สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

ผลของวิธีการทอดแบบสุญญากาศและการทอดแบบน้ำมันท่วมต่อคุณภาพของน้ำมันและผลิตภัณฑ์มันเทศแผ่นทอด

Effects of Vacuum Frying And Deep Fat Frying Methods on The Qualities Of Oil And Fried Sweet Potato Chips

ผู้วิจัย

ผศ. ดร. พอใจ ถามากร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
TP
bG1
พ๔๘๒

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 116952
วัน,เดือน,ปี 21 ธ.ค. 2554

b 10330959
i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2552

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ผลของวิธีการทอดแบบสุญญากาศและการทอดแบบน้ำมันท่วมต่อคุณภาพของน้ำมันและผลิตภัณฑ์มันเทศแผ่นทอด

(ภาษาอังกฤษ)Effects of Vacuum Frying And Deep Fat Frying Methods on The Qualities of Oil And Fried Sweet Potato Chips

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2552 จำนวนเงิน 174,400 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2551 ถึง 30 ก.ย. 2552

ผู้ดำเนินการวิจัย ผศ.ดร. พอใจ ถามากร

หน่วยงานสังกัด คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทร. 02-3264091

บทคัดย่อ

การศึกษาคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทอดมันเทศแผ่นที่ความดัน 2 สภาวะ คือที่สภาวะสุญญากาศ และที่สภาวะบรรยากาศ โดยวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบมีขั้ว ความหนืด สี ปริมาณกรด และค่าเปอร์ออกไซด์ จากการทอดที่สภาวะสุญญากาศเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน ทอดติดต่อกัน 8 วัน พบว่า ปริมาณสารประกอบมีขั้วมีค่าเป็นร้อยละ 12.75 ความหนืดคงที่ในช่วง 71.13 -72.13 cP ปริมาณกรด 0.46 mg KOH/g ค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นช่วง 5 วัน หลังจากนั้นมีค่าลดลง ค่าสี พบว่า ความสว่าง (L*) และค่ามุม (h) ลดลงเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่าความเข้ม (C*) มีลักษณะเพิ่มขึ้น ในขณะที่คุณภาพน้ำมันทอดที่สภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน ทอดติดต่อกัน 6 วัน มีปริมาณสารประกอบมีขั้วเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 25.25 ความหนืดสูงขึ้นเป็น 92.35 cP ปริมาณกรด 1.23 mg KOH/g ค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นช่วง 3 วันแรก หลังจากนั้นมีค่าลดลง ค่าสี พบว่า ความสว่าง (L*) และค่ามุม (h) ลดลงเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่าความเข้ม (C*) มีลักษณะเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาสหสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำมันทอดสุญญากาศ พบว่าปริมาณสารประกอบมีขั้วมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกับ ปริมาณกรด ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง ค่าความเข้มของสี และค่าเปอร์ออกไซด์ ส่วนค่าความสว่าง และค่ามุมของสีมีความสัมพันธ์ในทางตรงข้าม ด้านความสัมพันธ์ของน้ำมันทอดที่สภาวะบรรยากาศ ปริมาณสารประกอบมีขั้วมีความสัมพันธ์กันไปในทางเดียวกับ ปริมาณกรด และความหนืด แต่มีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับค่าความสว่าง ด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ ปริมาณไขมันของมันเทศทอดสุญญากาศและมันเทศทอดบรรยากาศ พบว่า เมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 20.03 เป็น23.59 และ 27.40 เป็น 30.45 ตามลำดับ ค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง ค่าความเข้ม และค่ามุมของสีของชิ้นมันเทศทอดที่ได้จากการทอดทั้ง 2 สภาวะในแต่ละวันมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

The fried palm oils of sweet potato chips which were operated in two different frying conditions; vacuum and atmospheric pressure were investigated. For eight consecutive days (8-hrs/day) of vacuum frying condition found that total polar compound was reached to 12.75%, viscosity in the range of 71.13-72.13 cP., acid value was finally at 0.46 mg KOH/g, peroxide value gradually increased in initial 5 days and then decreased. L* and hue value were decreased by longer frying time which is opposite to a*, b* and C* value. Quality of palm oil frying for six consecutive days (8-hrs/day) at atmospheric pressure showed a higher percentage of polar compound which was 25.25%, viscosity increased to 92.35 cP, acid value at 1.23 mg KOH/g, and increasing of peroxide value in the first three days then decreased. Longer frying time, L* and hue value were decreased while a*, b* and c* value got higher. Considering correlation of quality parameters of vacuum fry palm oil found that polar compound value showed highly positive correlate with acid value, a*, b*, C* and peroxide value. On the other hand, it has negative correlation with L* and h value. Besides, correlation of quality parameters of atmospheric fry palm oil; total polar compound also had highly positive correlated with acid value and viscosity but negative correlated with L* value. For product quality, oil content of vacuum fried and atmospheric fried sweet potatoes were 20.03-23.59 % and 27.40-30.45% respectively. L* a*, b*, C* and h value of final products both of vacuum and atmospheric conditions revealed the similar values.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญ	III
สารบัญตาราง	V
สารบัญภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การทอด	3
2.2 น้ำมันปาล์ม	6
2.3 การทอดสุญญากาศ	7
2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอด	10
2.5 ผลกระทบทางกายภาพจากการเกิดการเสื่อมเสียทางเคมีของน้ำมัน	15
2.6 ผลกระทบต่อสุขภาพจากน้ำมันทอดซ้ำ	16
2.7 การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพน้ำมัน	17
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	19
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	19
3.2 วัตถุดิบ	19
3.3 สารเคมี	19
3.4 สถานที่ทำการทดลอง	20
3.5 วิธีการทดลอง	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	23
4.1 ศึกษาคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอด	23
4.2 ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์	38
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	42
บรรณานุกรม	44
ภาคผนวก	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของน้ำมันปาล์มโอเลอิน	7
2.2	ลักษณะของไขมันในขั้นต่างๆ	15
4.1	ค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา (k) และ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ของค่าคุณภาพด้านต่างๆ ในน้ำมันทอดที่สภาวะสุญญากาศ และสภาวะบรรยากาศ	35
4.2	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของคุณภาพด้านต่างๆ ของน้ำมันในการทอดที่สภาวะสุญญากาศ	36
4.3	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของคุณภาพด้านต่างๆ ของน้ำมันในการทอดที่สภาวะบรรยากาศ	37
4.4	ปริมาณไขมันของมันเทศในการทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ชนิดของกระบวนการทอด (a) contact frying (b) deep fat frying	4
2.2	ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องทอดสุญญากาศ	10
2.3	สารประกอบต่างๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำมันทอด	11
2.4	ปฏิกิริยาเคมีต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying)	12
3.1	ขั้นตอนการเตรียมมันเทศก่อนทอด	20
3.2	ขั้นตอนการผลิตมันเทศทอดที่สภาวะสุญญากาศและสภาวะที่บรรยากาศ	22
4.1	สารประกอบมีขั้วของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ	23
4.2	ปริมาณกรดของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ	26
4.3	ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศทั้งแบบทอดสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ	28
4.4	ความหนืดของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ	29
4.5	ค่าความสว่าง (L* value) ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ	30
4.6	ค่าสีแดง (a* value) ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศ และทอดสภาวะบรรยากาศ	30
4.7	ค่าสีเหลือง (b* value) ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ	31
4.8	ค่าความเข้มของสี (C* value) ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศ และทอดสภาวะบรรยากาศ	31
4.9	ค่ามุมของสี (h value) ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ	32
4.10	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่ามุมของสี (h value) ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.11 ค่าความสว่าง (L* value) ค่าสีแดง (a* value) ค่าสีเหลือง (b* value) ค่าความเข้ม (C* value) และค่ามุมของสี (h value) ของชิ้นมันเทศที่ได้จากการทอดที่สภาวะสุญญากาศ..... 40

4.12 ค่าความสว่าง (L* value) ค่าสีแดง (a* value) ค่าสีเหลือง (b* value) ค่าความเข้ม (C* value) และค่ามุมของสี (h value) ของชิ้นมันเทศที่ได้จากการทอดที่สภาวะบรรยากาศ..... 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ขนมขบเคี้ยวเป็นอาหารว่างที่ผู้บริโภคนิยมรับประทานเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ได้จากการทอด เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเฉพาะตัว เพราะมีการนำน้ำมันมาใช้เป็นตัวช่วยถ่ายเทความร้อนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี ในแต่ละปีคนไทยบริโภคน้ำมันพืชถึงปีละ 8 แสนตัน (นิรนาม, 2551) ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก โดยผู้ประกอบการอาหารทอดมักใช้น้ำมันในการทอดผลิตภัณฑ์ซ้ำๆกันหลายครั้ง ซึ่งการใช้น้ำมันทอดซ้ำๆอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจะทำให้เกิดปฏิกิริยาต่างๆ เช่น ออกซิเดชัน (oxidation) พอลิเมอไรเซชัน (polymerization) และ ไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เป็นต้น ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้ล้วนส่งผลให้เกิดการเสื่อมเสียของน้ำมัน โดยเกิดเนื่องมาจากการสะสมปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) และการเพิ่มขึ้นของสารประกอบมีขั้ว (total polar compound) ทำให้ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค เสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง ความดันโลหิต หลอดเลือดหัวใจ นอกจากนี้ผู้ขาย หรือผู้ที่ทำการทอดก็มีอันตรายที่ต้องสูดดมไอน้ำมันทอดซ้ำโดยเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งปอด ด้วยความสำคัญของอันตรายจากสารประกอบมีขั้วในน้ำมันทอด กระทรวงสาธารณสุขจึงออกประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 283 (2547) เรื่อง กำหนดปริมาณสารประกอบมีขั้วในน้ำมันทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่ายให้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก เพื่อควบคุมความปลอดภัยของผู้บริโภคจากการใช้น้ำมันทอดซ้ำ นอกจากนี้ยังมีรายงานการเก็บตัวอย่างน้ำมันทอดอาหารในเขตกรุงเทพฯ จำนวน 315 รายการ โดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ในช่วงเดือน ตุลาคม 2550 ถึงเดือนพฤษภาคม 2551 เพื่อตรวจสอบปริมาณสารประกอบมีขั้ว พบอาหารต่ำกว่ามาตรฐาน 47 รายการ คิดเป็นร้อยละ14.92 (นิรนาม, 2551) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพของผู้บริโภคในระยะยาวได้

การนำเทคโนโลยีการทอดสุญญากาศมาใช้เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตให้เป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค เป็นการทอดที่อุณหภูมิและความดันต่ำ ทำให้น้ำมันที่ใช้ในการทอดเสื่อมเสียคุณภาพช้าลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอดสุญญากาศจะคงกลิ่นรส เนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคต้องการ รวมถึงการรักษาคุณค่าทางโภชนาการ และสีของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอดซ้ำและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอดระหว่างสภาวะสุญญากาศและการทอดที่สภาวะบรรยากาศ เพื่อที่จะได้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อให้ผู้ประกอบการด้านอุตสาหกรรมอาหารทอดสามารถนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกกระบวนการผลิตที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดมันเทศแผ่น 2 สภาวะ คือ การทอดที่สภาวะสุญญากาศ และการทอดที่สภาวะบรรยากาศ โดยศึกษาความหนืดของน้ำมัน ค่าสี ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (total polar compound) ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) ค่าปริมาณกรด (acid value) และศึกษาคุณภาพของมันเทศแผ่นที่ได้จากการใช้น้ำมันปาล์มทอดซ้ำ ในการทอดทั้ง 2 สภาวะ คือ การทอดที่สภาวะสุญญากาศ และการทอดที่สภาวะบรรยากาศ โดยศึกษาค่าสี และปริมาณไขมัน (fat content)

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณภาพของน้ำมันในการทอดมันเทศระหว่างวิธีการทอดที่สภาวะสุญญากาศและการทอดที่สภาวะบรรยากาศ
2. เพื่อศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์มันเทศทอดระหว่างวิธีการทอดที่สภาวะสุญญากาศและการทอดที่สภาวะบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทอด

การทอดเป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนแก่อาหารเพื่อทำให้อาหารสุกโดยมีน้ำมันเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจากภาชนะทอดไปสู่อาหารเกิดการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวล เมื่อวางอาหารที่ต้องการทำให้สุกใส่ในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าอาหารจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและน้ำในอาหารจะระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าจะเริ่มแห้งเช่นเดียวกับการอบและการย่าง ทำให้ผิวนอกมีลักษณะเป็นเปลือกแข็งห่อหุ้มชิ้นอาหารไว้ โดยเปลือกที่แห้งนี้จะห่อหุ้มความชื้นไว้ภายในใจกลางอาหาร ในระหว่างการทอดอุณหภูมิที่ผิวนอกชิ้นอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันและอุณหภูมิภายในชิ้นอาหารก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ถึง 100 องศาเซลเซียส ลักษณะพื้นที่ผิวของอาหารที่ได้จากการทอด ด้านนอกมักมีโครงสร้างเป็นรูพรุนซึ่งเป็นช่องว่างที่มีขนาดแตกต่างกัน ขณะทอดน้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกทางช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ก่อนเป็นอันดับแรกทำให้น้ำมันเข้าไปแทนที่น้ำและไอน้ำที่เคลื่อนที่ออกไป ความชื้นที่เคลื่อนที่ออกจากผิวหน้าของอาหารนั้นจะเคลื่อนที่ผ่านไปยังผิวของน้ำมัน (Fellow, 1990)

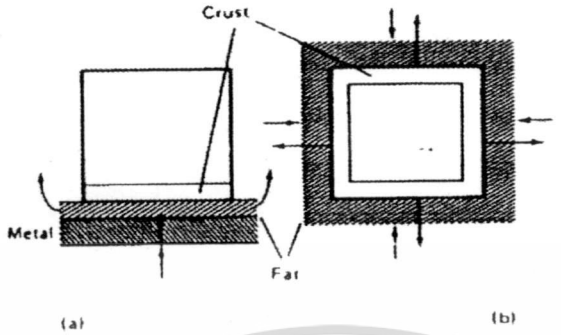
2.1.1 วิธีการทอด (Fellow, 1990) การทอดโดยทั่วไปที่นิยมใช้ มีอยู่ 2 วิธี คือ

