

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
กรดปาล์มติก	C 16:0	16.8-41.8	44.0
กรดปาล์มโทเลอิก	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
กรดไลโนเลอิก	C 18:2	9.1-11.0	10.1
กรดไลโนเลนิก	C 18:3	0.0-0.6	0.1
กรดอาราซิก	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

2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันในระหว่างการทอดอาหาร

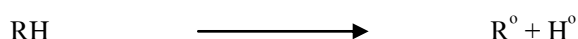
น้ำมันโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ประมาณ 96-99 % ในระหว่างการทอดอาหารน้ำมันได้รับความร้อนสูงถึง 160-180 องศาเซลเซียส และมีการสัมผัสกับออกซิเจนและน้ำ จึงมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและเกิดสารประกอบมากมาย ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพของน้ำมันทอดอาหาร เช่น น้ำมันมีสีคล้ำมากขึ้น จุดเกิดควันลดลง เกิดฟองมากขึ้น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

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

1. จากการแตกตัว (fission) เป็นแอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ กรดและไฮโดรคาร์บอน
2. จากการสูญเสียไฮโดรเจน (dehydration) ได้คีโตน
3. จากการก่อรูปของอนุมูลอิสระได้แก่ โมโนเมอร์ ไดเมอร์ ไตรเมอร์ พอลิเมอร์ อีพอกไซด์ แอลกอฮอล์ (Perkins, 1996) สารประกอบเหล่านี้ทำให้น้ำมันและอาหารที่ผ่านการทอดเกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ปริมาณสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวเป็นผลิตภัณฑ์ทุติยภูมิได้อย่างรวดเร็ว ได้มีการศึกษาค่าเปอร์ออกไซด์มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการใช้อุณหภูมิสูงในการทอด (Lomanno and Nawar, 1982)

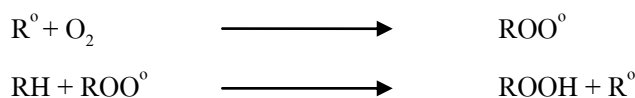
กลไกการเกิดออกซิเดชัน แบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

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

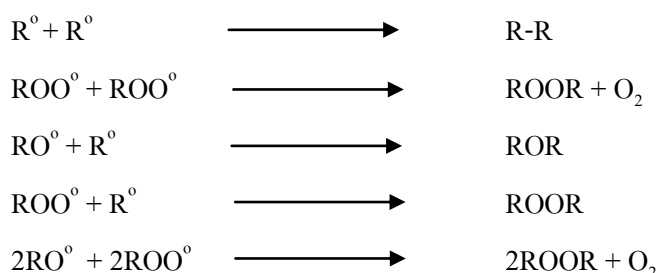


2. ขั้นเพิ่มจำนวน (Propagation) เกิดจากออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกไซด์ (peroxy radical) ($ROO^\bullet$) ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่เกิดขึ้น

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) เกิดสารประกอบที่มีโมเลกุลสูงจำพวกโมโนเมอร์แบบวง ไดเมอร์ 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. การเติมน้ำมันแทนที่น้ำมันที่ใช้ที่หายไปในช่วงการทอด หากมีการแทนที่น้ำมันที่ใช้แล้วด้วยน้ำมันใหม่มากขึ้น อัตราการเกิดน้อยลง

4. กากและเศษอาหารที่สะสมในการทอด ถ้ามีเศษอาหารสะสมมากทำให้อัตราการเกิดมากขึ้นด้วย โดยเป็นตัวเร่งการเกิดกรดไขมันอิสระ

2.3 สารประกอบที่เกิดขึ้นในช่วงการทอดอาหาร

เมื่อเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในช่วงการทอดอาหารเกิดสารประกอบทางเคมีต่าง ๆ มากมาย ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

