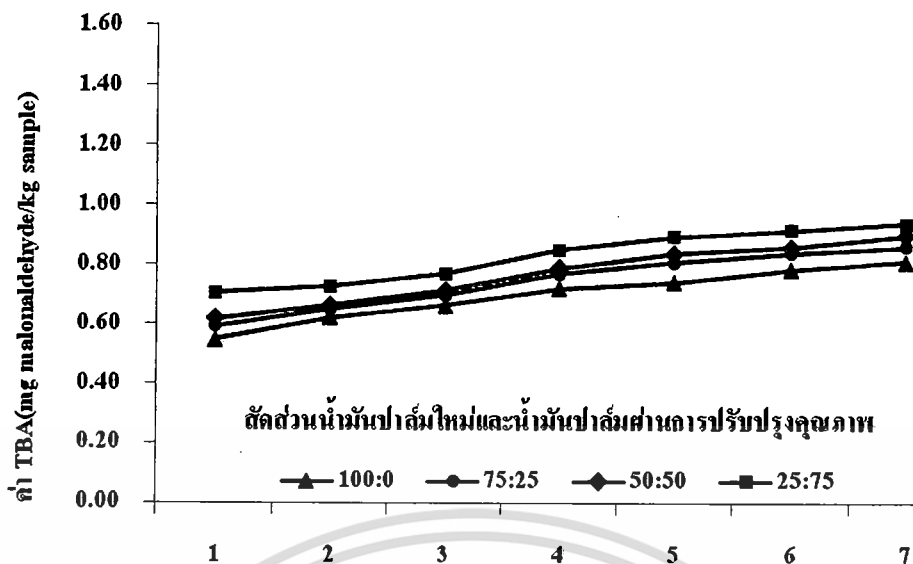
ค่า TBA เป็นการวัดผลิตภัณฑ์อันดับสองที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาลิปิดออกซิเดชัน ที่บ่งชี้ถึงผลิตภัณฑ์กลุ่มที่สามารถระเหยได้ (volatile decomposition product) สารกลุ่มนี้ทำให้เกิดกลิ่นรสในอาหารทอด ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยกลิ่นหืนเกิดจากออกซิเจนในอากาศเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอนใน โมเลกุลของกรดไขมัน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบแอลดีไฮด์และกรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก ๆ ที่มีกลิ่นเหม็นหืน จากภาพที่ 4.18 – 4.24 เมื่อเปรียบเทียบค่า TBA ของผลิตภัณฑ์นักเกตไก่ทอดที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันผสมในสัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สัดส่วน 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 พบว่า นักเกตไก่ทอดด้วยน้ำมันที่มีจำนวนวันในการทอดซ้ำเพิ่มขึ้นมีค่า TBA สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันทอดซ้ำส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารทอดด้วย ผลการวิเคราะห์ค่า TBA ในทุก ๆ สัปดาห์ พบว่า มีระดับการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ภาพที่ 4.18 – 4.24) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่า TBA นั้น เป็นดัชนีให้

เห็นถึงระดับการเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์โดยตรงที่มีสาเหตุมาจากสารประกอบที่ระเหยได้ในน้ำมัน (Kilcast และ Subramaniam, 2000) ผลิตภัณฑ์ที่ทอดจากน้ำมันที่ใช้ซ้ำจำนวนวัน 7 วัน ค่า TBA จะสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดจากน้ำมันที่ใช้ซ้ำจำนวนน้อยกว่าในระยะเวลาการเก็บผลิตภัณฑ์เดียวกัน

การผสมน้ำมันปาล์มปรับปรุงในสัดส่วนที่สูงที่สุดในการทดลองนี้ คือ น้ำมันปาล์มปรับปรุงคุณภาพ 75 ส่วน น้ำมันปาล์มใหม่ 25 ส่วน จะมีคุณภาพนักเกิดไก่อันระหว่างการเก็บรักษาต่ำที่สุด เห็นได้จากค่า TBA ที่สูงที่สุดในทุกระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพที่ 4.18-4.24) การผสมน้ำมันในสัดส่วน 75:25 และ 50:50 ไม่มีความแตกต่างของค่า TBA อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะดีกว่าการทอดด้วยน้ำมันปาล์มใหม่เล็กน้อย

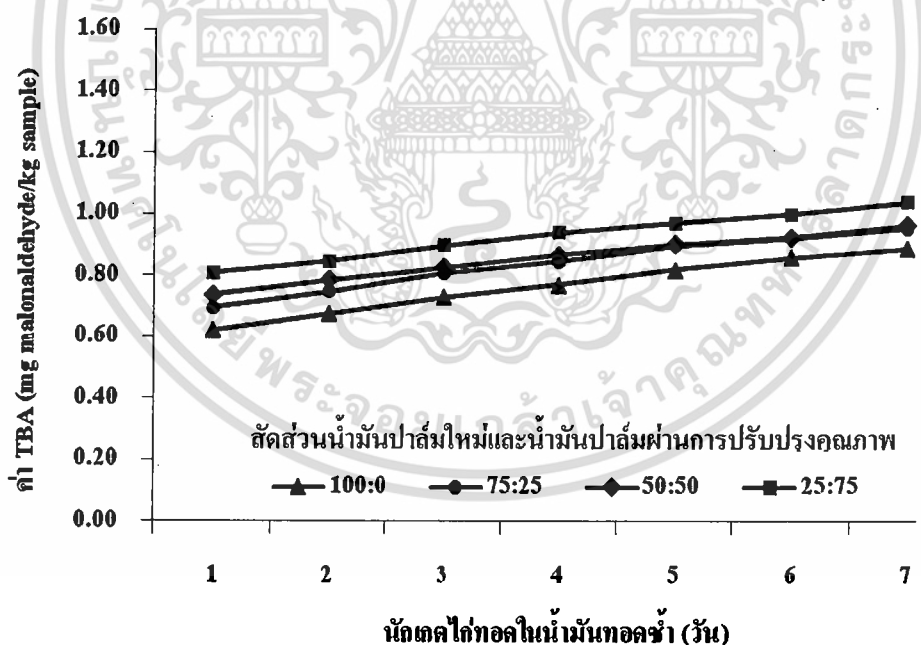


ภาพที่ 4.18 ค่า TBA ของนักเกิดไก่อันที่ผ่านการทอดในน้ำมันผสม ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์



นักตกไล่ทอดในน้ำมันทอดซ้ำ (วัน)

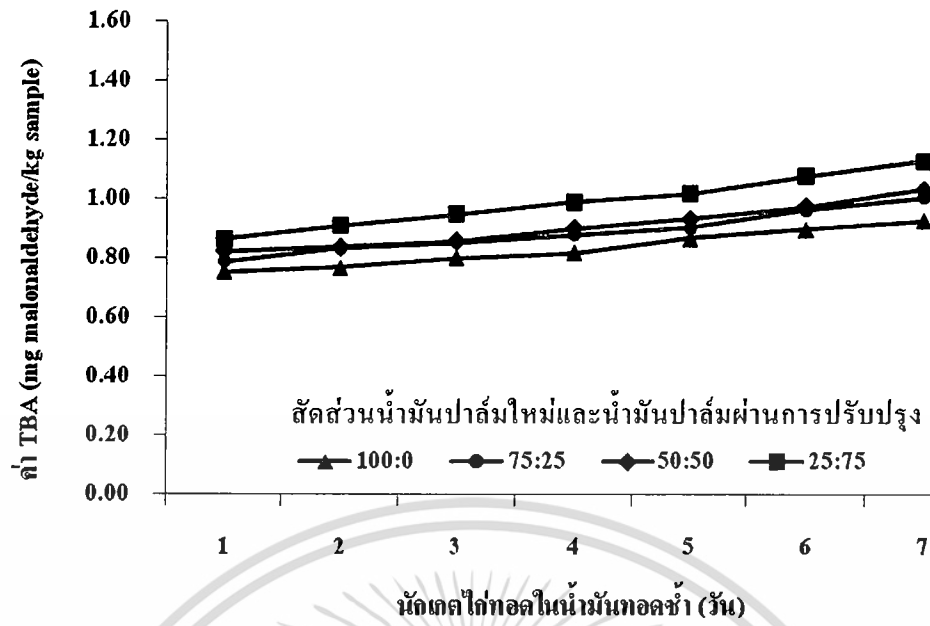
ภาพที่ 4.19 ค่า TBA ของนักตกไล่ที่ผ่านการทอดในน้ำมันผสม ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์