2.1.1.1 การทอดแบบสัมผัส (contact frying) วิธีนี้เหมาะกับอาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมีค่าสูง ๆ เช่น เบคอนสไลด์ ไข่ เบอร์เกอร์ และอาหารอื่นๆ การส่งผ่านความร้อนโดยการนำความร้อน (heat conduction) จากผิวหน้ากระทะที่ร้อนผ่านไปยังชั้นของน้ำมัน ดังภาพที่ 2.1 (a) คือ ความหนาของชั้นน้ำมันที่สัมผัสกับอาหารจะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงผิวหน้าอาหารทำให้สีผิวอาหารเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาล ขณะเดียวกันจะเกิดฟองจากไอน้ำที่ขึ้นมาจากผิวหน้าอาหาร การทอดแบบนี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิว (surface heat transfer coefficients) สูงมาก อยู่ในช่วง 200-450 W/m^2K^{-1}

2.1.1.2 การทอดแบบจุ่มในน้ำมัน หรือการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying) การทอดอาหารแบบนี้ใช้น้ำมันมากในการทอด เกิดการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำมันที่ร้อนไปยังอาหารโดยผิวหน้าทุกด้านของอาหารได้รับความร้อนเท่ากัน ดังภาพที่ 2.1 (b) เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและลักษณะปรากฏของอาหารอย่างสม่ำเสมอ เหมาะสำหรับอาหารที่มีรูปร่างต่าง ๆ ใช้ได้กับอาหารทุกชนิด แต่ถ้าอาหารมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอกัน ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่จะดูดซับน้ำมันไว้ได้มากขึ้น โดยในช่วงแรกของการทอดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีค่าประมาณ 200-300 W/m^2K^{-1}แต่เมื่อทอดไปนานขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงขึ้นได้ถึงประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

800-1,000 W/m^2K และเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำมันเข้าสู่อาหารอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไอน้ำได้ระเหยจากอาหาร



ภาพที่ 2.1 ชนิดของกระบวนการทอด (a) contact frying (b) deep fat frying

ที่มา: Fellow (1990)

อาหารทอดแบบน้ำมันท่วมจะให้กลิ่นที่มีลักษณะเฉพาะตัวและช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหารให้น่ารับประทาน จากโครงสร้างของเปลือกด้านนอกที่แข็งและกรอบ เนื่องจากมีรูพรุนภายในและมีน้ำมันเคลือบอยู่ที่ผิวด้านนอกของอาหาร โดยเปลือกด้านนอกที่แห้งนี้จะห่อหุ้มความชื้นไว้ภายในใจกลางชิ้นอาหารเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงที่ผนังเซลล์ในชั้นนอกของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีร่วมกับการถูกทำลายของโครงสร้างทางกายภาพทำให้เกิดการปล่อยสารภายในเซลล์ออกมา เช่น การเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการระเหยของน้ำ เกิดการเสียสภาพของโปรตีน และเกิดการเสื่อมสลายของแรงยึดเกาะกันระหว่างเซลล์ ทำให้อาหารสูญเสียน้ำไปอย่างรวดเร็วและเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเนื้อเยื่อ (Bouchon *et al.*, 2001)

ในการทอดเกิดกระบวนการ 2 ประการคือ การถ่ายโอนความร้อน (heat transfer) และการถ่ายโอนมวลสาร (mass transfer) โดยการถ่ายโอนความร้อนจะเกิดลักษณะสำคัญ 2 ประการ คือ การพาความร้อน(convection) กับการนำความร้อน (conduction) จะเกิดในช่วงที่ความร้อนจากผิวของชิ้นอาหารซึ่งได้รับความร้อนจากน้ำมันนั้นถ่ายโอนให้ผิวภายในของชิ้นอาหาร ส่วนการถ่ายโอนมวลสารจะเกิดขึ้นเมื่อขณะทำการทอดและขณะตั้งทิ้งไว้ให้เย็นตัวโดยจะเป็นการถ่ายโอนมวลของน้ำ อากาศ และน้ำมัน (Garayo and Moreira, 2002) โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ชิ้นอาหารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำมันและอาหาร และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวหน้า (surface heat transfer coefficient)

นอกจากนี้ Moreira *et al.* (1999) กล่าวว่า เวลาที่ใช้ในการทอดอาหารจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของอาหาร อุณหภูมิของน้ำมัน วิธีการที่ใช้ในการทอด ความหนาของชิ้นอาหาร และการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคุณภาพอาหารที่ต้องการ เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการทอดอาหาร หากอุณหภูมิสูงจะใช้เวลาในการทอดสั้นกว่า แต่อย่างไรก็ตาม การทอดด้วยอุณหภูมิสูงจะเร่งให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสียได้เร็วขึ้น

2.1.2 ปัจจัยที่ผลต่อการดูดซับน้ำมันทอด

เนื่องจากปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับเข้าไปในอาหารทอดจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อคุณภาพของอาหารที่ได้จากการทอด ปริมาณของน้ำมันที่เข้าไปเคลือบที่ผิวอาหารหรือซึมลงไปในอาหารนั้นขึ้นอยู่กับ

2.1.2.1 ชนิดและรูปร่างชิ้นอาหาร ถ้าอาหารมีพื้นที่ผิวมาก หรืออาหารมีผิวหน้าที่ขรุขระหรือมีรูพรุน จะดูดซับน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีผิวเรียบ เนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสมากกว่า ในอาหารบางชนิดที่มีไขมันสูง จะทำให้การดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น (ศศิเกษม และพรรณี, 2530)

2.1.2.2 คุณภาพและชนิดของน้ำมัน ถ้าน้ำมันที่ใช้ทอดมีจุดเกิดควันต่ำ อาหารจะดูดซับน้ำมันมากขึ้น เพราะไม่สามารถใช้อุณหภูมิในการทอดสูงๆ ได้ เนื่องจากเกิดการสลายตัวของน้ำมันมาก

2.1.2.3 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทอดอาหาร มีผลต่อการดูดซับน้ำมันและการพองตัว การใช้อุณหภูมิในการทอดสูง เวลาสั้นทำให้การดูดซับน้ำมันต่ำ เพราะขณะที่น้ำมันร้อนความหนาแน่นของน้ำมันจะต่ำลงทำให้น้ำมันส่วนน้อยถูกดูดซับในเวลาจำกัด Moreira *et al.* (1997) พบว่า ที่อุณหภูมิการทอดที่สูงขึ้นจะลดการอมน้ำมัน

2.1.2.4 ความชื้นในวัตถุดิบที่ใช้ทอด การดูดซับน้ำมันเกิดขึ้นในขณะที่ความชื้นเคลื่อนที่ออกจากอาหารระหว่างการทอด ซึ่งปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงมีผลให้เกิดการอมน้ำมันมากขึ้น Moreira *et al.* (1997) ศึกษาปัจจัยในการเพิ่มขึ้นของน้ำมันในการทอด tortilla chip ในการทอดแบบน้ำมันท่วม โดยศึกษาสภาวะที่แตกต่างในการทอด พบว่า ปริมาณความชื้นเริ่มต้นและขนาดของตัวอย่างทีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ

2.1.2.5 การปฏิบัติต่ออาหารก่อนการทอด (pre frying) การเตรียมตัวอย่างก่อนทอด เช่น การลวก การอบแห้ง จะช่วยลดระดับความชื้นของอาหารก่อนการทอด หรือการแช่แข็งก่อนการทอด จะช่วยลดการดูดซับน้ำมันได้

2.1.2.6 การชุบเคลือบ (coating) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ เช่น การเคลือบผิวด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์เพื่อยับยั้งการอมน้ำมันระหว่างทอด หรือการเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วย batter ก่อนการทอดมีผลทำให้มีการสูญเสียความชื้นน้อยลง ส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันที่ดูดซับไว้น้อยด้วย(Saguy and Pinthus, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์ม (palm oil) เป็นน้ำมันที่มีประสิทธิภาพที่ดีในการทอดอาหาร เนื่องจากน้ำมันปาล์มมีค่าไอโอดีน (iodine value) ที่ต่ำประมาณ 45-56 (Perkins and Erickson, 1996) มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวปานกลางซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและเกิดกลิ่นหืนในอาหารต่ำ มีโทโคฟีรอล (tocopherol) ในปริมาณ 380 – 890 ppm ซึ่งโทโคฟีรอลนี้เป็นสารกันหืนธรรมชาติทำให้น้ำมันปาล์มมีความคงทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูง เมื่อเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่น นอกจากนี้น้ำมันปาล์มนิยมใช้ในอุตสาหกรรมเนื่องจากไม่มีกลิ่นที่อุณหภูมิห้อง ราคาถูก และมีสีที่ดี (favorable light) จากการเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันปาล์มโอเลอินกับน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชัน เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน และน้ำมันเมล็ดฝ้าย พบว่าน้ำมันปาล์มโอเลอินจะมีความคงทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีกว่า (Hui, 1996)

คุณภาพของน้ำมันปาล์มขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาและการขนส่งผลปาล์มน้ำมันก่อนที่จะสกัดน้ำมัน หากผลปาล์มมีรอยแตกฉีกขาดหรือผลสุก เอนไซม์ไลเปสจะทำปฏิกิริยากับน้ำมันหรือไขมันได้เป็นกรดไขมันอิสระแตกตัวออกมา นอกจากปริมาณกรดไขมันอิสระแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของน้ำมันปาล์ม ได้แก่ ความชื้น และการปนเปื้อน

คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของน้ำมันปาล์มโอเลอินผ่านกรรมวิธีตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม (มอก. 288-2535) แสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะทางฟิสิกส์และทางเคมีของน้ำมันปาล์มโอเลอิน

คุณลักษณะ	มาตรฐาน
ความหนาแน่นสัมพัทธ์	0.891-0.899
ดัชนีหักเห (refractive index)	1.455-1.456
จุดขุ่น (องศาเซลเซียส)	ไม่เกิน 10
น้ำและสารที่ระเหยได้ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่เกิน 0.2
สิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่เกิน 0.05
ค่าไอโอดีน (iodine value,Wijs)	55-60
ค่าสะพอนิฟิเคชัน (saponification value) มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม	190-209
สารที่สะพอนิฟายไม่ได้ (unsaponifiable matter) กรัมต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม	ไม่เกิน 10
ค่าปริมาณกรด (acid value) มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม	ไม่เกิน 0.6
ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)มิลลิกรัมสมมูลเปอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม	ไม่เกิน 10
สบู่ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่เกิน 0.005

ที่มา : มอก. 288-2535

2.3 การทอดสุญญากาศ

ในการทอดสุญญากาศ ภาชนะที่ใช้ทอดจะอยู่ในสภาพสุญญากาศ จุดเดือดของน้ำมันจะลดลงที่ความดันต่ำทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งระเหยได้เร็วกว่าการทอดที่สภาวะบรรยากาศ ดังนั้นการทอดสุญญากาศจึงใช้อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสามารถช่วยลดการเสื่อมคุณภาพของอาหารทอดและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันที่ใช้ทอดได้ และยังคงรักษาสี กลิ่นรส และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าการทอดที่สภาวะบรรยากาศ Shyu *et al.* (1998) ศึกษาความคงตัวของน้ำมันปาล์ม ไขมันหมู และน้ำมันถั่วเหลืองในระหว่างการทอดแครอทภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที ต่อเนื่องกัน 8 ชั่วโมงในแต่ละวัน ติดต่อกัน 6 วัน พบว่าน้ำมันปาล์มและไขมันหมูมีความคงตัวมากกว่าน้ำมันถั่วเหลือง การลดอัตราส่วนระหว่าง C18:2 และ C16:0 ในน้ำมันถั่วเหลืองลง จะให้คุณภาพดีกว่าน้ำมันปาล์มและไขมันหมู อีกทั้งยังสรุปว่า การทอดสุญญากาศมีผลต่อการเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำมันน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Garayo and Moreira (2002) พบว่า การทอดมันฝรั่งที่สภาวะสุญญากาศความดัน 3.115 KPa อุณหภูมิ 144 องศาเซลเซียส เวลา 6 นาที ทำให้มันฝรั่งทอดมีปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ประมาณร้อยละ 26.63 โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งมีปริมาณน้ำมันต่ำกว่าในการทอดมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วมซึ่งพบน้ำมันในผลิตภัณฑ์ประมาณร้อยละ 33-38 โดยน้ำหนักเปียก (Moreira *et al.*, 1999)

Fan *et al.* (2005) ทำการศึกษาการทอดแครอทแผ่น พบว่าปริมาณความชื้น และค่าแรงในการทำให้แตก (breaking force) จะมีค่าลดลงเมื่อสภาวะสุญญากาศลดลง เวลาในการทอดนานขึ้น และอุณหภูมิในการทอดสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์จะมีค่าสูงขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสมในการทอดแครอทแผ่นสุญญากาศ คืออุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส สุญญากาศ 0.010 - 0.020 MPa เวลาในการทอด 15 นาที

Shyu and Hwang (2001) ศึกษาการทอดแผ่นแอปเปิ้ลภายใต้สภาวะสุญญากาศ 98.6 KPa อุณหภูมิ 90-110 องศาเซลเซียส เวลาในการทอด 5-30 นาที พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการทอดสูงขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสว่าง (L* value) ลดลง และปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น แต่ค่าแรงในการทำให้แตก (breaking force) จะมีค่าลดลง

Oka and Ueoka (1981) ทดลองทอดอาหารหลายชนิด คือ ไส้กรอกปลา เส้นก๋วยเตี๋ยว ผลไม้ (แอปเปิ้ล และ สตรอเบอรี่) และผักหลายชนิด (แครอท พริกหยวก แตงกวา มะเขือยาว ถั่วลันเตา มันฝรั่ง ฟักทอง) เป็นต้น ที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (700 มม. ปรอท) เปรียบเทียบกับการทอดที่ความดันบรรยากาศ สรุปว่า การทอดที่ความดันปกติ จะต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 135 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบ แต่มีสีที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่การทอดภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ โดยใช้อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสชาติ และกลิ่นรสที่ดี และยังพบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำกว่าการทอดที่ความดันบรรยากาศ และปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์หลังการทอดก็ต่ำกว่าการทอดที่ความดันบรรยากาศด้วย จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า การทอดที่ความดันต่ำมีข้อดี คือ สามารถใช้อุณหภูมิของน้ำมันต่ำและระยะเวลาในการทอดสั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าและมีการดูดซับน้ำมันน้อยกว่าการทอดที่ความดันปกติ