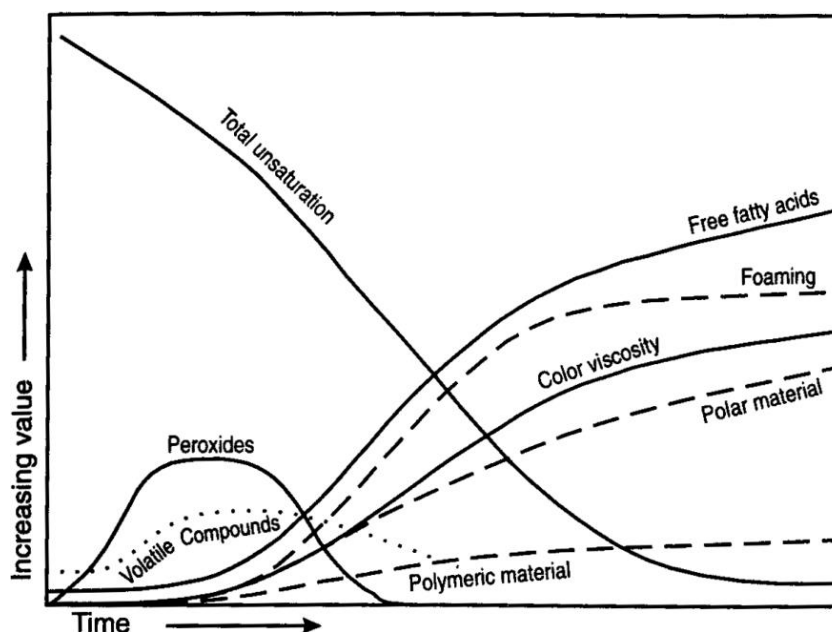
2.3.1 กลุ่มสารประกอบที่ระเหยได้

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

2.3.2 กลุ่มสารประกอบที่ระเหยไม่ได้

สารเหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงการเกิดออกซิเดชันและพอลิเมอไรเซชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมัน สารประกอบที่ระเหยไม่ได้ เช่น โมโนเมอร์แบบวง (cyclic monomer) โมโนเมอร์ไม่ใช่วง (noncyclic monomer) ไดเมอร์ (dimer) ไตรเมอร์ (trimer) และสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สารที่ไม่ระเหยเหล่านี้ยังคงอยู่ในน้ำมันทอด และจะเสื่อมสลายต่อไปทุกครั้งที่ใช้น้ำมันนี้ทอดอาหาร และอาหารจะดูดซึมสารเหล่านี้ไว้ หากใช้น้ำมันทอดหลาย ๆ ครั้งทำให้เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นสะสมอยู่ในน้ำมันและไม่ระเหย ทำให้ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเปลี่ยนไป เช่น ความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดสีและฟอง ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น เกิดกรดไขมันอิสระ จำนวนกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลง และเกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (Stevenson *et al.*, 1984)

การทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นกระบวนการที่ทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวและจุดเกิดควันของน้ำมันลดลง ทำให้เกิดฟองในน้ำมัน สี ความหนืด กรดไขมันอิสระ สารประกอบคาร์บอนิล และสารประกอบมีขี้ผึ้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การทอดแบบน้ำมันท่วมยังทำให้เกิดสารประกอบที่ให้อารมณ์รส (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 เม็ดยาวสีเหลืองอมน้ำตาล หรือเหลืองนวลแล้วแต่ภูมิประเทศที่มีการปลูกข้าว แกลบที่ถูกเผาในสภาวะที่มีการเผาไหม้สมบูรณ์ สีของเถ้าแกลบจะเป็นสีเทาหรือสีขาว แต่ถ้ายาแกลบถูกเผาในสภาวะที่ไม่สมบูรณ์ สีของเถ้าแกลบจะมีสีดำ เมื่อแกลบข้าวถูกนำไปเผาเป็นเถ้าแกลบ (rice husk ash) มีสารประกอบซิลิกาเป็นสารประกอบหลัก ซิลิกาเป็นสารประกอบอนินทรีย์ ประกอบด้วยธาตุซิลิคอน และออกซิเจน มีชื่อเรียกทางเคมีว่า ซิลิคอนไดออกไซด์ (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

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 : คัดแปลงมาจาก 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) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาออกซิ ซึ่งทำให้เกิดการเหม็นหืนอย่างต่อเนื่อง และรวดเร็ว

2.5.3 จุดเกิดควัน (smoke point)

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

อุณหภูมิต่ำ เพราะถ้าเกิดวันขณะทอด ทำให้อาหารมีกลิ่นควันติดไปด้วย ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดควัน หากน้ำมันมีกรดไขมันอิสระต่ำ จะทำให้จุดเกิดควันสูง แต่ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ค่าจุดเกิดควันจะลดลง

2.5.4 ความหนืด (viscosity)