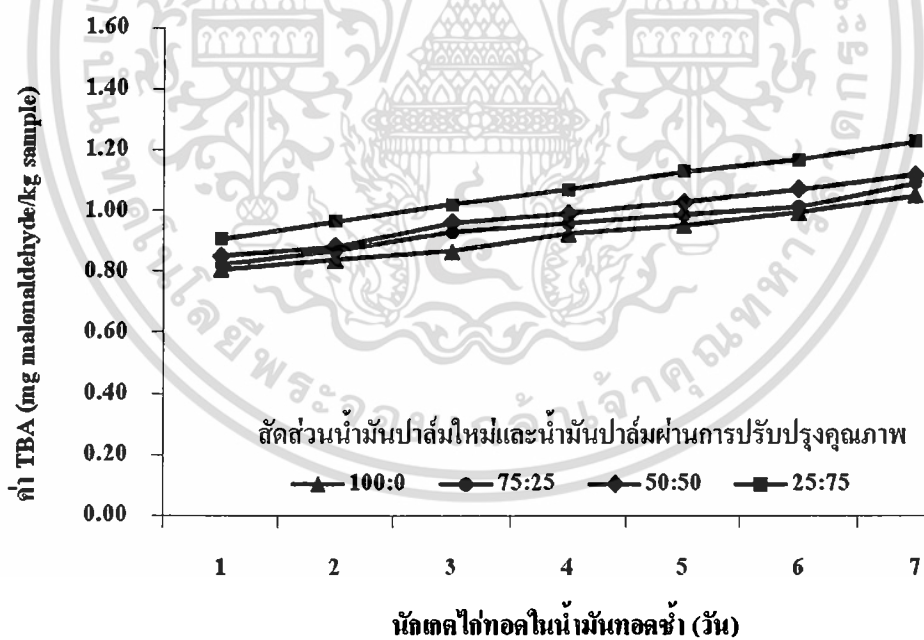
นักตกไล่ทอดในน้ำมันทอดซ้ำ (วัน)

ภาพที่ 4.20 ค่า TBA ของนักตกไล่ที่ผ่านการทอดในน้ำมันผสม ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

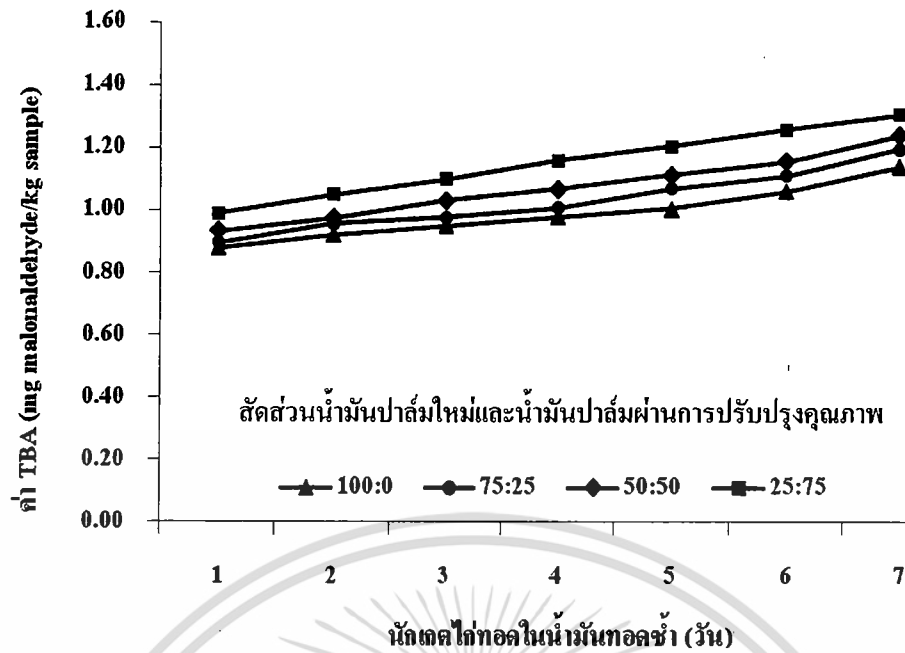


ภาพที่ 4.21 ค่า TBA ของนักเกิดไก่ที่ผ่านการทอดในน้ำมันผสม ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 5 สัปดาห์

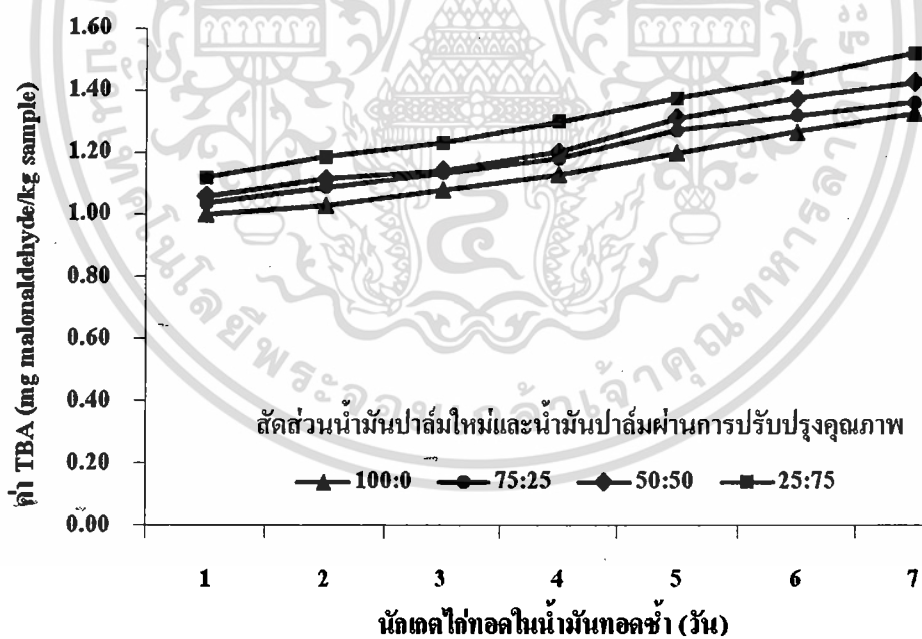


ภาพที่ 4.22 ค่า TBA ของนักเกิดไก่ที่ผ่านการทอดในน้ำมันผสม ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.23 ค่า TBA ของนักเตดโก่ที่ผ่านการทอดในน้ำมันผสม ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 7 สัปดาห์