ราม และ ถาวร (2548) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกล้วยหอมสุกแผ่น (หนา 3.5-4.5 มม.) ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 100 110 และ 120 องศาเซลเซียส เวลา 5 10 15 20 25 30 และ 35 นาที พบว่า ความหนาของชิ้นตัวอย่างอาหารจะหดตัวลงในช่วงแรกของการทอดและจะขยายตัวออกเมื่อเวลาในการทอดผ่านไปและเมื่อน้ำในตัวอย่างระเหยออกจนเกือบหมดชิ้นตัวอย่างจะหดตัวลงอีกครั้ง ส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะหดตัวลงหลังการทอดซึ่งจะหดตัวลงมากในช่วงแรกและจะหดตัวน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป การหดตัวของชิ้นตัวอย่างทั้งความหนาและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะสอดคล้องกับอัตราการสูญเสียความชื้นในระหว่างการทอดของชิ้นตัวอย่าง โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทอดที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จะทำให้ชิ้นตัวอย่างที่มีการขยายตัวและมีค่าความแข็งสูงกว่าการทอดที่ 100 และ 120 องศาเซลเซียส และยังให้การขยายตัวของรูพรุนที่สมบูรณ์กว่า

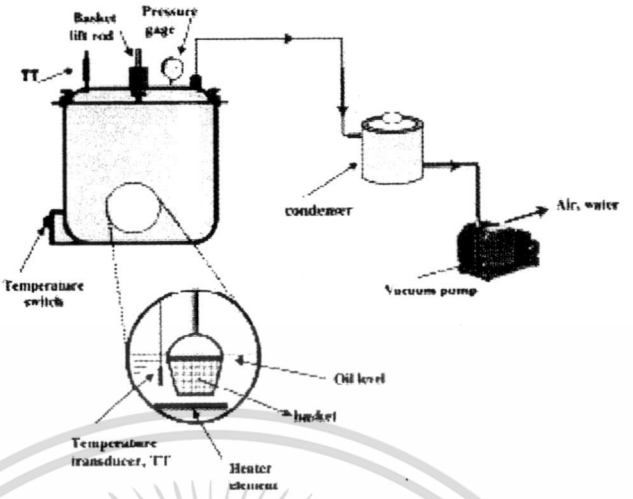
สุคนธ์ และอรทัย (2549) ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดอาหารทะเลสุญญากาศ โดยใช้ปลากะตักแห้ง 2 ชนิด คือ แบบมีไส้ แบบไม่มีไส้ และปลาหมึก เป็นวัตถุดิบ ศึกษาอุณหภูมิในช่วง 120-160 องศาเซลเซียส เวลา 5-15 นาที ซึ่งพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทอดปลากะตักแห้งแบบมีไส้ และปลากะตักแห้งแบบไม่มีไส้ คือ อุณหภูมิในการทอด 160 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที ส่วนปลาหมึกใช้อุณหภูมิในการทอด 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นอกจากนี้ ปฐมวงศ์ และคณะ (2549) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทอด อัตราการระเหยของน้ำและปริมาณการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดปลากะตัก 2 ชนิดคือ ปลาขาวและปลาดำ ซึ่งได้สภาวะที่เหมาะสม คือ ปลาขาวทอดที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที ปลาดำทอดอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที อัตราการระเหยของน้ำและปริมาณการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอด พบว่า ในช่วงแรกของการทอดอัตราการระเหยของน้ำจะค่อนข้างคงที่และจะลดลงเมื่อเวลาในการทอดนานขึ้น ส่วนปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรก และจะค่อยๆคงที่เมื่อใช้เวลาในการทอดนานขึ้น

วารุณี (2546) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลาสลิดเค็มทอดกรอบ โดยทอดในสภาวะภายใต้ความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และทอดที่สภาวะสุญญากาศ (150 มม.ปรอท) ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที พบว่า ปลาสลิดทอดมีปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ร้อยละ 33.5 และ 16.59 ตามลำดับ จะเห็นว่า การทอดในสภาวะสุญญากาศสามารถลดปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ปลาสลิดทอดและลดการเหม็นหืนในระหว่างการเก็บรักษา

- เครื่องทอดสุญญากาศ

เครื่องทอดสุญญากาศประกอบด้วยส่วนต่างๆ 3 ส่วน (ภาพที่ 2.2) คือ หม้อทอด (vacuum fryer) เป็นส่วนที่เป็นภาชนะสำหรับทอดวัตถุดิบ ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) เป็นปั๊มที่ทำหน้าที่ดูดอากาศออกจากภายในหม้อทอดทำให้ความดันภายในหม้อทอดต่ำกว่าบรรยากาศ และตัวหล่อเย็น (condenser) ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากหม้อทอด ก่อนที่จะเข้าสู่ปั๊มให้มีค่าไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส และควบแน่นไอน้ำและไอน้ำมันที่ระเหยออกมา เพื่อป้องกันปั๊มเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องทอดสุญญากาศ

ที่มา : Garayo and Moreira (2002)

2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอด

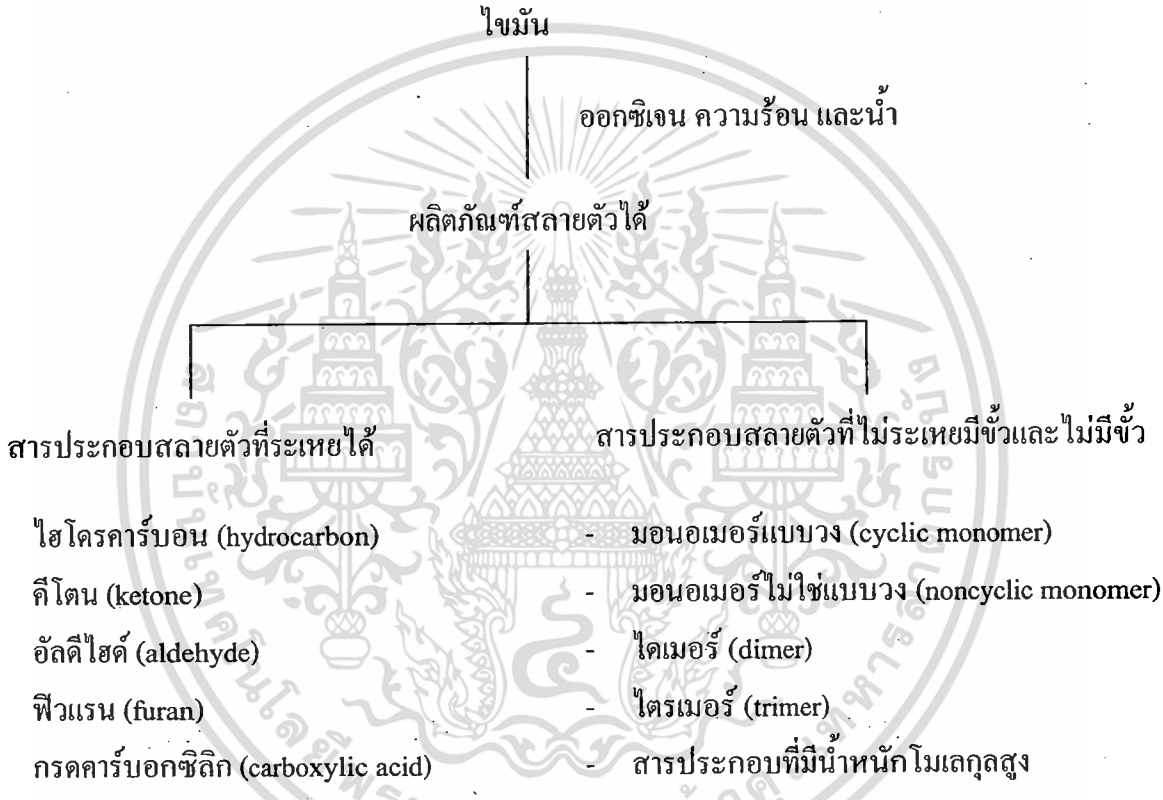
กระบวนการทอดเป็นการทำให้อาหารมีกลิ่นรสที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม บางครั้งอาหารที่ได้จากการทอดอาจเกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการ สาเหตุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันทอด เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ในขณะที่น้ำมันได้รับความร้อนตอนทอดอาหาร ซึ่งโดย ทั่วๆไป สามารถแยกผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดได้เป็น 2 ประเภท คือ สารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ (volatile decomposition products; VDP) และสารประกอบสลายตัวที่ระเหยไม่ได้ (nonvolatile decomposition products; NVDP) (Stevenson *et al.* ,1984) สารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ และระเหยไม่ได้ที่เกิดขึ้นในน้ำมันทอด แสดงรายละเอียดดังในภาพที่ 2.3

สารประกอบสลายตัวที่ระเหยได้ (volatile decomposition products; VDP) สามารถกลั่นแยกตัวได้ในขณะที่ทำการทอด กลไกการเกิดสารเหล่านี้ช่วยทำให้เข้าใจการเกิดสารประกอบสลายตัวที่ระเหยไม่ได้ เพราะสารทั้งสองชนิดเกิดขึ้นอย่างพร้อมๆ กัน นอกจากนี้สารที่เกิดขึ้นเหล่านี้ไม่เพียงแต่จะปะปนอยู่ในอาหารทอดเท่านั้นยังสามารถทำให้ผู้ที่ทำการทอดได้รับเอาสารเหล่านี้เข้าสู่ร่างกายจากการหายใจ ซึ่งมีผลต่อสุขภาพ และสารเหล่านี้ทำให้เกิดกลิ่นรสของอาหารทอด ซึ่งความรู้ทางด้านองค์ประกอบทางเคมีสามารถนำไปพัฒนาเป็นกลิ่นรสอาหารทอดเลียนแบบกลิ่นรสจากการทอดแบบน้ำมันท่วมได้

สารประกอบสลายตัวที่ระเหยไม่ได้ (nonvolatile decomposition products; NVDP) สารที่ระเหยไม่ได้เหล่านี้เป็นสารทุติยภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดซึ่งจะยังคงอยู่ในน้ำมันทอดและจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการเสื่อมลงเรื่อยๆ เมื่อมีการใช้น้ำมันทอดซ้ำๆ และอาหารจะดูดซึมสารเหล่านี้ไว้ ทำให้ส่งผลไปถึงสุขภาพของผู้บริโภค เมื่อน้ำมันถูกใช้ซ้ำหลายครั้งยิ่งทำให้น้ำหนักโมเลกุลของสารเหล่านี้เพิ่มขึ้น ยิ่งสะสมอยู่ในน้ำมันและไม่ระเหยจึงทำให้คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเปลี่ยนแปลงไป โดยมีความหนืดเพิ่มขึ้น มีสีคล้ำขึ้นและเกิดฟอง ทางด้านคุณลักษณะเคมีมีปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) เพิ่มขึ้น ค่าคาร์บอนิล (carbonyl value) ปริมาณไฮดรอกซิล (hydroxyl content) และค่าสะปอนนิฟิเคชัน (saponfication value) สูงขึ้น อีกทั้งทำให้ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลง

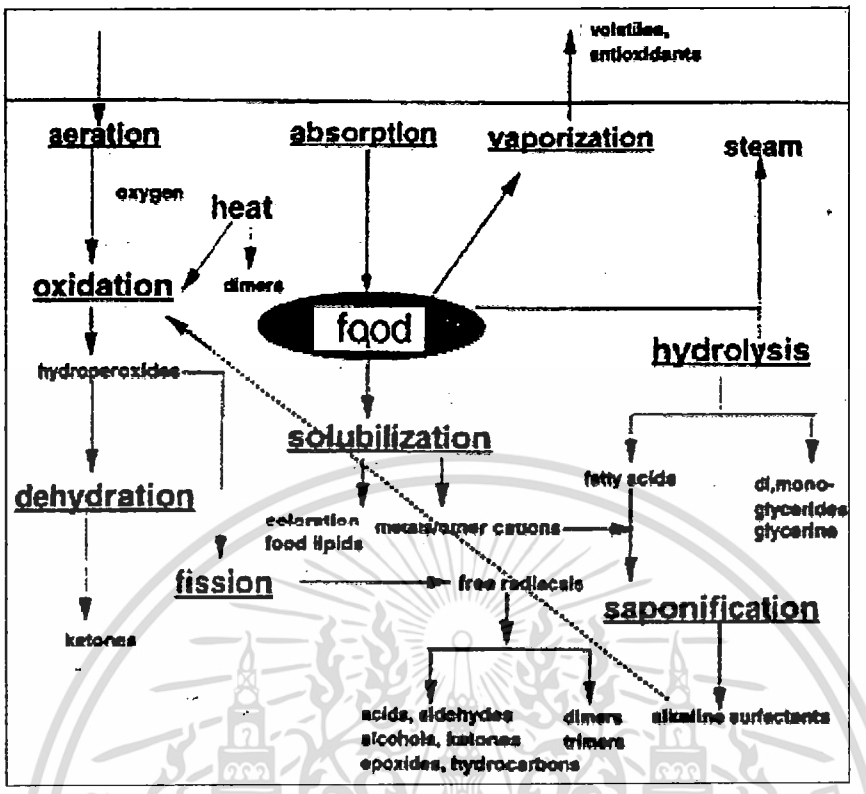


ภาพที่ 2.3 สารประกอบต่างๆ ที่เกิดขึ้นในน้ำมันทอด

ที่มา: มณฑาทิพย์ (2535)

ในระหว่างกระบวนการทอดน้ำมันจะเกิดการเสื่อมเสีย และมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ซับซ้อนเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับอาหารระหว่างการทอด ปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทอดมีดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 2.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 ปฏิกิริยาเคมีต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying)
ที่มา : Moreira *et al.* (1999)

2.4.1 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

เป็นปฏิกิริยาที่ออกซิเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่ร้อนตรงตำแหน่งพันธะคู่ (double bonds) ทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสีย ปฏิกิริยานี้จะเกิดเร็วเมื่อมีความร้อนเป็นตัวเร่ง ดังนั้น ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงการเก็บรักษา แต่จะเกิดเร็วเมื่อมีการให้ความร้อนแก่น้ำมัน ทำให้เกิดสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxides) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อันดับที่ 1 (primary oxidation products) มีสมบัติไม่เสถียรสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบชนิดอื่นๆ (secondary oxidation products) ได้ดังนี้