บอกถึงองค์ประกอบและชนิดของกรดไขมัน ความหนืดของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น 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 ไขมันและน้ำมันเกิดการหืนเนื่องจากออกซิเดชันมากน้อยเท่าใด จากประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 56 (พ.ศ.2524) กำหนดให้น้ำมันปาล์ม มีค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมสมมูลต่อน้ำมัน 1 กิโลกรัม

2.5.7 ค่าพาราแอนนิซิน (p-anisidine)

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

2.5.8 ปริมาณสารพอลิเมอร์ (polymer)

สารพอลิเมอร์ เป็นสารที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการทอดอาหารเกิดจากการที่โมเลกุลเล็ก ๆ ของน้ำมันมารวมตัว และจับตัวเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นเกิดเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้น้ำมันทอดมีการเกิดฟองมากขึ้นและมีการเกิดสารเหนียวที่ขอบเตา

ซึ่งเมื่อมีการเกิดฟองที่ผิวของน้ำมันระหว่างการทอดจะมีการสะสมเป็นชั้น ทำให้น้ำมันมีการแตกตัวและเสื่อมคุณภาพ ในการตรวจวัดควรตรวจวัดทั้ง ไคเมอร์ และพอลิเมอร์ ของไตรกลีเซอไรด์ที่ถูกออกซิไดส์และไม่ถูกออกซิไดส์

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% ลดปริมาณสารประกอบมีขี้ได้ 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) ศึกษาการเตรียมตัวดูดซับจากถั่วแกลบด้วยการแช่กรดไนตริกที่ความเข้มข้น 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 พบว่าการแช่กรดเพิ่มพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนของถั่วแกลบให้มากขึ้นกว่าถั่วแกลบที่ไม่ได้ผ่านการแช่กรด และยังสามารถเพิ่มความสามารถในการดูดซับกรดไขมันอิสระโดยการแช่กรดที่ความเข้มข้น 14.0 โมลาร์ มีความสามารถในการดูดซับมากกว่าการแช่กรดที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์

Kalapathy and Proctor (2000) ศึกษาการผลิตฟิล์มโซเดียมซิลิเกตจากถั่วแกลบเพื่อลดปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันทอด โดยฟิล์มที่เตรียมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น

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) สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยลดปริมาณกรดไขมันอิสระ, สารประกอบมีขี้, Food oil Sensor และความแตกต่างของสี (ΔE) 59.7, 25.2, 19.5 และ 3.5% ตามลำดับ

Miyagia *et al.* (2001) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทอดและประเมินความเป็นไปได้ของการรีไซเคิลโดยใช้กระบวนการกรอง โดยใช้เมมเบรนพอลิเมอร์ NTGS-2200 พบว่าการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยวิธีนี้สามารถลดสารประกอบมีขี้ และผลิตภัณฑ์ออกซิเดชัน ซึ่งทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมันทอด สารประกอบมีขี้ลดลง 32-42% ผลิตภัณฑ์ออกซิเดชันลดลง 14-48%

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

วิศร (2528) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่ชุบแป้งโดยใช้สารดูดซับซิลิกาเจล จากผลการศึกษา พบว่า ขนาดรูพรุนและขนาดอนุภาคของสารดูดซับซิลิกาเจลมีผล

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 น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่หุบแป้งที่ วริศรา (2548) ศึกษา มีค่ากรดไขมันอิสระ 0.46% ค่าเปอร์ออกไซด์ 6.04 meq/kg ค่าพาราแอนนิซิดิน 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 ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดไก่หุบแป้ง พบว่า มีค่ากรดไขมันอิสระ 0.19% ค่าเปอร์ออกไซด์ 3.89 meq/kg ค่าพาราแอนนิซิดิน 8.88 meq/kg ค่าสารประกอบมีขี้ 5.25 % ค่าความหนืด 83.60 cP

สาวิตรี และ ศดานันท์ (2548) ศึกษาความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่เลิกใช้จากการทอดปาท่องโก๋ 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%)

สาวิตรี และ ศดานันท์ (2549) ศึกษาความเข้มข้นและเวลาของการดูดซับที่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มที่เลิกใช้จากการทอดอาหารชนิดต่าง ๆ เช่น อาหารจานด่วน อุตสาหกรรมเบหมิถึงสำเร็จรูป และปาท่องโก๋ 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