ภาพที่ 4.24 ค่า TBA ของนักเตดโก่ที่ผ่านการทอดในน้ำมันผสม ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มใหม่ที่ไม่ผ่านการทอด พบว่าน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพ คือ มีค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนซิติน ค่าสารประกอบมีขี้ขี้ ค่าสีและมีความหนืดเพิ่มขึ้น
2. การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับสารของถั่วแกลบต่อความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง พบว่าการดูดซับของถั่วแกลบที่อุณหภูมิ 80 ± 2 และ 105 ± 2 องศาเซลเซียส สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดได้ดีกว่าการดูดซับที่อุณหภูมิห้อง (27 ± 2) การดูดซับที่อุณหภูมิ 80 ± 2 และ 105 ± 2 องศาเซลเซียส สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดทั้งทางเคมีและกายภาพ รวมถึงปริมาณน้ำมันที่ได้หลังการดูดซับมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นการดูดซับของถั่วแกลบที่อุณหภูมิ 80 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอด
3. การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับและปริมาณของถั่วแกลบต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้ง โดยใช้สารดูดซับถั่วแกลบสัดส่วน 20, 25 และ 30 กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม ใช้เวลาดูดซับ 10, 20 และ 30 นาที พบว่า เมื่อปริมาณสารดูดซับถั่วแกลบเพิ่มขึ้นมีผลทำให้น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดมีการปรับปรุงคุณภาพทั้งสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันดี เมื่อใช้เวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าพาราแอนซิติน และค่าสารประกอบมีขี้ขี้ของน้ำมันทอดซ้ำมีการปรับปรุงคุณภาพดีขึ้น การเพิ่มเวลาในการดูดซับไม่มีผลต่อการปรับปรุงค่าความหนืด และค่าสีของน้ำมัน เมื่อพิจารณาเวลาในการดูดซับที่ 20 และ 30 นาที จะเห็นว่า การดูดซับที่ 20 นาที ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ มีการปรับปรุงคุณภาพดีกว่าการดูดซับที่เวลา 30 นาที ส่วนค่าพาราแอนซิตินมีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อปริมาณสารดูดซับถั่วแกลบและเวลาในการดูดซับเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำมันภายหลังผ่านการใส่สารดูดซับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งการลดลงของปริมาณน้ำมันภายหลังผ่านการใส่สารดูดซับมีผลทางเศรษฐกิจ ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดของสารดูดซับถั่วแกลบ และปริมาณน้ำมันภายหลังผ่านการใส่สารดูดซับ ปริมาณสารดูดซับถั่วแกลบ 30 กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม และเวลาการดูดซับ 20 นาที เป็นปริมาณและเวลาเหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การศึกษาคุณภาพการทอดนั้กเกิดไก่ของน้ำมันผสม น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สัดส่วน 100:0 75:25 50:50 และ 25:75 ทอดเป็นเวลา 5 นาทีต่อครั้งติดต่อกันเป็นเวลา 7 วัน พบว่า น้ำมันผสมทุกสัดส่วนมีค่ากรดไขมันอิสระ ค่าพาราแอนนิซิติน ค่าสารประกอบมีขี้ว และความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นใน 3 วันแรก หลังจากนั้นลดลง และมีอัตราการเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน

5. การวิเคราะห์คุณภาพนั้กเกิดไก่ทอด โดยการวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก (TBA) พบว่า นั้กเกิดไก่มีค่าความหืนสูงกว่าเมือใช้น้ำมันผ่านการทอดจำนวนวันเพิ่มขึ้น และเมือเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ค่า TBA ของนั้กเกิดไก่ที่ทอดในน้ำมันผสม สัดส่วน 75:25 50:50 มีค่าไม่แตกต่างกันในน้ำมันทอดซ้ำแต่ละวัน และในการเก็บรักษาแต่ละสัปดาห์ นั้กเกิดไก่ที่ทอดในน้ำมันผสมสัดส่วน 25:75 มีคุณสมบัติค้อยที่สุด และการทอดนั้กเกิดไก่ด้วยน้ำมันใหม่มีคุณสมบัติค้อยที่สุดในระหว่างการเก็บรักษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- นิธิยา รัตนापนนท์. 2548. วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ภาคภูมิ จตุรพรสวัสดิ์, วีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร์, ชูวงศ์ ชัยสุข และ พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์. 2554. การเตรียมตัวดูดซับจากแกลบเพื่อดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ. การประชุมวิชาการ นานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 21. 10 - 11 พฤศจิกายน.
- วริศรา จิวะชาติ. 2548. การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งโดยใช้สารดูดซับ ซิลิกาเจล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สาวิตรี จันทรานุกรักษ์ และ ศदानันท์ เจียมสันคุษฎี. 2548. การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่เลิกใช้แล้วโดยตัวดูดซับ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- สาวิตรี จันทรานุกรักษ์ และ ศदानันท์ เจียมสันคุษฎี. 2549. การศึกษาความเข้มข้นและเวลาของการดูดซับที่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่เลิกใช้จากการทอดอาหารชนิดต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- A.O.C.S. 1998. **Official Methods and Recommended Practices of American Oil Chemists' Society**. 5th ed. AOCS Press. Champaign, IL, USA.
- Arroyo, R., Cuesta, C., Garrido-Polonio, C., Lopez-Varela S. and Sanchez-Muniz, F. J. 1992. High performance size exclusion chromatographic studies on polar components formed in sunflower oil used for frying. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 69(6): 557-563.
- Basoglu, F.N., Wetherilt, H., Pala, M., Yildiz, M., Biringen, G. and Unal, M. 1996. **Improved quality of cooking and frying oil by blending palm olein**. In: World Conference and Exhibition on Oilseed and Edible oils Processing. Vol 1. 159-168.
- Bhattacharya, A.B., Sajilata, M.G., Tiwari, S.R. and Singhal, R.S. 2008. Regeneration of thermally polymerized frying oils with adsorbents. **Food Chemistry**. 110: 562-570.
- Bheemreddy, R.M., Chinnan, M.S. and Reynolds, A.E. 2002. Active treatment of frying oil for enhanced fry-life. **Journal of Food Science**. 67(4):1478-1484.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Blumenthal, M.M. 1996. **Frying Technology, in Bailey's Industrial Oil and Fat Products**, 5th ed. edited by Y.H. Hui. John Wiley and Sons, Inc. New York. (3):429–481.
- Chang, S.S., Peterson, R.J. and Ho, C.T. 1978. Chemical reactions involved in the deep-fat frying of foods. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 55(10):718-727.
- Che Man, Y.B. and Tan, C.P. 1999. Effects of natural and synthetic antioxidants on changes in refined, bleached, and deodorized palm olein during deep-fat frying of potato chips. 1999. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 77(4):331-339.
- Choe, E. and Min, D.B. 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. **Journal of Food Science**. 72(5): 77-86.
- Chung, J., Lee, J. and Choe, E. 2004. Oxidative Stability of Soybean and Sesame Oil Mixture during Frying of Flour Dough. **Journal of Food Science**. 69(7):547-578.
- Esteban, B., Riba, J.R., Baquero, G., Rius, A. and Puig, R. 2012. Temperature dependence of density and viscosity of vegetable oils. **Biomass and Bioenergy**. 42: 164 -171
- Farag, R.S. and Basuny, A.M.M. 2002. New method for improving the quality of peroxidized oils. **Advances in Food Sciences**. 24:50–54.
- Farag, R.S. and EL-Anany, A.M. 2006. Improving the quality of fried oils by using different filter aids. **Journal of the Science Food and Agriculture**. 86:2228–2240.
- Farag, R.S., Mahmoud, E.A. and Basuny, A.M.M. 2007. Use crude olive leaf juice as a natural antioxidant for the stability of sunflower oil during heating. **International Journal of Food Science and Technology**. 42:107–115.
- Farag, R.S., Basuny, A.M.M. Arafat, S.M. and Arafa, S.A. 2009. Use of some agricultural waste hull ashes for the regeneration of fried sunflower oil. **International Journal of Food Science and Technology**. 44:1850–1856.
- Farhoosh R, and Moosavi, S.M. 2008. Carbonyl value in monitoring of the quality of used frying oils. **Analytica Chimica Acta**. 617(1-2):18-21.
- Farook, A. and Ravendran, S. 2000. Saturated fatty acid adsorption by acidified rice hull ash. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 77(4):437-440.
- Fritsch, C.W. 1981. Measurements of frying fat deterioration: A brief review. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 58(3):272-274.
- Hamilton, R.J. 1995. **Developments in Oils and Fats**. London: Applied Science.