จากการแตกตัว (fission) เป็นแอลกอฮอล์ (alcohols) แอลดีไฮด์ (aldehydes) กรด (acids) และไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons)

1. จากการสูญเสียน้ำ (dehydration) ได้เป็นคีโตน (ketones)
2. จากการก่อรูปของอนุมูลอิสระ ได้แก่ ออกซิเดทีฟมอนอเมอร์ (oxidative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

monomers) ออกซิเดทีฟไดเมอร์ (oxidative dimers) ออกซิเดทีฟพอลีเมอร์ (oxidative polymers) ไตรเมอร์ (trimers) อิพอกไซด์ (epoxides) แอลกอฮอล์ (alcohols) ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons) น็อนโพลาร์ไดเมอร์ (nonpolar dimmers) และ พอลีเมอร์ (polymers) (Perkins and Erickson, 1996)

การเกิดสารประกอบเหล่านี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารทอด ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญ และทำให้อายุการเก็บของอาหารสั้นลง สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และทำให้เกิดความไม่น่ารับประทาน เนื่องจากการเกิดกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ ซึ่งเกิดจากการถูกทำลายของกรดไขมันไม่อิ่มตัวขณะเกิดออโตออกซิเดชันโดยปฏิกิริยาเกิดอย่างรวดเร็วที่คาร์บอนที่เป็นพันธะคู่ในกรดไขมันทำให้เกิดสารตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระทำให้เกิดกลิ่นที่เรียกว่ากลิ่นหืน (oxidative rancidity) (Frankel and Huang, 1996) นอกจากทำให้คุณค่าทางอาหารลดลงแล้วยังทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นพิษ (Braner, 1975) โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดการหืน (oxidative rancidity) ได้แก่ อุณหภูมิ แสง ทองแดง สังกะสี โลหะทรานซิชันพวกตะกั่ว เป็นต้น การเพิ่มพื้นที่ผิวของไขมันหรือน้ำมันที่สัมผัสกับอากาศ และจำนวนพันธะคู่ของกรดไขมัน เมื่อไขมันหรือน้ำมันเกิดการหืนจะมีคุณภาพไม่เหมาะสมในการนำมาใช้บริโภค การวัดการหืนของไขมันน้ำมันจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการตรวจสอบ ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น วัดค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) active oxygen method (AOM) และ Thiobarbituric acid number (TBA) (Lea, 1962)

เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวเป็นผลิตภัณฑ์อันดับ 2 (secondary oxidation products) ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งมีการศึกษาค่าเปอร์ออกไซด์ภายหลังจากการทอดที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ พบว่าสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อใช้อุณหภูมิในการทอดสูงขึ้น (Lomanno and Nawar, 1982)

2.4.2 ปฏิกิริยาพอลีเมอไรเซชัน (Polymerization)

เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูง ในสภาวะที่มีออกซิเจน นอกจากจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว หากยังมีการให้ความร้อนต่อเป็นเวลานานจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งจะทำให้ไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเกิดการสร้างพันธะระหว่างคาร์บอน (carbon-carbon) เกิดสารประกอบที่มีโมเลกุลสูงจำพวก มอนอเมอร์ที่เป็นวงแหวน (cyclic monomers) ไดเมอร์ (dimers) และพอลีเมอร์ (polymers) ซึ่งเป็นผลให้น้ำมันมีสีคล้ำและโมเลกุลของน้ำมันเป็นสายยาว เมื่อเย็นลงจะทำให้น้ำมันมีลักษณะข้นเหนียวและเกิดฟอง และหากนำน้ำมันนี้ไปใช้ในครั้งต่อไปก็จะเกิดควันอย่างรวดเร็ว (รุ่งนภา, 2544)

Melton *et al.* (1994) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในน้ำมันยังก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพในด้านสีของน้ำมันที่เข้มขึ้นด้วยการเพิ่มของพอลีเมอร์ (polymer) ความหนืดเพิ่มขึ้นและเกิดฟองมากขึ้น สารประกอบที่ระเหยได้ (volatile component) เช่น ปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ที่สะสมเพิ่มขึ้นทำให้จุดเกิดควันลดลง รวมถึงกลิ่นและรสของน้ำมันจะเปลี่ยนไปเมื่อจำนวนครั้งในการทอดซ้ำเพิ่มขึ้น

2.4.3 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นปฏิกิริยาทางเคมีหลักที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทอดอาหารแบบน้ำมันท่วม เมื่อมีการทอดอาหารในน้ำมันที่ร้อน ไอน้ำในอาหารจะทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) จะถูกย่อยเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) มอนอกลีเซอไรด์ (monoglyceride) ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) และกลีเซอรอล (glycerol) (O' Brien, 1993) ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้น (Chung *et al.*, 2004)

เมื่อมีการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน กลีเซอรอลจะสลายตัวให้สารอะโครลีนที่อุณหภูมิสูงซึ่งเป็นสารพิษ เมื่อนำน้ำมันนั้นไปใช้อาจทำให้มีสารอะโครลีนปนเปื้อน ไปด้วย (รุ่งนภา, 2540)

อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หรือการเกิดกรดไขมันอิสระ ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ (Perkins and Erickson, 1996)

1. ปริมาณน้ำจากผลิตภัณฑ์อาหาร
2. อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอด อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว
3. ปริมาณของน้ำมันที่เติมและใช้หมดไป (turnover rate)
4. ปริมาณอาหารที่ไหม้เกรียม เนื่องจากจะเป็นตัวเร่งการเกิดกรดไขมันอิสระ

ขั้นคุณภาพของน้ำมันและไขมันที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เมื่อได้รับความร้อนในขณะทอด แบ่งได้ 6 ขั้น (Stauffer, 1996) ดังนี้ (ตารางที่ 2.2)

ขั้นที่ 1 New fat การทอดอาหารในไขมันที่อยู่ในขั้นนี้ ยังขาดความเป็นสารเซอร์เฟสแอคทีฟ (surface active materials) ทำให้ขาดการระเหยของไอน้ำ การดูดซับของไขมันเข้าสู่ภายในอาหาร และการถ่ายเทความร้อน

ขั้นที่ 2 Break-in ไขมันในขั้นนี้สามารถทำงานได้ค่อนข้างจะดี แต่ยังให้การดูดซับไขมันเข้าสู่อาหารไม่ดีพอ

ขั้นที่ 3 Fresh ไขมันนี้มีคุณภาพดี ไขมันขั้นนี้เหมาะสมสำหรับการทอดโดนัท

ขั้นที่ 4 Optimum เป็นไขมันที่ใช้กันโดยส่วนใหญ่ในร้านอาหาร สำหรับการทอดผัก เฟรนซ์ฟราย เนื้อสัตว์ และอื่นๆ

ขั้นที่ 5 Degrading เป็นไขมันที่เลยจุดยอดของการทอดที่ดี มักจะให้สีแก่เปลือกนอกอาหาร และเกิดการดูดซับไขมันในอาหาร ไขมันนี้ควรทิ้งไม่นำมาใช้ในการทอดอาหารอีก

ขั้นที่ 6 Runaway เป็นไขมันที่มีคุณภาพต่ำไม่ควรนำมาทอดอาหาร ควรมีการกำจัดทิ้งอย่างถูกต้องเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของไขมันในขั้นต่างๆ

ขั้นของน้ำมัน	ไตรกลีเซอไรด์ (ร้อยละ)	ปริมาณสารมีขั้ว (ร้อยละ)	พอลีเมอร์ (ร้อยละ)	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)
New fat	> 98	< 2	0.5	0.03
Break-in	90	10	2	0.5
Fresh	85	15	5	1
Optimum	80	20	12	3
Degrading	75	25	17	5
Runaway	65	35	25	8

ที่มา: Stauffer (1996)

2.5 ผลกระทบทางกายภาพจากการเกิดการเสื่อมเสียทางเคมีของน้ำมัน

2.5.1 กลิ่นรสที่ผิดปกติ (distinctive odor and flavors)

สิ่งที่เป็นสัญญาณของการเกิดความเสื่อมเสียในน้ำมัน คือการเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ ซึ่งสารต่างๆ ที่เป็นสาเหตุส่วนใหญ่มักเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และสามารถถูกกำจัดออกโดยไอน้ำ สารเหล่านี้ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนในสภาวะบรรยากาศ

2.5.2 ปริมาณควัน (smoke)

ปริมาณควันในน้ำมันเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งจุดเกิดควัน (smoke point) เป็นอุณหภูมิที่เริ่มเกิดควันอย่างต่อเนื่อง และบ่งชี้ว่าน้ำมันเกิดการไฮโดรไลซิสได้กลีเซอรอล และกรดไขมันอิสระ เมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจะมีผลให้จุดเกิดควันต่ำลง หากมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงต่อไปอีก กลีเซอรอลจะสลายตัวให้สารอะโครลีน ซึ่งเป็นสาเหตุของควันที่ระคายเคืองตาและลำคออย่างรุนแรง (McGill, 1980)

2.5.3 การเกิดฟอง (foaming)

การเกิดฟองของน้ำมันมีสาเหตุมาจากสารประกอบบางชนิดที่ทำปฏิกิริยาที่ผิวหน้าของน้ำมันซึ่งอาจถูกกระตุ้นโดยสารเกิดฟอง (foaming agent) เมื่อทอดอาหารด้วยน้ำมันที่เกิดฟองจะทำให้อาหารอมน้ำมันและไม่กรอบ (Paul and Mittal, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 สี (color)

สีของผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ ซึ่งความร้อนและการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการทอดส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ โดยมีตัวแปรที่เป็นปัจจัยสำคัญเช่น ชนิดของน้ำมัน อุณหภูมิของน้ำมัน และตัวอย่างที่นำมาทอด (Krokida *et al.*, 2001) ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาจเกิดการเปลี่ยนสีทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์ซิง (reducing sugar) ที่เพิ่มขึ้นพร้อมกับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard reaction) (Birch *et al.*, 1970) ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกลุ่มอะมิโนอิสระของกรดอะมิโนเปปไทด์หรือโปรตีนทำปฏิกิริยากับสารประกอบแอลดีไฮด์ น้ำตาลรีดิวซ์ซิง (reducing sugar) และสารประกอบคาร์บอนิลอื่นๆ ทำให้เกิดสารประกอบสีน้ำตาลของเมลานินซึ่งละลายน้ำได้และนอกจากนี้ยังทำให้เกิดสารประกอบที่ให้กลิ่นและระเหยได้อีกด้วย

2.5.5 ความหนืด (viscosity)

ความหนืดของน้ำมันเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน และอาจเกิดได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และไอโซเมอไรเซชัน น้ำมันที่มีความหนืดจะทำให้อัตราถ่ายเทความร้อนลดลง จึงเป็นผลให้ต้องใช้เวลาในการทอดนานขึ้นและยังทำให้อาหารที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันนั้นอมน้ำมัน (McGill, 1980)

Moreira *et al.* (1996) ทำการทอด tortilla chips ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที ความหนา 2 มิลลิเมตร ในน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้น้ำมันใหม่และน้ำมันเก่า พบว่า tortilla chips ที่ทอดด้วยน้ำมันใหม่มีปริมาณไขมันที่เกาะอยู่บนผิวของ tortilla chips เพียงร้อยละ19 ในขณะที่ผิวของ tortilla chips ที่ทอดด้วยน้ำมันเก่ามีปริมาณไขมันถึงร้อยละ 49 ที่เป็นเช่นนั้นเพราะความหนืดของน้ำมันเก่าที่เพิ่มขึ้น

2.6 ผลกระทบต่อสุขภาพจากน้ำมันทอดซ้ำ

น้ำมันจะถูกดูดซับเข้าสู่ ผลิตภัณฑ์ด้วยการแทนที่น้ำที่ระเหยไปเป็นไอและกลายเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น คุณภาพของน้ำมันทอดจึงสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารทอด (Kochhar, 2001) น้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารซ้ำหลายครั้งจะมีคุณค่าทางโภชนาการลดลง มีการทดลองในหนูทดลอง พบว่าทำให้เกิดการเจริญเติบโตลดลง ตับและไตมีขนาดใหญ่ มีการสะสมไขมันในตับ การหลั่งน้ำย่อยทำลายสารพิษในกระเพาะอาหารเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นไขมันที่ถูกออกซิไดซ์ปริมาณสูงอาจทำให้ไลโปโปรตีนชนิดแอลดีแอลมีโอกาสเกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น จึงมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้

ส่วนไอระเหยจากน้ำมันทอดอาหาร หากสูดดมเป็นระยะเวลานานอาจมีอันตรายต่อสุขภาพ เนื่องจากพบความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดโรคมะเร็งที่ปอดกับสารสูดไอระเหยจากการผัดหรือทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อาหารของผู้หญิงจีนและไต้หวันที่ไม่สูบบุหรี่ และพบว่ามีสารก่อกลายพันธุ์ในไอระเหยของน้ำมันทอดอาหาร ทั้งเป็นสารที่ก่อให้เกิดเนื้องอกในตับและปอด และก่อมะเร็งเม็ดเลือดขาวในหนูทดลอง (จงกลนี และกนกวรรณ, 2549) นอกจากนี้ การที่น้ำมันได้รับความร้อนที่สูงเกิน (overheated) ทำให้ไขมันเกิดไฮโดรไลซ์เป็นกลีเซอรอลและสลายตัวเป็นสารอะโครลีน (acrolein) ซึ่งเป็นสารพิษที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองตา และเยื่อเมือก (mucous membrane) และเกิดกลิ่นที่ผิดปกติของผลิตภัณฑ์ (Goburdhun *et al.*, 2000)