Silicate สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ 90.35-102.04% เมื่อศึกษาประสิทธิภาพในการลดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร พบว่า 3% Silica Xerogel มีความสามารถในการลดสีคล้ำของน้ำมันปาล์มที่เลิกใช้แล้วได้ร้อยละ 39.57 เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของ Silica Xerogel สามารถลดสีคล้ำของน้ำมันได้มากขึ้น 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 เนื่องจากสามารถลดปริมาณสารประกอบมีขี้ ปริมาณกรดไขมันอิสระ สี ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าพาราแอนนิซิดินได้มากกว่า 50% และยังมีความคงตัวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันมากที่สุด เมื่อพิจารณาปริมาณที่เหมาะสมของสารดูดซับซิลิกาเจล พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาเจลเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณสารประกอบมีขี้ ปริมาณกรดไขมันอิสระ สี และความหนืดลดลง เมื่อศึกษาวิธีการในการดูดซับ พบว่า การใช้สารดูดซับแบบติดต่อกันอย่างต่อเนื่อง (successive adsorption) ซิลิกาเจลจะมีความสามารถในการดูดซับสารประกอบมีขี้มากกว่าการใช้สารดูดซับแบบ 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, Mg_2CO_3 , activated charcoal, bentonite, magnesium silicate และ

pekmez earth จากการศึกษพบว่า bentonite, magnesium silicate และ pekmez earth มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณความหนืด กรดไขมันอิสระ และปรับปรุงคุณภาพสีของน้ำมัน และจากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวดูดซับในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเมล็ดทานตะวันที่ผ่านการทอด 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 สารประกอบมีขี้้ว ค่าเปอร์ออกไซด์ พาราแอนนิซิดิน สี และความหนืด จากการศึกษพบว่าการใช้สารดูดซับ activated carbon (ACA), magnesol (MA) silica gel (SG) และ aluminum hydroxide (ALH) สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระ สารประกอบมีขี้้ว 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

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) เพื่อสกัดเอาซิลิกาออกมาจากตัวถ่าน จากการศึกษพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการเผา มีผลต่อลักษณะของรูพรุนของถ่านแกลบ โดยพื้นที่ผิวของถ่านแกลบจะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาให้สูงขึ้นคือที่ 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 ทั้งนี้เหตุผลที่พบว่าที่ RHS500 และ RHA300 มีพื้นที่ผิวมากทำให้ดูดซับได้ดี แต่ที่ RHA300 ดูดซับได้น้อยกว่าอาจเป็นเพราะเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ที่ 300 องศาเซลเซียส

Taspinnar *et al.* (2008) ศึกษาความสามารถในการดูดซับของแมกนีเซียมซิลิเกตสังเคราะห์ และ 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) ศึกษาวิธีการเตรียมตัวดูดซับจากถ่านแกลบเพื่อดูดซับกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเตรียมจากการเผาถ่านที่อุณหภูมิ 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 เนื่องจากการเผาถ่านที่อุณหภูมิสูงทำให้สิ่งเจือปนน้อยและรูพรุนมีขนาดใหญ่ สำหรับการแช่กรดของถ่านแกลบเผาที่ 450 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่การแช่กรดของถ่านแกลบเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับลดลง อาจเนื่องจากการแช่กรดส่งผลต่อขนาดรูพรุน พื้นที่ผิวและองค์ประกอบของตัวดูดซับ โดยลำดับ

การแช่กรดก่อนหลังไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับดีที่สุด คือ ถ้ำแกลบแช่กรดก่อนเผาที่ 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, ถ้ำแกลบ โดยใช้อัตราส่วนของสารดูดซับ 2% w/v ใช้เวลาในการดูดซับ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า น้ำมันดอกทานตะวันที่ผ่านการทอดซ้ำมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของค่าสี, ความหนืด, ดัชนีหักเหแสง, จุดเกิดควัน, ค่าของกรด, ค่าเปอร์ออกไซด์, ค่า TBA, คอนจูเกตไดอินและไตรอิน, สารประกอบมีขี้, สารโพลีเมอร์, ค่ากรดไขมันอิสระ ส่วนค่าไอโอไดนลดลง น้ำมันดอกทานตะวันที่ผ่านการทอดซ้ำหลังจากการใช้สารดูดซับมีคุณภาพดีขึ้น คือ สารดูดซับ Magnesol XL, diatomaceous earth, ถ้ำแกลบของข้าว 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%