- Hui, Y.H. 1996. **Edible oil and fat products oil and oil seed**. Bailey's Industrial Oil and Fat Products Vol. 2, 5th ed. A Wiley interscience publication. 708 p.
- Jayasingh, P. and Cornforth, D.P. 2003. Comparison of antioxidant effects of milk mineral, butylated hydroxytoluene and sodium tripolyphosphate in raw and cooked ground pork. **Meat Science**. 66:83-89.
- Kalapathy, U. and Proctor, A. 2000. A new method for free fatty acid reduction in frying oil using silicate films produced from rice hull ash. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 77(6):593-598.
- Kilcast, D. and Subramaniam, P. 2000. **The Stability And Shelf-Life Of Food**. Cambridge, England : Wood Head Publishing. 340 p.
- Kim, M., Yoon, S.H., Choi, E and Gil, B. 2008. Comparison of the adsorbent performance between rice hull ash and rice hull silica gel according to their structural differences. **LWT**. 41:701-706.
- Lin, S., Akoh, C.C. and Reynold, A.E. 1998. The recovery of used frying oil with various adsorbent. **Journal of Food Lipids**. 5: 1-16.
- Lin, S., Akoh, C.C. and Reynold, A.E. 1999. Determination of optimal conditions for selected adsorbent combinations to recover used frying oils. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 76:739-744.
- Lin, S., Akoh, C.C. and Reynold, A.E. 2001. Recovery of used frying oils with adsorbent combinations: refrying and frequent oil replenishment. **Food Research International**. 34:159-166.
- Lomanno, S.S and Nawar, W.W. 1982. Effect of heating temperature and time on the volatile oxidative decomposition of linolenate. **Journal of Food Science**. 47:744-746.
- Maskan, M. and Bagci, H. 2003. The recovery of used sunflower seed oil utilized in repeated deep-fat frying process. **European Food Research and Technology**. 218:26-31.
- Melton, S.L., Jafar, S., Sykes, D. and Trigiano, M.K. 1994. Review of stability measurements for frying oils and fried food flavor. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 71(12): 1301-1308.
- Miyagi, A., Nakajma, M. and Nabetani, H. 2001. Feasibility of recycling used frying oil using membrane process. **European Journal of Lipid Science and Technology**. 103:208-215.

- Miyagi, A. and Nakajima, M. 2003. Regeneration of used frying oils using adsorption processing. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 80(1):91-96.
- Miyagi, A., Subramanian, R. and Nakajima, M. 2003. Membrane and additional adsorption processes for quality improvement of used frying oils. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 80(9):927-932.
- Mulflur, W.J. and Munson, J.R. 1987. **Treatment of cooking oil and fats**. US Patent 4 681 768.
- O' Brien, R. 1993. Foodservice use of fat and oils. **Inform**. 4(8): 913-921.
- Paul, S. and Mittal, G.S. 1997. Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. **Crit. Rev. Food Science and Nutrition**.37:635–662.
- Perkins, E.G. 1996. **Volatile odor and flavor component formed in deep frying, in Deep frying: chemistry, nutrition and practical applications**. Official Method of the American Oil Chemists' Society Press. Champaign, IL,USA. 43-48.
- Riera, J.B., Codony, R. and Chambers, G. 2000. **Recycled Cooking Oils: Assessment of risks for public health: Final Study**. European Parliament Directorate General for Research Directorate A The STOA Programme.
- Subramanian, R., Nandini, K.E., Sheila, P.M., Gopalakrishna,A.G., Raghavarao, K.S.M.S., Nakajima, M., Kimura, T. and Maekawa, T. 2000. Membrane Processing of Used Frying Oils. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 77(3):323–328.
- Stevenson, S.G., Genser, M. and Eskin, N.A.M. 1984. Quality control in the use of deep frying oils. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 61(6):1102-1108.
- Shyu, S.L., Hau, L.B. and Hwang, L.S. 1998. Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 75(10):1393-11398.
- Taylor, D.R. and Gallavan, K.P. 1988. **Treatment of impure frying oil**. US Patent 47 358 150.
- Taspinar, O.O. and Yucel, S.O. 2008. Lipid adsorption capacities of magnesium silicate and activated carbon prepared from the same rice hull. **European Journal of Lipid Science and Technology**. 110:742–746
- Tyagi, V. K. and Vasishtha, A. K. 1996. Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 73(4):499–506.
- Yates, R.A., and Caldwell, J.D. 1993. Regeneration of oils used for deep frying: A comparison of active filter aids. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 70(5):507–511.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ก1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid; FFA)(AOCS, 1997)

1.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1.1.1 เครื่องแก้ว

1.1.2 สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 95 %

1.1.3 สารละลายฟีนอล์ฟธาไลน์ 1 % ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95 %

1.1.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.2 วิธีวิเคราะห์

1.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมันโดยใช้ปริมาณตามตารางที่ ก1 ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

ตารางที่ ก1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมาณแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของด่าง

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

1.2.2 เติมสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ตามปริมาณที่เหมาะสมดังพิจารณาจากตารางที่ ก1 โดยสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ต้องผ่านการทำให้เป็นกลางแล้ว (Neutralized) โดยการเติมสารละลายฟีนอล์ฟธาไลน์ 2 มิลลิลิตร และไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนได้สารละลายสีชมพูอ่อน และนำไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

1.2.3 เติมสารละลายฟีนอล์ฟธาไลน์ 2 มิลลิลิตร

1.2.4 ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนได้สารละลายสีชมพูคงตัว 30 วินาที (ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้พิจารณาจากตาราง ก1)

1.2.5 บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการไทเทรต

1.2.6 คำนวณค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เมื่อ N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มอล)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก2. วิธีวิเคราะห์หาค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value; PV) (AOCS Cd 8-53, 1997)

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

- 2.1.1 เครื่องแก้ว
- 2.1.2 สารละลายผสมอะซิติก: คลอโรฟอร์ม (3:2)
- 2.1.3 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว
- 2.1.4 สารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
- 2.1.5 สารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล
- 2.1.6 สารละลายน้ำแป้งความเข้มข้น 1 %

2.2 วิธีวิเคราะห์

- 2.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5 ± 0.05 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.2.2 เติมสารละลายผสมอะซิติก:คลอโรฟอร์ม (3:2) 30 มิลลิลิตร
- 2.2.3 เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว 0.5 มิลลิลิตร
- 2.2.4 เขย่าสารละลายเป็นเวลา 1 นาที ในที่มืด และเติมน้ำกลั่นทันที 30 มิลลิลิตร
- 2.2.5 ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อนและเติมสารละลายน้ำแป้งความเข้มข้น 1 % 2 มิลลิลิตร และไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหาย
- 2.2.6 บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟต ที่ใช้ในการไทเทรต
- 2.2.7 ทำ blank ตามวิธีเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น แต่ไม่ใส่ตัวอย่างน้ำมัน
- 2.2.8 คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์

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

เมื่อ S = ปริมาตรสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟต (นอร์มอล)

ก3. วิธีวิเคราะห์ค่าพาราแอนนิซิดีน (p- Anisidine Value ; p-AV) (AOCS Cd 18-90,1997)

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

- 3.1.1 เครื่องแก้ว
- 3.1.2 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
- 3.1.3 สารละลายไอโซออกเทน
- 3.1.4 สารละลายกรดอะซิติก
- 3.1.5 สารละลายพาราแอนนิซิดีน

3.2 วิธีวิเคราะห์

- 3.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 0.5 ± 4.0 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร
- 3.2.2 เติมสารละลายไอโซออกเทน เขย่าให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 25 มิลลิลิตร
- 3.2.3 ทำ blank โดยใช้สารละลายไอโซออกเทน
- 3.2.4 นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร
- 3.2.5 ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ออกมาจำนวน 5 มิลลิลิตร

ใส่ในหลอดทดลอง

- 3.2.6 ปิเปตสารละลาย blank จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองอีกหลอดหนึ่ง
- 3.2.7 เติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
- 3.2.8 นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ 350 นาโนเมตร
- 3.2.9 คำนวณพาราแอนนิซิดีน

$$\text{p- Anisidine Value} = \frac{25 \times (1.2A_s - A_b)}{\text{mass of sample, g}}$$

เมื่อ A_s = ค่าการดูดกลืนแสงหลังเติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน

A_b = ค่าการดูดกลืนแสงก่อนเติมสารละลายพาราแอนนิซิดีน

ก4. วิธีวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบมีขี้ด้วยเครื่อง Ebro TM electronic (FOM 310)

4.1 อุปกรณ์และสารเคมี

4.1.1 เครื่องแก้ว

4.1.2 เครื่องวัดสารประกอบมีขี้ (Ebro TM electronic, FOM 310)