2.7 การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพน้ำมัน

วิธีวิเคราะห์คุณภาพโดยทั่วไปของน้ำมัน ได้แก่ การวัดค่าสี (color) การเกิดฟอง (foaming) จุดเกิดควัน (smoke point) การวัดความหนืด (viscosity) การวัดปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) หรือค่าปริมาณกรด (acid value) ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) การวัดปริมาณสารประกอบมีขั้ว (total polar compound) โดยการวัดปริมาณสารประกอบมีขั้วเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ใช้เวลานานในการวิเคราะห์และค่าใช้จ่ายสูง ในการวิจัยช่วงแรกๆ จะวัดปริมาณสารประกอบมีขั้ว ด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโตกราฟี (column chromatography) ซึ่งเป็นวิธีที่ยอมรับโดย AOAC (1984) แต่วิธีนี้ใช้เวลานาน ต่อมาได้มีการศึกษาโดยใช้เทคนิค HPLC(High Performance Liquid Chromatography) NMR (Nuclear Magnetic Resonance) Electronic nose FTIR(Fourier Transform Infared Spectroscopy) ซึ่งวิธีการเหล่านี้ให้ผลรวดเร็วกว่าการใช้คอลัมน์โครมาโต กราฟี (Gil *et al.*, 2004; Hein *et al.*,1998)

ในร้านอาหารจะใช้การชี้วัดทางกายภาพที่ไม่ซับซ้อนและรวดเร็วในการตัดสินใจทิ้งน้ำมันทอด เช่น การเปลี่ยนแปลงของสีที่คล้ำขึ้น การเกิดฟองเพิ่มขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้น หรือใช้วิธีทดสอบทางประสาทสัมผัสคุณลักษณะด้านรสชาติของอาหารที่เปลี่ยนแปลงไป (Innawong *et al.*, 2004; Moreira *et al.*, 1999)

ณัฐพงศ์ และคณะ (2549) ศึกษาคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอดกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ โดยทำการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำมันที่ผ่านการทอดกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ 2 ชนิดคือ ชนิดที่หนึ่งเป็นเครื่องทอดสุญญากาศแบบยกสะเด็ดน้ำมัน ใช้น้ำมันปาล์มในการทอด และชนิดที่สองเป็นเครื่องทอดสุญญากาศแบบหมุนสลัดน้ำมันภายใต้สภาวะสุญญากาศ ใช้น้ำมันรำข้าวในการทอด วิเคราะห์คุณภาพโดยการเปรียบเทียบความหนืด สี และค่า (TBA) พบว่า น้ำมันที่ได้จากเครื่องทอดแบบหมุนสลัดน้ำมันภายใต้สภาวะสุญญากาศจะให้ค่าปริมาณความหนืด สี และค่าความเหม็นหืน (TBA) ต่ำกว่าเครื่องทอดแบบยกสะเด็ดน้ำมัน ทำให้โอกาสในการเสื่อมเสียและการเสื่อมคุณภาพจากปฏิกิริยาเคมีนั้นมีน้อยกว่า เนื่องจากเครื่องทอดสุญญากาศแบบหมุนสลัดน้ำมันภายใต้สภาวะสุญญากาศมีการกรองน้ำมันทุกครั้งหลังการทอดแต่ละครั้ง ในขณะที่ เครื่องทอดสุญญากาศแบบยกสะเด็ดน้ำมันจะมีการกรองน้ำมันวันละครั้ง นอกจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

116952

เครื่องทอดสุญญากาศแบบหมุนสลัดน้ำมันภายใต้สภาวะสุญญากาศช่วยลดการสัมผัสของน้ำมันกับอากาศจึงลดโอกาสการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างน้ำมันและอากาศได้

Shyu *et al.* (1998) ศึกษาความคงตัวของน้ำมันปาล์ม น้ำมันหมู และน้ำมันถั่วเหลือง ในระหว่างการทอดแครอทภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที ติดต่อกัน 8 ชั่วโมงต่อวัน ต่อนื่องกัน 6 วัน ตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันด้วยการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) ค่าคาร์บอนิล (carbonyl value) ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (total polar compound) ค่าคงที่ไดอิเล็คทริค (dielectric constant) ความหนืด (viscosity) และกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) พบว่า น้ำมันปาล์มและน้ำมันหมู มีความคงตัวมากกว่าน้ำมันถั่วเหลือง เมื่อพิจารณาค่าเปอร์ออกไซด์ ความเป็นกรดคาร์บอนิล ปริมาณสารประกอบมีขั้ว ค่าคงที่ไดอิเล็คทริคของน้ำมัน พบว่ามีความสัมพันธ์กับชนิดของน้ำมันและเวลาในการทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1	เครื่องทอดสุญญากาศ	Owner Food Machinery, Thailand
3.1.2	เครื่องสไลด์	Omas (GF250), Italy
3.1.3	เครื่องทอดแบบน้ำมันท่วม	Fritel (Compact 15), Belgium
3.1.4	เครื่องวัดค่าสี Spectrophotometer	Minolta (CM-3500d), Japan
3.1.5	เครื่องวัดความหนืด	Brookfield (DV-III), USA
3.1.6	เครื่องวัดปริมาณสารประกอบมีขั้ว	Ebro electronic (FOM 310), Germany
3.1.7	เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมัน	Foss (Soxtec Avanti 2050), Sweden

3.1.8 เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง

3.1.9 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ค่าปริมาณกรด (acid value)

3.1.10 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)

3.1.11 ห้องแช่แข็งควบคุมอุณหภูมิ

3.1.12 อุปกรณ์ในการทำผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ภาชนะเครื่องครัว

3.1.13 กระดาษซับน้ำมัน

3.1.14 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

3.2 วัตถุดิบ

3.2.1 มันเทศเนื้อสีเหลือง (เก็บเกี่ยวในช่วงเดือน พ.ย. 51 - ก.พ. 52 ซื้อจากตลาดสะพานใหม่ กรุงเทพฯ)

3.2.2 น้ำมันปาล์มตรามรกต

3.3 สารเคมี

3.3.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) ได้แก่ กรดอะซิติก (CH_3COOH) คลอโรฟอร์ม (CH_3Cl) โซเดียมไธโอซัลเฟต (NaS_2O_3) โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) และน้ำแป้ง

3.3.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ค่าปริมาณกรด (acid value) ได้แก่ ไดเอทิลอีเทอร์ เอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และฟีนอฟทาลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 การเตรียมตัวอย่างมันเทศ

นำมันเทศมาล้าง ปอกเปลือก และแช่น้ำจนกระทั่งสไลด์ หั่นสไลด์เป็นแผ่น (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4-6 เซนติเมตร ความหนา 1.5 มิลลิเมตร) แช่น้ำ แล้วนำมาผึ่งบนตะแกรง 20 นาที ก่อนนำไปทอด แสดงในภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมมันเทศก่อนทอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 ขั้นตอนการผลิตมันเทศทอด

3.5.2.1 มันเทศทอดสภาวะสุญญากาศ

นำมันเทศที่ผ่านการเตรียมตามวิธีในข้อ 3.5.1 มาทำการทอด โดยทอดครั้งละ 175 กรัม ภายใต้สภาวะสุญญากาศ (630 mmHg.) อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลาในการทอด 10 นาที แล้วสลัดน้ำมันออก ที่ความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที (อนุวัตร และคณะ, 2550) ใช้น้ำมันในการทอดประมาณ 7 ลิตร (ภาพที่ 3.2) ทอดทุกๆ ชั่วโมง วันละ 8 ครั้ง ทำการทอดเป็นระยะเวลา 8 วันติดต่อกัน โดยทำการเก็บน้ำมันก่อนทำการทอด (วันที่ 0) และเก็บตัวอย่างน้ำมันหลังจากการทอดครั้งสุดท้ายของทุกวัน

3.5.2.2 มันเทศทอดสภาวะบรรยากาศ

เตรียมน้ำมัน 3 ลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ให้คงที่เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นใส่มันเทศแผ่นที่ผ่านการเตรียมตามวิธีในข้อ 3.5.1 มาทำการทอดในหม้อทอด โดยทอดครั้งละ 75 กรัม ภายใต้สภาวะบรรยากาศ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลาในการทอด 1.30 นาที (ภาพที่ 3.2) ทอดทุกๆ ชั่วโมง วันละ 8 ครั้ง ทำการทอดเป็นระยะเวลา 6 วันติดต่อกัน เก็บตัวอย่างน้ำมันหลังจากการทอดครั้งสุดท้ายทุกวัน

3.5.3 ศึกษาคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอด

เมื่อการทอดสิ้นสุดในแต่ละวัน วัดปริมาณสารประกอบมีขั้ว (total polar compound) ด้วยเครื่อง (FOM 310, ebro electronic GmbH & Co. KG) โดยวัดที่อุณหภูมิน้ำมัน 80 องศาเซลเซียส

หลังจากนั้น ทิ้งน้ำมันให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วเก็บตัวอย่างน้ำมันทั้งการทอดสภาวะสุญญากาศ และการทอดที่สภาวะบรรยากาศ โดยแบ่งตัวอย่างน้ำมันเป็น 2 ส่วน

ส่วนแรกนำตัวอย่างน้ำมันไปวัดคุณภาพทางกายภาพ

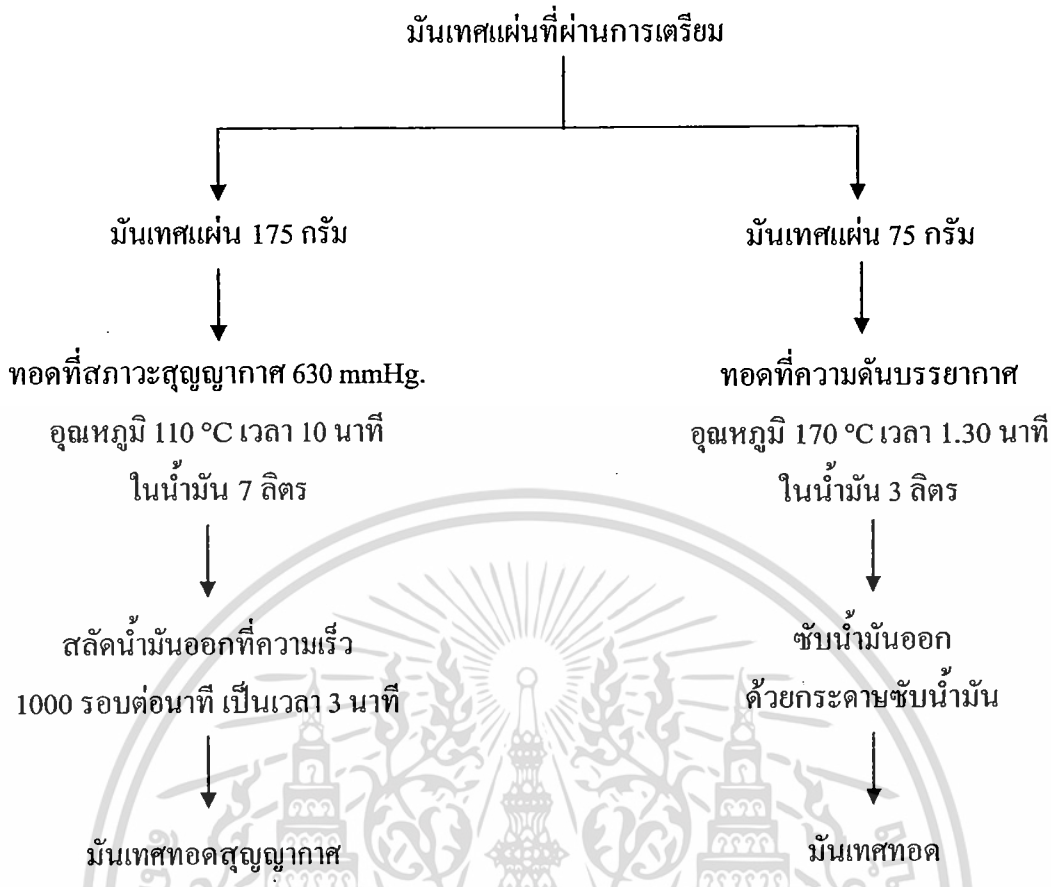
- วัดค่าสี (L*, a*, b*, C* และ h) ด้วยเครื่องวัดสี Spectrophotometer
- วัดความหนืด ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer

ส่วนที่ 2 เก็บตัวอย่างน้ำมันใส่ในขวดแก้วสีชา จำนวน 50 มิลลิลิตร นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ในระหว่างการรอเพื่อนำไปวัดค่าคุณภาพต่างๆ ดังนี้

คุณภาพทางเคมี

- วิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) (A.O.A.C., 1995)
- วิเคราะห์ค่าปริมาณกรด (acid value) (A.O.A.C., 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการผลิตมันเทศทอดที่สภาวะสุญญากาศและที่สภาวะบรรยากาศ

3.5.4 ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์มันเทศทอด

เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์มันเทศทอดสภาวะสุญญากาศ และมันเทศทอดสภาวะบรรยากาศที่ได้จากการทอดครั้งสุดท้ายของแต่ละวัน แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่างๆ ดังนี้

-ค่าสี (L*, a*, b*, C* และ h) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ทันทีหลังจากการทอดเสร็จในแต่ละวัน

-ปริมาณไขมัน (fat content) (A.O.A.C., 1995) โดยเก็บตัวอย่างมันเทศทอดในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์

3.5.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

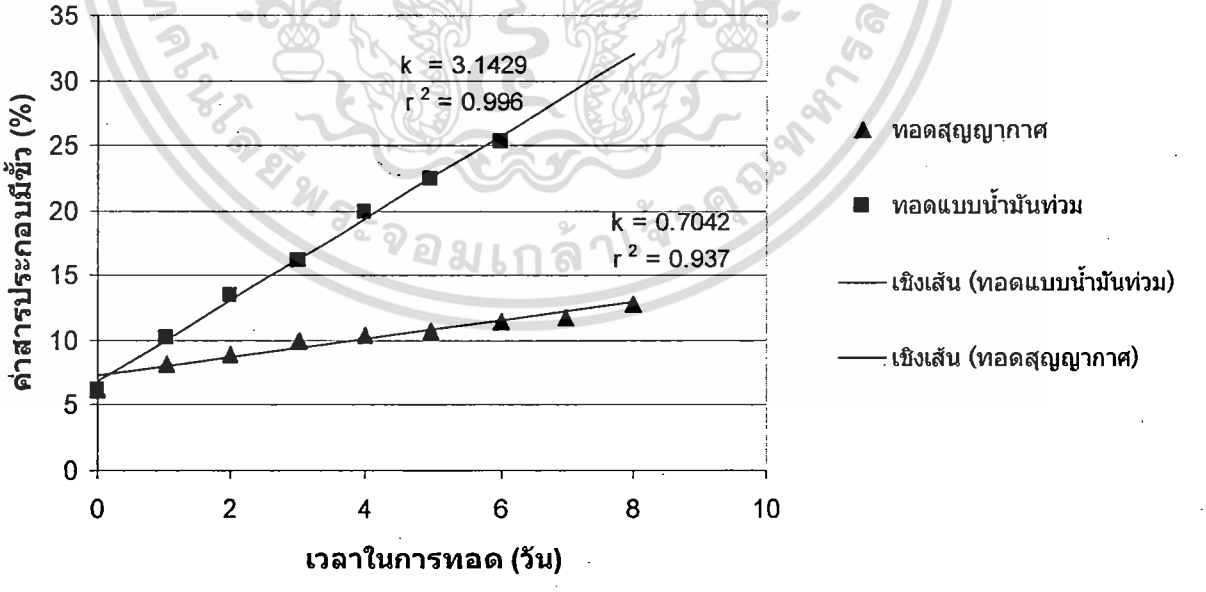
การศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทอดที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันทอด และคุณภาพของผลิตภัณฑ์มันเทศทอด โดยการทอดที่สภาวะบรรยากาศและการทอดสภาวะสุญญากาศ โดยใช้มันเทศแผ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4-6 เซนติเมตร ความหนา 1.5 มิลลิเมตร ที่มีความชื้นร้อยละ 72 $\pm$ 2 และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 8 $\pm$ 0.5 องศาบริกซ์ เก็บตัวอย่างน้ำมันและผลิตภัณฑ์หลังจากการทอดสิ้นสุดในแต่ละวัน เป็นระยะเวลา 8 วัน ในการทอดที่สภาวะสุญญากาศ และเป็นระยะเวลา 6 วัน ในการทอดที่สภาวะบรรยากาศ

4.1 ศึกษาคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอด

4.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

4.1.1.1 ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (total polar compound)

หลังการทอดสิ้นสุดในแต่ละวัน วัดค่าปริมาณสารประกอบมีขั้วในน้ำมันที่อุณหภูมิของน้ำมัน 80 องศาเซลเซียส ได้ผลแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 สารประกอบมีขั้วของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.1 จะเห็นว่าเมื่อเวลาในการทอดของน้ำมันเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณสารประกอบมีขั้วเพิ่มสูงขึ้นทั้งการทอดที่สภาวะสุญญากาศ และการทอดที่สภาวะบรรยากาศ จากปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันก่อนการทอด (วันที่ 0) มีค่า ร้อยละ 6.25 เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 6 เป็นร้อยละ 10.25 13.5 16.25 20.00 22.5 และ 25.25 ตามลำดับ ในการทอดที่สภาวะบรรยากาศ ส่วนปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันที่ใช้ในการทอดแบบสุญญากาศในวันที่ 1 ถึงวันที่ 8 มีค่าร้อยละ 8.25 9.00 10.00 10.50 10.75 11.5 11.75 และ 12.75 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันทอดที่สภาวะบรรยากาศมีค่าสูงกว่าน้ำมันที่ใช้ในการทอดแบบสุญญากาศซึ่งการเพิ่มขึ้นของสารประกอบมีขั้วสอดคล้องกับการทดลองของ Razali and Badri (2003) ที่ทอดมันฝรั่งแท่งแช่เยือกแข็ง (frozen French fries) ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที โดยทอดต่อเนื่องวันละ 8 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วัน พบว่า เมื่อสิ้นสุดวันที่ 5 ปริมาณสารประกอบมีขั้วในน้ำมันปาล์มมีค่าร้อยละ 30 นอกจากนี้ Houhoula *et al.* (2002) ทำการทดลองทอดมันฝรั่งแผ่นครั้งละ 100 กรัม ในน้ำมันเมล็ดฝ้าย (cottonseed oil) ปริมาณ 20 ลิตร ที่สภาวะบรรยากาศ ทอดต่อเนื่องทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทอดที่อุณหภูมิ 155-195 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 3-4 นาที พบว่าหลังจากชั่วโมงที่ 11 ปริมาณสารประกอบมีขั้วมีค่าร้อยละ 28

จากการศึกษาถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียของคุณภาพน้ำมันด้านปริมาณสารประกอบมีขั้ว โดยทำการหาความสัมพันธ์ของการเกิดสารประกอบมีขั้วในน้ำมันเทียบกับเวลาในการทอด พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบมีขั้วอธิบายได้ด้วยสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ โดยมีค่า r^2 ของน้ำมันทอดที่สภาวะสุญญากาศ และที่สภาวะบรรยากาศ เท่ากับ 0.937 และ 0.996 ตามลำดับ และมีค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา (k) เท่ากับ 0.7042 และ 3.1429 ร้อยละปริมาณสารประกอบมีขั้วต่อวัน ในน้ำมันทอดที่สภาวะสุญญากาศ และที่สภาวะบรรยากาศ ตามลำดับ ซึ่งจากสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ คือ $C = C_0 + kt$

เมื่อ C คือ ดัชนีคุณภาพของน้ำมัน

C_0 คือ ค่าของน้ำมันเริ่มต้น

k คือ ค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา

t คือ เวลาในการทอด (วัน)

Houhoula *et al.* (2002) ทอดมันฝรั่งแผ่นครั้งละ 100 กรัม ในน้ำมันเมล็ดฝ้าย (cottonseed oil) ที่สภาวะบรรยากาศ ทอดอุณหภูมิในช่วง 155-195 องศาเซลเซียส และใช้สมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ในการอธิบายความสัมพันธ์ของการเกิดปริมาณสารประกอบมีขั้ว พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการทอดสูงขึ้นทำให้ค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยามีค่าสูงขึ้นด้วย โดยที่อุณหภูมิ 155 165 175 185 และ 195 องศาเซลเซียส สมการที่ได้มีค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยาเท่ากับ 1.476 1.540 1.670 1.765 และ 1.971 ตามลำดับ มีค่า r^2 คือ 0.991 0.983 0.973 0.951 และ 0.986 โดยค่าคงที่อัตราปฏิกิริยาจะมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิที่ใช้ทอด เวลาในการทอด ชนิดของน้ำมัน สภาวะการทอด และชนิดอาหารทอด

ในขณะทอดไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีขั้วในไขมันและน้ำมันจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และพอลีเมอร์ไรเซชัน (polymerization) เกิดเป็นสารประกอบมีขั้วต่างๆ เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ โมโน-และไดกลีเซอไรด์ (mono-, diglyceride) การเกิดออกซิเดชันทำให้เกิดสารประกอบมีขั้วจำพวกสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) อีพอกไซด์ (epoxide) ไฮดรอกไซด์ (hydroxide) แอลดีไฮด์ และ คีโตน (ketone) การเกิดปฏิกิริยาพอลีเมอร์ไรเซชัน ได้สารประกอบมีขั้วที่มีมวลโมเลกุลสูง (Gil *et al.*, 2004) เช่น ไซคลิกโมโนเมอร์ (cyclic monomer) ไดเมอร์ (dimer) และไตรเมอร์ (trimer) ดังนั้นการวัดปริมาณสารประกอบมีขั้วเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าเชื่อถือสำหรับการการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไขมันและน้ำมันในระหว่างกระบวนการทอด (Fritsch, 1981; Farhoosh and Moosavi, 2008) ซึ่งการวัดปริมาณสารประกอบมีขั้วเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง

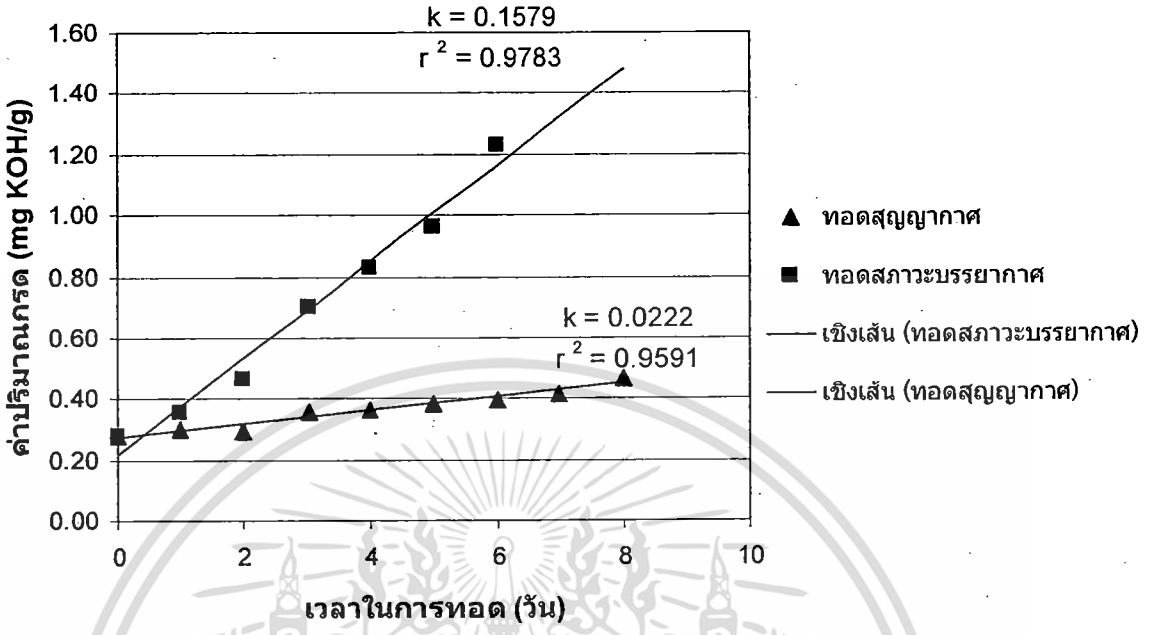
การที่ปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันที่ใช้ทอดที่สภาวะบรรยากาศในวันที่ 6 มีค่าสูงถึงร้อยละ 25.25 นั้นเป็นค่าที่เกินกว่าค่าประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 283 ซึ่งประกาศว่าไม่ให้น้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารมีค่าสารประกอบมีขั้วเกินร้อยละ 25 (กระทรวงสาธารณสุข, 2547) นอกจากนี้ ในประเทศฝรั่งเศส และสเปน ระบุว่า น้ำมันสำหรับบริโภคต้องมีสารประกอบมีขั้วไม่เกินร้อยละ 25 เช่นกัน ดังนั้น จึงทำการทดลองการทอดแบบน้ำมันท่วมที่สภาวะบรรยากาศเป็นระยะเวลา 6 วัน ในขณะที่วันที่ 6 ของการทอดแบบสุญญากาศมีค่าปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันร้อยละ 11.50 ซึ่งการเพิ่มปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันในการทอดแบบสุญญากาศจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่าการทอดที่สภาวะบรรยากาศ เนื่องจากเป็นการทอดที่อุณหภูมิต่ำทำให้ลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ที่ส่งผลให้น้ำมันเกิดความเสื่อมเสีย

ในอุตสาหกรรมอาหารทอดระยะเวลาในการตัดสินใจที่จะทิ้งน้ำมันทอดขึ้นอยู่กับค่าปริมาณสารประกอบมีขั้ว ซึ่งการเพิ่มของปริมาณสารประกอบมีขั้วขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณการเติมสารกันหืน (antioxidant) ลงไปในน้ำมันชนิดนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 ค่าปริมาณกรด (acid value)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรด (acid value) แสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ปริมาณกรดของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ

จากภาพที่ 4.2 น้ำมันเริ่มต้น (วันที่ 0) มีค่าปริมาณกรดประมาณ 0.28 mg KOH/g เมื่อทำการทอดปริมาณกรดจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยปริมาณกรดในน้ำมันทอดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Chung *et al.* (2004) ที่ทำการทอดฟลาวร์โด (flour dough) แบบต่อเนื่องในน้ำมันถั่วเหลืองผสมกับน้ำมันงาที่อัตราส่วนต่างๆ แล้วนำน้ำมันมาวิเคราะห์ปริมาณกรด พบว่า ปริมาณกรดในน้ำมันทอดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้น จากการทอดที่สภาวะบรรยากาศตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 6 มีปริมาณกรด คือ 0.36 0.46 0.70 0.83 0.96 และ 1.23 mg KOH/g ตามลำดับ ส่วนปริมาณกรดของน้ำมันที่ใช้ในการทอดสภาวะสุญญากาศในวันที่ 1 ถึงวันที่ 8 มีค่าประมาณ 0.30 0.29 0.36 0.37 0.38 0.40 0.42 และ 0.46 mg KOH/g ตามลำดับ ซึ่งค่าปริมาณกรดของการทอดที่สภาวะบรรยากาศสูงกว่าค่าปริมาณกรดของการทอดแบบสุญญากาศ โดยการเกิดปริมาณกรดอธิบายได้ด้วยสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ มีค่า r^2 และค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยาของน้ำมันทอดที่สภาวะสุญญากาศ คือ 0.9591 และ 0.0222 mg KOH/g ต่อวัน ที่สภาวะบรรยากาศ เท่ากับ 0.9783 และ 0.1579 mg KOH/g ต่อวัน ซึ่งค่าปริมาณกรดที่เกิดขึ้นจะบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในน้ำมัน ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไอน้ำและไตรกลีเซอไรด์ในอาหาร (O' Brien, 1993) โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดกับน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวและโมเลกุลสั้นมากกว่าจะเกิดกับน้ำมันที่มีกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันอิ่มตัวและโมเลกุลสายยาว เพราะโมเลกุลสายสั้นและกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะละลายน้ำได้มากกว่า (Nawar, 1969) ถ้าค่าปริมาณกรดสูง แสดงว่า ไตรกลีเซอไรด์ถูกไฮโดรไลซ์กลายเป็นกรดไขมันอิสระมาก การหืนจะเกิดมาก นอกจากนี้ ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้เกิดจุดเกิดควัน (smoke point) ลดต่ำลง

Che man *et al.* (1999) กล่าวว่า ค่าปริมาณกรด (acid value) คือตัวชี้วัด (indicator) ที่สำคัญสำหรับการประเมินคุณภาพน้ำมันทอด และมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันค่อนข้างสูงกับอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแผ่นทอด

4.1.1.3 ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)