4.2 วิธีวิเคราะห์

4.2.1 กดปุ่ม ON/Hold เพื่อเปิดเครื่อง

4.2.2 จุ่มหัวเซ็นเซอร์ในน้ำมันที่ร้อน 150°C ให้อยู่ในระดับ Min/ Max

4.2.3 คนหัวเซ็นเซอร์ในน้ำมันอย่างน้อย 5 วินาที จุ่มหัวเซ็นเซอร์จนมีลูกศร ขึ้น

4.2.4 กดปุ่ม ON/Hold เพื่ออ่านค่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก5. วิธีวิเคราะห์ความหนืด Brookfield viscometer (Brookfield DV- III)

5.1 อุปกรณ์

5.1.1 Brookfield viscometer รุ่น DV- III

5.1.2 ชุด small sample adapter

5.1.3 หัววัดเบอร์ 18

5.2 วิธีวิเคราะห์

5.2.1 ปรับระดับลูกน้ำให้อยู่กึ่งกลางของกรอบ และเปิดเครื่อง (power switch) ที่ด้านหลังของฐานเครื่อง

5.2.2 กดปุ่ม motor on/off เครื่องจะทำการปรับศูนย์อัตโนมัติ เมื่อหน้าจอขึ้น auto zero is complete กด next

5.2.3 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5 กรัม ใส่ใน chamber ซึ่งติดตั้งเข้ากับชุด small sample adapter และควบคุมในการวัดที่อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส

5.2.4 ใส่หัววัดเบอร์ 18 และจุ่มในตัวอย่าง

5.2.5 กด select spindle เพื่อเลือกขนาดของหัววัด และกด select spindle อีกครั้งเพื่อตอบตกลง

5.2.6 เลือกความเร็วรอบ โดยพิจารณาความเร็วรอบจากค่าทอร์ก (torque) ที่เข้าใกล้ 100 หลังจากนั้นอ่านค่าความหนืดของตัวอย่างเป็นเซนติพอยส์ (cP)

ก6. วิธีการวัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab (Color Quest XE)

เครื่องวัดสีทำงานโดยใช้หลักการของ spectrophotometry ดังนี้ ให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงภายในตัวเครื่อง ตกกระทบบนผิวของวัตถุ อนุภาคของสีบนผิวของวัตถุจะดูดกลืนแสงบางช่วงคลื่นไว้ และสะท้อนแสงบางช่วงคลื่นออกมา และถูกบันทึกโดยชุดรับสัญญาณ (Spectrometer) และนำข้อมูลมาประมวลผลตามการตอบสนองของตามนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน คำนวณค่าสีออกมาเป็นตัวเลขระบบ CIE (Commission International de l'Eclairage)

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องทดสอบและโปรแกรมการทดสอบในคอมพิวเตอร์ ในการตรวจสอบสีของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ใช้ค่าสีระบบ CIE $L^* a^* b^*$ โดยการปรับมาตรฐานเครื่อง (Calibration) ด้วยการตั้งค่าต่าง ๆ ดังนี้ Mode เลือก TTRAN (Total transmission) ใช้วัดสีวัตถุโปร่งใส โดยจะรวมแสงที่ทะลุผ่านทั้งหมดและแสงที่กระเจิง และเลือก Illuminant/ObsERVER เลือก D65/10°

2. ทำการ Calibration เครื่องก่อนการวัดครั้งแรกด้วยชุด Calibration โดยทำตามขั้นตอนที่โปรแกรมกำหนด ดังนี้

2.1 นำ black card วางที่ transmission port กด OK เมื่อทำการ standardize สมบูรณ์แล้ว นำ black card ออก

2.2 นำ cell blank วางแทนที่ black card

2.3 นำ white calibrated tile วางที่ reflectance port (วางไว้ตลอดการวัด โดยไม่เอาออก)

2.4 ทำการกดอ่านค่า cell blank โดยค่า L^* ที่วัดได้จะเท่ากับ 100 หรือใกล้เคียง 100 ค่า a^* และ b^* จะเท่ากับ 0 หรือใกล้เคียง 0

2.5 จากนั้นเปลี่ยนจาก cell blank เป็นตัวอย่างน้ำมัน วัดค่าสีของน้ำมันในระบบ CIE $L^* a^* b^*$ โดยทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

L^* หมายถึง ค่าความสว่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว)

a^* หมายถึง ความเป็นสีแดง ถ้าเป็นบวก (+)/ความเป็นสีเขียว ถ้าเป็นบวก (-)

b^* หมายถึง ความเป็นสีเหลือง ถ้าเป็นบวก (+)/ความเป็นสีน้ำเงิน ถ้าเป็นบวก (-)

C^* หมายถึง ค่าความเข้มของสี (Chroma) คำนวณจาก $C^* = (a^* + b^*)^{1/2}$

ก7. วิธีการวิเคราะห์ค่ากรดไทโอบาร์บิทูริก(TBA) (ดัดแปลงจาก Jayssingh and Cornforth, 2003)

ค่า TBA เป็นการวัดผลิตภัณฑ์อันดับสองที่เกิดขึ้น จากการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่บ่งชี้ถึงผลิตภัณฑ์กลุ่มที่สามารถระเหยได้ (Volatile decomposition product) สารในกลุ่มนี้จะทำผลิตภัณฑ์อาหารมีกลิ่นหืน การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ ทำได้โดยใช้หลักการของวิธีการวัดความเข้มของสารสีชมพูแดงที่มีความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไทโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric) กับ oxidized lipids ได้สารประกอบที่มีสีชมพูแดง ซึ่งสารประกอบดังกล่าวเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างมาลอนัลดีไฮด์ (malonaldehyde, MDA) จำนวน 1 โมล กับ 2-thiobarbituric acid (TBA) จำนวน 2 โมล การรายงานผลการวิเคราะห์ค่า TBA จะรายงานผลเป็น มิลลิกรัมของมาลอนัลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง (milligrams of malonaldehyde equivalents/kg of sample)

7.1 อุปกรณ์และสารเคมี

- 7.1.1 หลอดทดลอง
- 7.1.2 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)
- 7.1.3 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- 7.1.4 กรดไตรคลอโรอะซีติก
- 7.1.5 กรดไทโอบาร์บิทูริก
- 7.1.6 กรดไฮโดรคลอริก

7.2 วิธีการวิเคราะห์

7.2.1 ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียดอย่างสม่ำเสมอ จำนวน 1 กรัม ใส่หลอดทดลอง แล้วเติมสารละลายผสมระหว่างกรดไตรคลอโรอะซีติก (Trichloroacetic acid หรือ TCA) เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และกรดไทโอบาร์บิทูริก (Thiobarbituric acid หรือ TBA) เข้มข้นร้อยละ 0.375 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.2 นอร์มอล

7.2.2 จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที แล้วทำให้เย็นทันที ก่อนที่จะนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 5,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

7.2.3 ปิเปตสารละลายส่วนใสใส่หลอดทดลองอีกหลอด นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 5,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

7.2.4 จากนั้นนำส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

7.2.5 จดบันทึกค่าการดูดกลืนแสงและคำนวณค่า TBA

$$\text{TBA number (mg MDA/kg sample)} = \text{sample A}_{532} \times 2.77$$

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ๒1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับที่ต่างกัน โดยใช้ปริมาณแฉับ 20 กรัมต่อ น้ำมัน 100 กรัม ดูดซับ เป็นเวลา 20 นาที

สมบัติทางเคมีและกายภาพ	น้ำมันปาล์ม		อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ (องศาเซลเซียส)			
	ที่ผ่านการทอดอาหาร	น้ำมันปาล์ม	อุณหภูมิห้อง (27±2)		80±2	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
ค่ากรดไขมันอิสระ (%)	1.98	1.96	0.54	0.56	0.48	0.39
ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)	4.55	4.49	1.72	1.74	1.68	1.41
ค่าพาราแอนนิซิติน (meq/kg)	15.13	15.25	11.78	11.94	10.28	12.23
ค่าสารประกอบมีซิว (%)	21.83	21.33	17.01	17.16	15.67	15.77
ค่าความหนืด (cP@25°C)	85.60	85.87	76.07	76.12	74.93	74.10
ค่าความสว่าง (L*)	30.52	30.27	44.53	44.85	45.89	45.13
ค่าสีแดง (a*)	41.26	44.09	42.00	42.04	42.14	42.85
ค่าสีเหลือง (b*)	52.28	51.85	76.92	77.43	77.85	78.40
ปริมาณน้ำมันหลังการดูดซับ (%)	-	-	76.34	78.00	85.00	86.00
				83.33	85.68	