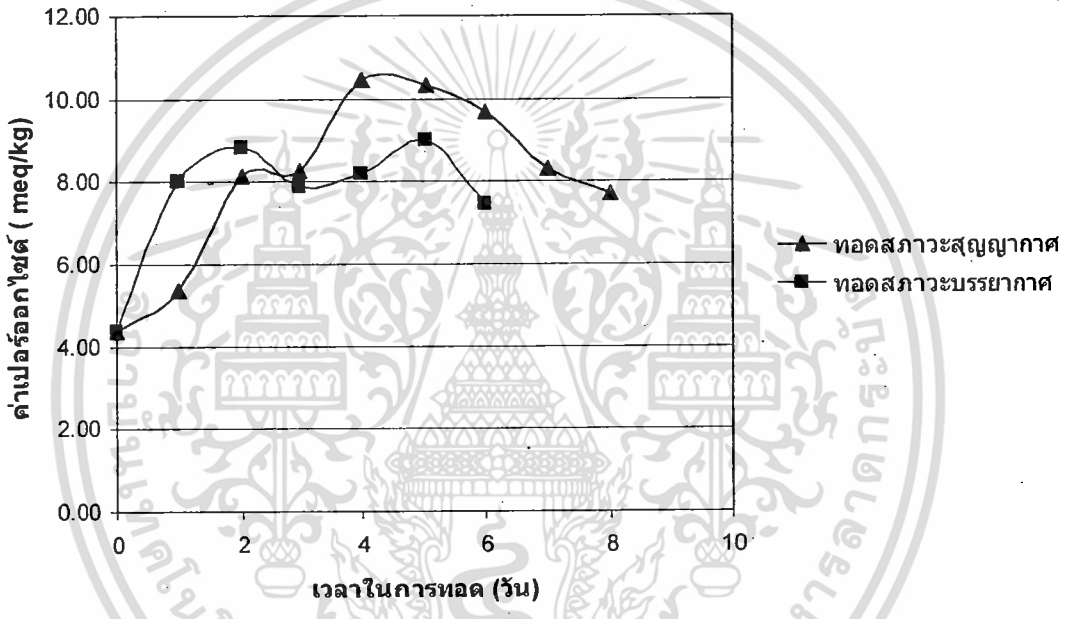
นำน้ำมันใหม่ก่อนทอด (วันที่ 0) มาวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) พบว่า มีค่าเปอร์ออกไซด์ 4.3573 meq/kg เมื่อเริ่มนำน้ำมันมาทำการทอด พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดแบบทอดสุญญากาศและทอดที่สภาวะบรรยากาศมีลักษณะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรก หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในช่วงท้าย (ภาพที่ 4.3) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากน้ำมันเมื่อได้รับความร้อนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ทำให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ระเหยได้และไม่เสถียร (volatile decomposition product- VDP) จะสลายตัวไปเป็นสารที่ให้กลิ่นจำพวก อัลดีไฮด์ (aldehyde) คีโตน (ketone) ลิพอเปอร์ออกไซด์ (lipoperoxide) และอนุมูลอิสระ (free radical) สารประกอบเหล่านี้เป็นผลที่ทำให้น้ำมันและอาหารที่ผ่านการทอดเกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ ดังนั้นในช่วงแรกของการใช้น้ำมันทอดซ้ำค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่หลังจากนั้นเมื่อไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) สลายตัว ทำให้ค่าเปอร์ออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Che Man *et al.* (1999) ที่ทำการทอดมันฝรั่งแผ่น 100 กรัมที่อุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียส เวลา 130 วินาที ทอดซ้ำทุก 30 นาที วันละ 5 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 5 วันติดต่อกัน พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันปาล์มมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 3 และเริ่มลดลงในวันที่4 จนกระทั่งสิ้นสุดการทอด โดยกล่าวว่า การลดลงของค่าเปอร์ออกไซด์ไม่ได้เป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำมันยังมีคุณภาพดี ดังนั้น การดูการเสื่อมเสียทั้งหมดของน้ำมันไม่สามารถวัดโดยใช้วิธีนี้เพียงวิธีเดียว และจากลักษณะการเกิดดังกล่าว ทำให้ไม่สามารถระบุอันดับของปฏิกิริยาได้

การที่ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดที่สภาวะสุญญากาศและทอดที่สภาวะบรรยากาศมีความใกล้เคียงกันและมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก อธิบายได้ว่าอาจเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาที่ใช้พลังงานกระตุ้นต่ำ การทอดโดยการลดความดันยังคงมีออกซิเจนอยู่บ้างซึ่งเพียงพอที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ และปฏิกิริยาเป็นแบบลูกโซ่ที่สามารถจะเกิดขึ้นได้เองแบบต่อเนื่องตลอดเวลา เรียกว่า ออโตออกซิเดชัน (auto oxidation) โดยปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้นจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระของลิปิด (R°) ซึ่งไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดอนุมูลเปอร์ออกซี (peroxy radical, ROO°) และเมื่อทำปฏิกิริยากับลิปิด (RH) เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) ซึ่งไม่เสถียร และเกิดอนุมูลลิปิด ซึ่งสามารถเกิดอย่างต่อเนื่องและสามารถกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้อีกทำให้เกิดอนุมูลเปอร์ออกซี เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และอนุมูลลิปิด ซึ่งทำให้น้ำมันมีจำนวนอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม Fritsch (1981) กล่าวว่า การวัดค่าเปอร์ออกไซด์ไม่เหมาะสมสำหรับการประเมินคุณภาพของน้ำมันทอดซ้ำ โดยที่ Farhoosh and Moosavi (2008) ยังกล่าวว่า เมื่อไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) ไม่เสถียร และสลายตัวไปเป็นสารจำพวก อัลดีไฮด์ (aldehyde) และคีโตน (ketone) ซึ่งประกอบด้วยหมู่คาร์บอนิล (carbonyl groups) ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะเสถียรมากกว่าเปอร์ออกไซด์ ดังนั้น การวัดค่าคาร์บอนิล (carbonyl value) ดูเหมือนว่าจะเป็นดัชนีที่ดีในการดูการเปลี่ยนแปลงของเกิดออกซิเดชันในน้ำมัน



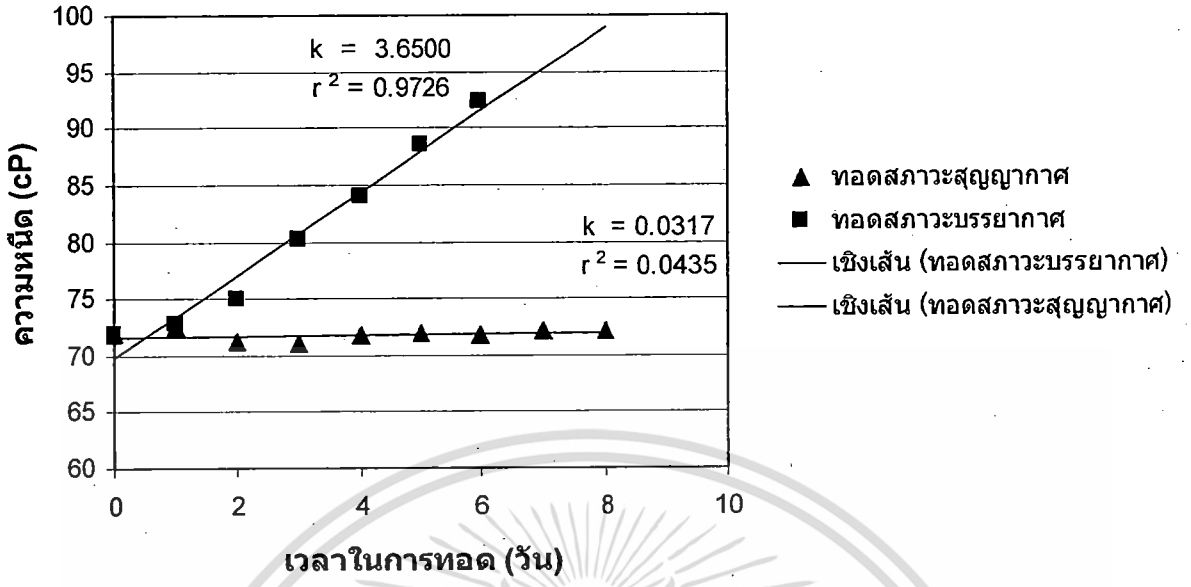
ภาพที่ 4.3 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศทั้งแบบทอดสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ

4.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

4.1.2.1 ค่าความหนืด (viscosity)

นำน้ำมันมาวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer โดยเก็บตัวอย่างน้ำมันที่ทอดครั้งสุดท้ายในแต่ละวัน ได้ผลดังภาพที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



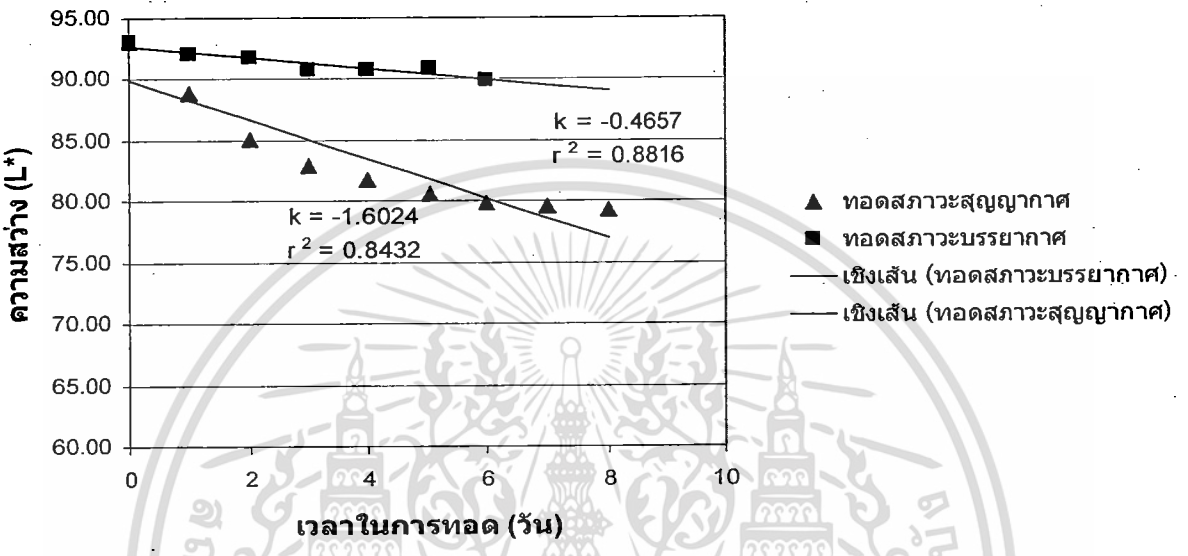
ภาพที่ 4.4 ความหนืดของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ

จากภาพที่ 4.4 พบว่าความหนืดของน้ำมันเริ่มต้นมีค่า 71.88 cP โดยความหนืดของน้ำมันที่ใช้ทอดที่สภาวะสุญญากาศจากวันแรกถึงวันสุดท้าย คือ วันที่ 8 ของการทอด มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยค่าความหนืดอยู่ในช่วง 71.13-72.13 cP เมื่อนำมาหาอัตราการเกิดปฏิกิริยา พบว่า มีค่า r^2 ที่ต่ำ คือ 0.0435 เนื่องจากความหนืดของน้ำมันทอดมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่เหมาะสมในการนำสมการปฏิกิริยามาใช้อธิบาย ด้านความหนืดของน้ำมันที่ใช้ทอดที่สภาวะบรรยากาศจากวันแรกถึงวันที่ 6 ของการทอด มีค่า 72.80 74.95 80.25 84.03 88.65 และ 92.35 ซึ่งความหนืดที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสูงกว่าความหนืดของน้ำมันที่ใช้ในการทอดแบบสุญญากาศ ความหนืดที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันทอดสภาวะบรรยากาศอธิบายได้ด้วยสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ มีค่า r^2 และค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา คือ 0.9726 และ 3.6500 cP ต่อวัน เนื่องจาก เมื่อนำน้ำมันมาให้ความร้อนซ้ำๆ เป็นเวลานาน จะทำให้จำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอร์ไรด์เพิ่มขึ้น เกิดการจับกันของคาร์บอนภายในโมเลกุลของกรดไขมันได้สารประกอบวงแหวน (cyclic compounds) ไดเมอร์ (dimers) ไตรเมอร์ (trimers) อีพอกไซด์ (epoxides) และพอลีเมอร์ (polymers) ทำให้โมเลกุลใหญ่ขึ้น น้ำมันจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Shyu *et al.*, 1998) ทำให้เกิดฟองได้ง่ายขึ้น ซึ่งน้ำมันที่มีความหนืดมากจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงทำให้ต้องใช้เวลาในการทอดนานขึ้น ในขณะที่การทอดแบบสุญญากาศให้ความหนืดค่อนข้างคงที่

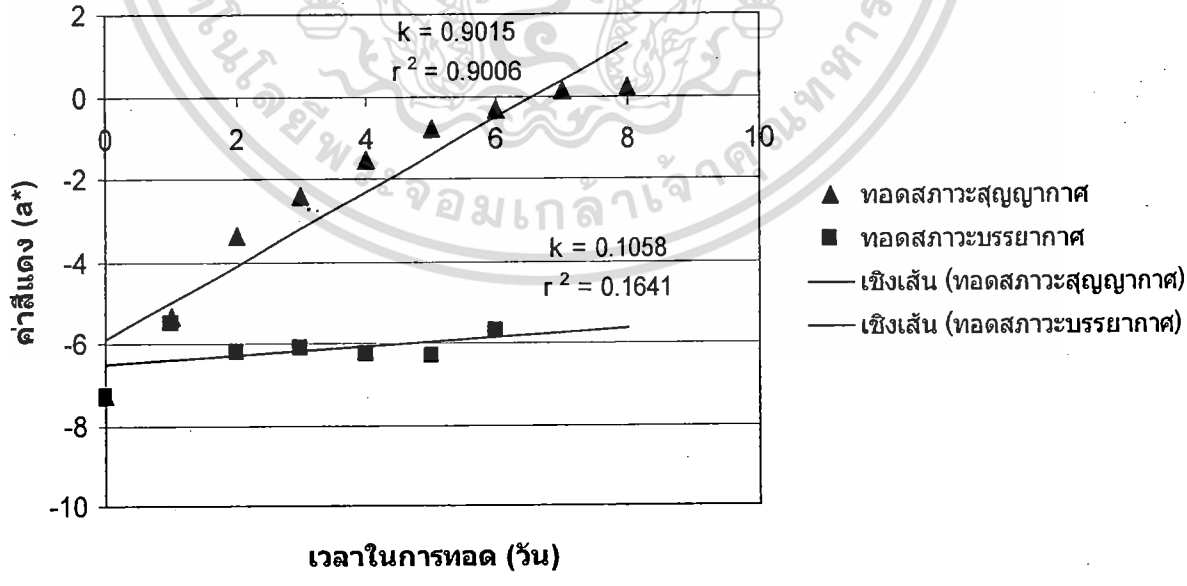
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2 ค่าสี