ตารางที่ ข2 สมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับ
 ฝ้าเคลือบ โดยใช้ปริมาณสารดูดซับและเวลาในการดูดซับต่างกัน

สมบัติทางเคมี	เวลา ในการดูดซับ (นาท)	ปริมาณสารดูดซับฝ้าเคลือบ (กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม)		
		20	25	30
ค่ากรดไขมันอิสระ (%)	10	0.61 ^{Cc} ±0.02	0.51 ^{Cb} ±0.01	0.42 ^{Ca} ±0.01
	20	0.48 ^{Ac} ±0.00	0.48 ^{Ab} ±0.01	0.34 ^{Aa} ±0.01
	30	0.57 ^{Bc} ±0.00	0.52 ^{Bb} ±0.00	0.36 ^{Ba} ±0.01
ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)	10	2.04 ^{Cc} ±0.02	1.60 ^{Cb} ±0.01	1.20 ^{Ca} ±0.01
	20	1.61 ^{Ac} ±0.10	1.46 ^{Ab} ±0.04	0.99 ^{Aa} ±0.01
	30	1.59 ^{Bc} ±0.08	1.4 ^{Bb} ±0.01	1.09 ^{Ba} ±0.01
ค่าพาราแอนนิซิดีน (meq/kg)	10	11.84 ^{Bc} ±0.06	9.73 ^{Bb} ±0.11	9.15 ^{Ba} ±0.01
	20	10.35 ^{Ac} ±0.10	9.25 ^{Ab} ±0.01	8.45 ^{Aa} ±0.01
	30	10.22 ^{Ac} ±0.08	9.59 ^{Ab} ±0.07	8.52 ^{Aa} ±0.04
ค่าสารประกอบมีขี้ (%)	10	16.9 ^{Cc} ±0.12	15.10 ^{Cb} ±0.14	10.15 ^{Ca} ±0.21
	20	15.58 ^{Bc} ±0.12	13.65 ^{Bb} ±0.21	8.65 ^{Ba} ±0.07
	30	16.40 ^{Ac} ±0.28	13.25 ^{Ab} ±0.21	8.52 ^{Aa} ±0.03

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกัน (a b c) หมายถึงมีความแตกต่างกันของปริมาณสารดูดซับฝ้าเคลือบ อย่าง
 มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
 2) ตัวอักษรที่ต่างกัน (A B C) หมายถึงมีความแตกต่างกันของเวลาที่ใช้ในการดูดซับ อย่างมี
 นัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ข3 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับ
 ไขมัน โดยใช้เวลาในการดูดซับและเวลาในการดูดซับต่างกัน

สมบัติทางเคมี	เวลา ในการดูดซับ (นาที)	ปริมาณสารดูดซับไขมัน (กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม)		
		20	25	30
ค่าความหนืด (cP)	10	74.92 ^{Ac} ±1.01	70.38 ^{Ab} ±0.26	67.78 ^{Aa} ±0.01
	20	74.92 ^{Ac} ±0.02	69.42 ^{Ab} ±0.12	67.22 ^{Aa} ±0.32
	30	74.48 ^{Ac} ±0.02	69.94 ^{Ab} ±0.19	68.32 ^{Aa} ±0.04
ค่าความสว่าง (L*)	10	46.39 ^{Ab} ±0.84	47.08 ^{Ab} ±0.04	43.04 ^{Aa} ±0.01
	20	46.06 ^{Ab} ±0.23	45.95 ^{Ab} ±0.00	44.91 ^{Aa} ±1.24
	30	45.89 ^{Ab} ±0.00	44.16 ^{Ab} ±0.42	47.24 ^{Aa} ±0.13
ค่าความสีแดง (a*)	10	41.86 ^{Ab} ±0.75	41.91 ^{Ab} ±0.40	42.11 ^{Aa} ±0.24
	20	42.04 ^{Ab} ±0.13	42.23 ^{Ab} ±0.00	41.76 ^{Aa} ±0.37
	30	42.80 ^{Ab} ±0.01	42.40 ^{Ab} ±0.28	41.13 ^{Aa} ±0.03
ค่าความสีเหลือง (b*)	10	78.36 ^{Ab} ±1.39	79.52 ^{Ab} ±0.01	72.89 ^{Aa} ±0.00
	20	78.04 ^{Ab} ±0.24	77.75 ^{Ab} ±0.00	75.94 ^{Aa} ±1.92
	30	77.55 ^{Ab} ±0.00	74.87 ^A ±0.70	79.54 ^{Aa} ±0.23

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ต่างกัน (a b c) หมายถึงมีความแตกต่างกันของปริมาณสารดูดซับไขมัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
 2) ตัวอักษรที่ต่างกัน (A B C) หมายถึงมีความแตกต่างกันของเวลาที่ใช้ในการดูดซับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ข4 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับ
 เถ้าแกลบ โดยใช้ปริมาณสารดูดซับและเวลาในการดูดซับต่างกัน

เวลา ในการดูดซับ (นาที)	ค่ากรดไขมันอิสระ (%)					
	ปริมาณสารดูดซับเถ้าแกลบ (กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม)					
	20		25		30	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
10	0.59	0.62	0.52	0.5	0.41	0.42
20	0.48	0.48	0.48	0.47	0.34	0.33
30	0.57	0.57	0.52	0.52	0.37	0.36

ตารางที่ ข5 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับ
 เถ้าแกลบ โดยใช้ปริมาณสารดูดซับและเวลาในการดูดซับต่างกัน

เวลา ในการดูดซับ (นาที)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)					
	ปริมาณสารดูดซับเถ้าแกลบ (กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม)					
	20		25		30	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
10	2.03	2.06	1.6	1.59	1.2	1.21
20	1.68	1.54	1.49	1.43	0.99	0.98
30	1.53	1.65	1.46	1.46	1.08	1.09

ตารางที่ ข6 ค่าพาราแอนนิซิดีนของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับ
 เถ้าแกลบ โดยใช้ปริมาณสารดูดซับและเวลาในการดูดซับต่างกัน

เวลา ในการดูดซับ (นาที)	ค่าพาราแอนนิซิดีน (meq/kg)					
	ปริมาณสารดูดซับเถ้าแกลบ (กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม)					
	20		25		30	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
10	11.89	11.8	9.65	9.81	9.16	9.15
20	10.28	10.42	9.25	9.26	8.46	8.45
30	10.28	10.17	9.55	9.63	8.54	8.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข7 ค่าสารประกอบมีขี้ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับ
 ถ้ำเกลือ โดยใช้ปริมาณสารดูดซับและเวลาในการดูดซับต่างกัน

เวลา ในการดูดซับ (นาที)	ค่าสารประกอบมีขี้ (%)					
	ปริมาณสารดูดซับถ้ำเกลือ (กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม)					
	20		25		30	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
10	16.83	17	15	15.2	10	10.3
20	15.67	15.5	13.5	13.8	8.7	8.6
30	16.2	16.6	13.4	13.1	8.5	8.54

ตารางที่ ข8 ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับถ้ำเกลือ
 โดยใช้ปริมาณสารดูดซับและเวลาในการดูดซับต่างกัน

เวลา ในการดูดซับ (นาที)	ค่าความหนืด (cP)					
	ปริมาณสารดูดซับถ้ำเกลือ (กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม)					
	20		25		30	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
10	75.63	74.2	70.57	70.2	67.79	67.77
20	74.93	74.9	69.5	69.33	67.45	67
30	74.5	74.47	69.8	70.07	68.55	68.5

ตารางที่ ข9 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับ
 ถ้ำเกลือ โดยใช้ปริมาณสารดูดซับและเวลาในการดูดซับต่างกัน

เวลา ในการดูดซับ (นาที)	ค่าความสว่าง (L*)					
	ปริมาณสารดูดซับถ้ำเกลือ (กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม)					
	20		25		30	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
10	46.98	45.79	47.05	47.1	43.04	43.05
20	45.89	46.22	45.95	45.95	45.78	44.03
30	45.89	45.89	44.46	43.87	47.14	47.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข10 ค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับถั่วแกลบ โดยใช้ปริมาณสารดูดซับและเวลาในการดูดซับต่างกัน

เวลา ในการดูดซับ (นาที)	ค่าสีแดง (a*)					
	ปริมาณสารดูดซับถั่วแกลบ (กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม)					
	20		25		30	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
10	42.39	41.33	42.19	41.63	42.28	41.94
20	42.13	41.95	42.23	42.23	41.5	42.02
30	42.81	42.8	42.59	42.2	41.11	41.15

ตารางที่ ข11 ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันปาล์มผ่านการทอดอาหารที่ผ่านการใช้สารดูดซับถั่วแกลบ โดยใช้ปริมาณสารดูดซับและเวลาในการดูดซับต่างกัน

เวลา ในการดูดซับ (นาที)	ค่าสีเหลือง (b*)					
	ปริมาณสารดูดซับถั่วแกลบ (กรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม)					
	20		25		30	
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
10	79.34	77.38	79.52	79.53	72.89	72.89
20	77.85	78.19	77.75	77.75	77.3	74.58
30	77.55	77.55	75.36	74.37	79.38	79.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ค1 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพสัดส่วนต่าง ๆ ภายหลังจากทอดนั้กเก็ตไก่ 7 วัน

เวลา ในการทอด (วัน)	ค่ากรดไขมันอิสระ (%)			
	สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
	100:0	75:25	50:50	25:75
1	0.08±0.02	0.59±0.01	1.07±0.03	1.60±0.01
2	0.14±0.03	0.60±0.04	1.12±0.01	1.65±0.01
3	0.21±0.01	0.63±0.03	1.18±0.05	1.74±0.04
4	0.25±0.04	0.65±0.02	1.20±0.01	1.76±0.01
5	0.32±0.01	0.68±0.04	1.22±0.05	1.86±0.02
6	0.35±0.04	0.73±0.01	1.26±0.03	1.89±0.01
7	0.44±0.06	0.80±0.07	1.31±0.01	1.91±0.03

ตารางที่ ค2 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพสัดส่วนต่าง ๆ ภายหลังจากทอดนั้กเก็ตไก่ 7 วัน

เวลา ในการทอด (วัน)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)			
	สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
	100:0	75:25	50:50	25:75
1	9.18±0.02	5.67±0.01	4.98±0.01	5.18±0.01
2	13.31±0.11	7.63±0.06	7.08±0.02	6.58±0.01
3	14.75±0.03	8.97±0.01	8.37±0.01	7.18±0.01
4	14.99±0.03	8.63±0.06	8.78±0.01	7.38±0.00
5	14.63±0.06	9.65±0.08	9.56±0.05	8.36±0.04
6	16.54±0.01	10.61±0.06	10.17±0.01	8.77±0.01
7	15.93±0.07	10.05±0.08	9.86±0.09	8.56±0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค3 ค่าพาราแอนนิซิตินของน้ำมันผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพสัดส่วนต่างๆ ภายหลังจากทอดนั้กเกดไ้ 7 วัน

เวลา ในการทอด (วัน)	ค่าพาราแอนนิซิติน (meq/kg)			
	สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
	100:0	75:25	50:50	25:75
1	3.75±0.11	9.86±0.06	9.90±0.03	10.74±0.03
2	7.38±0.22	11.63±0.18	11.97±0.08	12.34±0.13
3	11.79±0.46	13.93±0.13	14.82±0.16	15.77±0.21
4	17.74±0.14	19.78±0.29	20.29±0.10	22.33±0.04
5	20.82±0.08	21.75±0.04	22.59±0.16	25.06±0.12
6	23.53±0.54	23.57±0.12	24.44±0.13	29.90±0.17
7	28.30±0.16	28.82±0.25	29.0±0.08	35.61±0.33

ตารางที่ ค4 ค่าสารประกอบมีขั้วของน้ำมันผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพสัดส่วนต่างๆ ภายหลังจากทอดนั้กเกดไ้ 7 วัน

เวลา ในการทอด (วัน)	ค่าสารประกอบมีขั้ว (%)			
	สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
	100:0	75:25	50:50	25:75
1	4.75±0.35	5.25±0.00	6.50±0.35	8.50±0.00
2	5.50±0.18	6.25±0.00	7.50±0.35	9.75±0.35
3	6.00±0.18	7.25±0.00	8.38±0.18	11.00±0.00
4	6.50±0.35	8.38±0.18	9.63±0.18	12.13±0.18
5	8.00±0.00	9.38±0.18	10.38±0.18	13.38±0.18
6	9.50±0.00	10.13±0.18	11.50±0.35	14.38±0.18
7	11.00±0.00	13.75±0.35	14.75±0.35	15.75±0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค5 ค่าความหนืดของน้ำมันผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพสัดส่วนต่าง ๆ ภายหลังจากทอดนั้กเก็ตไป 7 วัน

เวลา ในการทอด (วัน)	ค่าความหนืด (cP)			
	สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
	100:0	75:25	50:50	25:75
1	69.10±0.28	72.70±0.28	72.90±0.28	73.80±0.14
2	69.75±0.07	73.20±0.14	73.40±0.28	74.10±0.01
3	70.95±0.07	75.10±0.01	74.25±0.07	75.75±0.07
4	72.30±0.01	75.90±0.14	74.95±0.07	76.30±0.14
5	74.40±0.28	76.75±0.21	75.35±0.07	77.30±0.14
6	76.15±0.07	77.40±0.01	76.30±0.14	79.15±0.07
7	77.35±0.21	78.95±0.07	79.30±0.01	81.40±0.14

ตารางที่ ค6 ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพสัดส่วนต่าง ๆ ภายหลังจากทอดนั้กเก็ตไป 7 วัน

เวลา ในการทอด (วัน)	ค่าความสว่าง (L*)			
	สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
	100:0	75:25	50:50	25:75
1	91.77±0.35	81.90±0.05	71.90±0.01	66.43±0.07
2	89.67±0.29	81.59±0.11	71.05±0.95	65.28±0.52
3	88.67±0.29	81.70±0.13	70.94±0.06	64.88±0.16
4	87.44±0.23	81.29±0.20	70.70±0.46	64.14±0.21
5	86.06±0.28	80.86±0.23	70.59±0.41	63.93±0.68
6	85.72±0.12	80.10±0.27	69.96±0.02	64.22±0.63
7	85.14±0.06	79.77±0.11	69.29±0.06	64.29±0.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค7 ค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพสัดส่วนต่างๆ ภายหลังจากทอดนั้กเกดไก่ 7 วัน

เวลา ในการทอด (วัน)	ค่าสีแดง (a*)			
	สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
	100:0	75:25	50:50	25:75
1	-4.21±0.40	8.35±0.20	19.08±0.08	25.20±0.36
2	-2.49±0.35	8.78±0.13	19.43±0.84	25.99±0.58
3	-0.93±0.28	8.59±0.18	20.04±0.54	26.55±0.45
4	0.31±0.31	9.10±0.40	20.46±0.81	27.10±0.16
5	1.69±0.51	9.36±0.45	20.93±0.92	27.50±0.38
6	2.82±0.34	10.19±0.27	21.88±0.88	27.84±0.56
7	4.17±0.07	10.59±0.76	22.56±0.53	27.64±0.11

ตารางที่ ค8 ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพสัดส่วนต่างๆ ภายหลังจากทอดนั้กเกดไก่ 7 วัน

เวลา ในการทอด (วัน)	ค่าสีเหลือง (b*)			
	สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
	100:0	75:25	50:50	25:75
1	59.40±0.30	82.64±0.52	89.15±0.07	92.04±0.35
2	63.60±0.57	83.41±0.47	89.66±0.25	91.96±0.41
3	67.86±0.83	83.08±0.52	90.79±0.14	92.24±0.44
4	70.39±0.81	83.59±0.71	90.98±0.08	92.28±0.07
5	72.98±0.15	83.32±0.23	91.45±0.79	92.67±0.11
6	75.69±0.05	83.23±0.59	92.10±0.47	93.15±0.03
7	78.26±0.31	83.93±0.04	92.45±0.29	93.20±0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๙ ค่าความเข้มของสี (C*) ของน้ำมันผสมน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพสัดส่วนต่าง ๆ ภายหลังจากทอดนั้กเกดไก่ 7 วัน

เวลา ในการทอด (วัน)	ค่าความเข้มของสี (C*)			
	สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
	100:0	75:25	50:50	25:75
1	59.55±1.27	83.06±0.67	91.17±0.007	95.43±0.43
2	63.65±1.56	83.87±0.15	91.74±0.44	95.56±0.54
3	67.86±0.82	83.52±0.07	92.97±0.84	95.98±0.55
4	70.39±0.81	84.08±0.60	93.25±0.42	96.18±0.02
5	73.00±1.16	83.84±0.54	93.81±0.95	96.66±0.01
6	75.74±0.03	83.85±0.82	94.66±0.70	97.22±0.04
7	78.37±0.30	86.57±1.74	95.16±0.64	97.21±0.06

ตารางที่ ๑๐ ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์นั้กเกดไก่ทอดที่ทอดในน้ำมันผสม น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 2 สัปดาห์

การเก็บรักษา (สัปดาห์)	เวลา ในการทอด (วัน)	ค่า TBA (mg malonaldehyde/kg sample)			
		สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
		100:0	75:25	50:50	25:75
2	1	0.40±0.11	0.45±0.04	0.46±0.12	0.50±0.08
	2	0.44±0.12	0.47±0.06	0.47±0.11	0.52±0.02
	3	0.46±0.12	0.49±0.11	0.50±0.13	0.55±0.08
	4	0.49±0.08	0.54±0.11	0.55±0.14	0.60±0.03
	5	0.53±0.04	0.57±0.13	0.59±0.06	0.64±0.11
	6	0.55±0.02	0.59±0.08	0.62±0.12	0.66±0.13
	7	0.57±0.11	0.63±0.04	0.66±0.08	0.70±0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค11 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ทอดที่ทอดในน้ำมันผสม น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 3 สัปดาห์

การเก็บรักษา (สัปดาห์)	เวลา ในการทอด (วัน)	ค่า TBA (mg malonaldehyde/kg sample)			
		สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
		100:0	75:25	50:50	25:75
3	1	0.55±0.14	0.59±0.05	0.62±0.02	0.70±0.01
	2	0.62±0.12	0.65±0.17	0.66±0.08	0.73±0.03
	3	0.66±0.09	0.70±0.15	0.71±0.04	0.77±0.01
	4	0.72±0.11	0.77±0.09	0.79±0.06	0.85±0.04
	5	0.74±0.06	0.81±0.04	0.84±0.09	0.89±0.01
	6	0.79±0.02	0.84±0.11	0.86±0.04	0.92±0.06
	7	0.81±0.07	0.86±0.12	0.90±0.09	0.94±0.01

ตารางที่ ค12 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ทอดที่ทอดในน้ำมันผสม น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์

การเก็บรักษา (สัปดาห์)	เวลา ในการทอด (วัน)	ค่า TBA (mg malonaldehyde/kg sample)			
		สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
		100:0	75:25	50:50	25:75
4	1	0.62±0.02	0.70±0.02	0.74±0.01	0.81±0.01
	2	0.67±0.01	0.75±0.01	0.78±0.01	0.85±0.03
	3	0.73±0.00	0.81±0.01	0.83±0.03	0.90±0.02
	4	0.77±0.01	0.85±0.01	0.87±0.01	0.94±0.04
	5	0.82±0.04	0.90±0.02	0.90±0.02	0.97±0.03
	6	0.86±0.01	0.93±0.01	0.93±0.05	1.00±0.02
	7	0.89±0.08	0.97±0.01	0.97±0.05	1.04±0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค13 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์น้กกดไก่ทอดที่ทอดในน้ำมันผสม น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 5 สัปดาห์

การเก็บรักษา (สัปดาห์)	เวลา ในการทอด (วัน)	ค่า TBA (mg malonaldehyde/kg sample)			
		สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
		100:0	75:25	50:50	25:75
5	1	0.75±0.00	0.79±0.02	0.82±0.08	0.86±0.09
	2	0.77±0.01	0.83±0.05	0.84±0.01	0.91±0.03
	3	0.80±0.05	0.85±0.02	0.86±0.04	0.95±0.01
	4	0.82±0.01	0.88±0.01	0.90±0.01	0.99±0.02
	5	0.87±0.04	0.90±0.00	0.93±0.03	1.02±0.08
	6	0.90±0.02	0.96±0.07	0.98±0.03	1.08±0.02
	7	0.93±0.01	1.01±0.01	1.03±0.01	1.13±0.01

ตารางที่ ค14 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์น้กกดไก่ทอดที่ทอดในน้ำมันผสม น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์

การเก็บรักษา (สัปดาห์)	เวลา ในการทอด (วัน)	ค่า TBA (mg malonaldehyde/kg sample)			
		สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
		100:0	75:25	50:50	25:75
6	1	0.81±0.01	0.82±0.13	0.85±0.01	0.91±0.09
	2	0.84±0.02	0.87±0.11	0.88±0.04	0.96±0.11
	3	0.87±0.04	0.93±0.16	0.96±0.09	1.02±0.04
	4	0.93±0.01	0.96±0.09	0.99±0.03	1.07±0.08
	5	0.95±0.00	0.99±0.03	1.03±0.06	1.13±0.04
	6	1.00±0.06	1.01±0.05	1.07±0.12	1.17±0.05
	7	1.05±0.02	1.09±0.01	1.12±0.06	1.23±0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค15 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ทอดที่ทอดในน้ำมันผสม น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 7 สัปดาห์

การเก็บรักษา (สัปดาห์)	เวลา ในการทอด (วัน)	ค่า TBA (mg malonaldehyde/kg sample)			
		สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
		100:0	75:25	50:50	25:75
7	1	0.88±0.02	0.90±0.03	0.93±0.09	0.99±0.01
	2	0.92±0.002	0.96±0.05	0.98±0.05	1.05±0.03
	3	0.95±0.05	0.98±0.04	1.03±0.03	1.10±0.02
	4	0.98±0.07	1.01±0.08	1.07±0.09	1.16±0.01
	5	1.01±0.03	1.07±0.03	1.11±0.04	1.21±0.11
	6	1.06±0.09	1.11±0.11	1.16±0.12	1.26±0.09
	7	1.14±0.11	1.20±0.11	1.24±0.11	1.31±0.06

ตารางที่ ค16 ค่า TBA ของผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ทอดที่ทอดในน้ำมันผสม น้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์

การเก็บรักษา (สัปดาห์)	เวลา ในการทอด (วัน)	ค่า TBA (mg malonaldehyde/kg sample)			
		สัดส่วนน้ำมันปาล์มใหม่และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ			
		100:0	75:25	50:50	25:75
8	1	1.00±0.05	1.04±0.09	1.06±0.11	1.12±0.04
	2	1.03±0.03	1.09±0.03	1.11±0.15	1.19±0.11
	3	1.08±0.09	1.13±0.04	1.14±0.17	1.23±0.09
	4	1.13±0.03	1.18±0.02	1.20±0.09	1.30±0.03
	5	1.20±0.09	1.27±0.13	1.31±0.08	1.38±0.08
	6	1.27±0.04	1.32±0.15	1.38±0.05	1.44±0.09
	7	1.33±0.08	1.36±0.11	1.43±0.09	1.52±0.04