เมื่อนำน้ำมันที่ใช้ทอดมันเทศทั้งแบบสุญญากาศและแบบสภาวะบรรยากาศไปวัดค่าคุณภาพด้านสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ด้วยระบบ CIE L*C*h ค่าที่ได้ คือ ค่าความสว่าง (L* value) ค่าสีแดง (a* value) ค่าสีเหลือง (b* value) ค่าความเข้มของสี (C* value) และค่ามุมของสี (h value) ได้ผลดังภาพที่ 4.5 ถึง 4.9

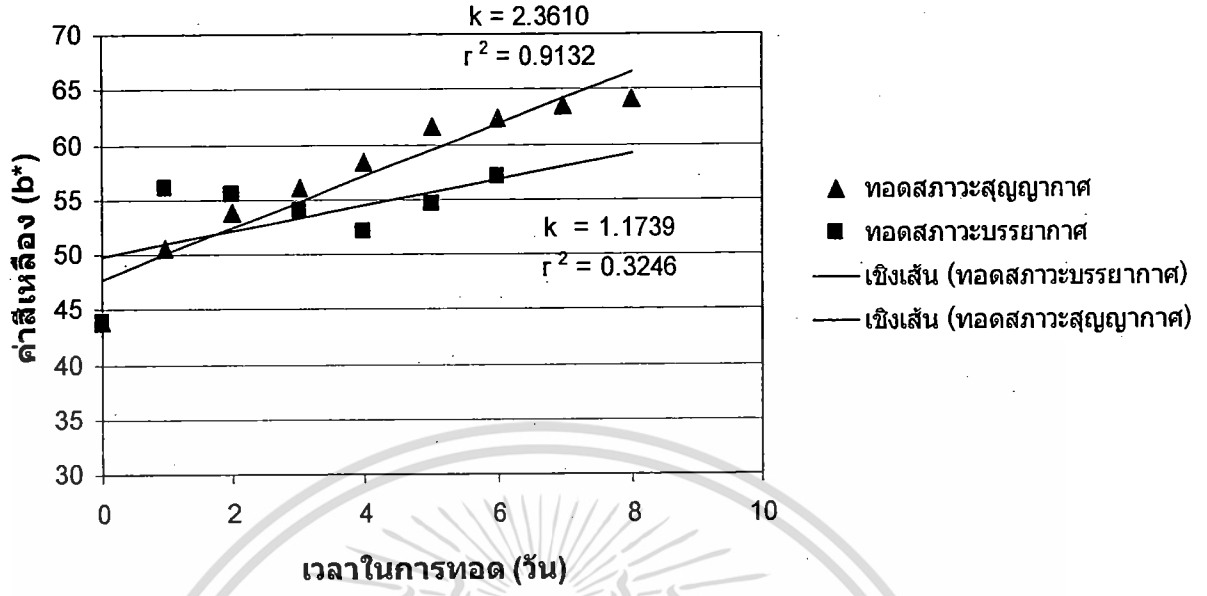


ภาพที่ 4.5 ค่าความสว่าง (L* value) ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ

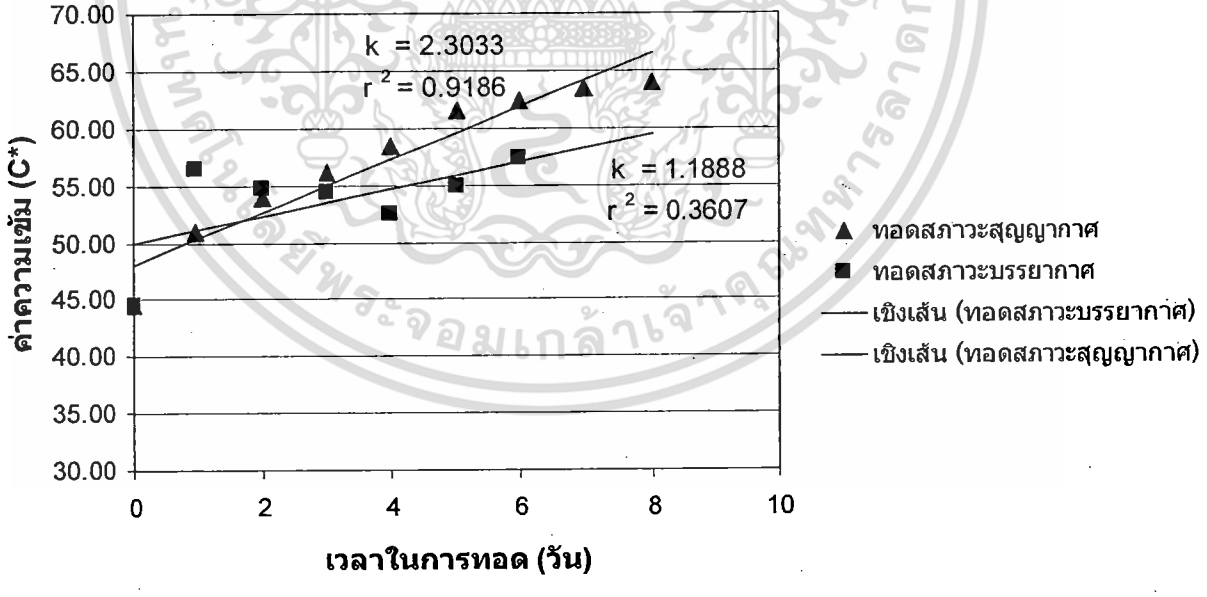


ภาพที่ 4.6 ค่าสีแดง (a* value) ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

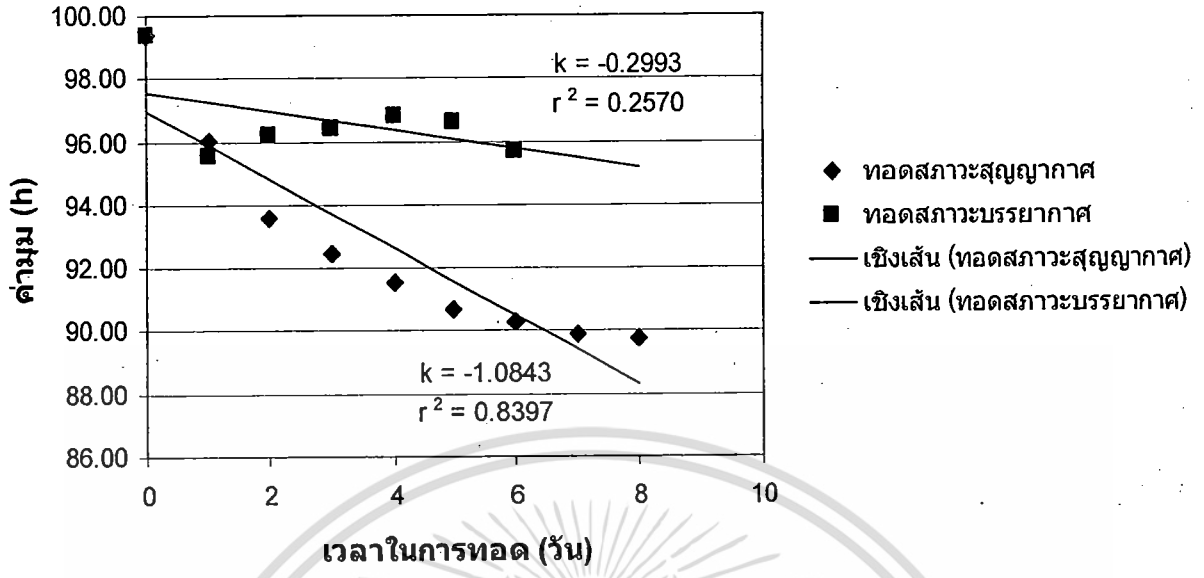


ภาพที่ 4.7 ค่าสีเหลือง (b* value) ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศ และทอดสภาวะบรรยากาศ

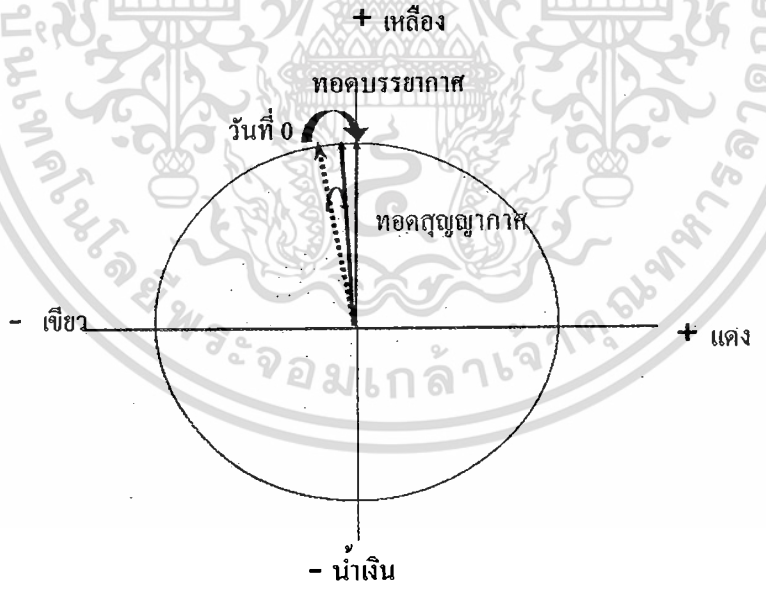


ภาพที่ 4.8 ค่าความเข้มของสี (C* value) ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศ และทอดสภาวะบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 ค่ามุมของสี (h value) ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ



ภาพที่ 4.10 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่ามุมของสี (h value) ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดมันเทศแบบทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.5 พบว่า ค่าความสว่าง (L* value) ของน้ำมันทอดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น หมายถึงน้ำมันมีสีคล้ำขึ้นซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของสารประกอบพอลิเมอร์ (polymer) และการเปลี่ยนแปลงของสีในอาหารที่ผ่านการทอดสามารถละลายในน้ำมันได้ (Melton *et al.*, 1994) โดยพบการลดลงของค่าความสว่างในน้ำมันที่ทอดสภาวะสุญญากาศมากกว่าน้ำมันที่ทอดสภาวะบรรยากาศ ค่าความสว่างของน้ำมันก่อนทอด (วันที่ 0) มีค่า 93.12 ค่าความสว่างของน้ำมันที่ใช้ในการทอดแบบสุญญากาศมีค่าอยู่ในช่วง 88.95 ถึง 79.32 ในขณะที่น้ำมันที่ใช้ในการทอดที่สภาวะบรรยากาศมีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 92.12 ถึง 89.96 การลดลงของค่าความสว่างในน้ำมันทอดที่สภาวะสุญญากาศและสภาวะบรรยากาศอธิบายได้ด้วยสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ มีค่าคงที่อัตราปฏิกิริยาเท่ากับ -1.6024 และ -0.4657 หน่วยต่อวัน ตามลำดับ มีค่า r^2 คือ 0.8432 และ 0.8816

ในด้านค่าสีแดง (a* value) (ภาพที่ 4.6) และค่าสีเหลือง (b* value) (ภาพที่ 4.7) ของน้ำมันที่ใช้ทอดที่สภาวะสุญญากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของน้ำมันทอดที่สภาวะสุญญากาศเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นอธิบายได้ด้วยสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ มีค่า r^2 คือ 0.9006 และ 0.9132 และมีค่าคงที่อัตราปฏิกิริยา เท่ากับ 0.9015 และ 2.361 หน่วยต่อวัน ตามลำดับ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงค่าสีแดง และค่าสีเหลืองในน้ำมันทอดที่สภาวะบรรยากาศมีลักษณะเพิ่มขึ้นในช่วง 2 วันแรก หลังจากนั้นค่อนข้างคงที่ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้สมการปฏิกิริยาในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

Maskan (2003) ทำการทอดมันฝรั่งแผ่นแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 6 นาทีในน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (sunflower seed oil) ทอดต่อเนื่องกันทุก 1 นาที ติดต่อกัน 50 ครั้ง เก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 และทุกๆ 10 ครั้ง นำน้ำมันมาวัดค่าสี (L, a และ b) โดยใช้สมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ในการอธิบาย โดยการลดลงของค่าความสว่าง มีค่าคงที่อัตราปฏิกิริยา 0.0932 หน่วยต่อเวลา มีค่า r เท่ากับ 0.994 ค่าสีแดงแบ่งเป็นช่วงแรกคือ การทอด 30 ครั้งแรก มีค่าคงที่อัตราปฏิกิริยา 0.005 หน่วยต่อเวลา มีค่า r คือ 0.986 และช่วงที่สองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าคงที่อัตราปฏิกิริยา 0.041 หน่วยต่อเวลา มีค่า r คือ 0.996 ส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าสีเหลืองมีค่าคงที่อัตราปฏิกิริยา 0.1965 หน่วยต่อเวลา มีค่า r เท่ากับ 0.996

การลดลงของค่าความสว่าง การเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง และค่าสีเหลือง ในน้ำมันทอดสอดคล้องกับการทดลองของ ณัฐพงษ์ และคณะ (2548) ที่ทำการทอดกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ ซึ่งพบว่าความสว่างของน้ำมันมีค่าลดลง ค่าสีแดง (a* value) และค่าสีเหลือง (b* value) ของน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ด้านค่าความเข้มของสี (C* value) (ภาพที่ 4.8) ของน้ำมันทอดทั้ง 2 สภาวะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยมีลักษณะเช่นเดียวกับค่าสีเหลือง และค่าสีแดง เนื่องจากความเข้มสีคำนวณมาจากค่าสีแดง และค่าสีเหลือง (รากที่สองของ $a^{*2} + b^{*2}$) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ พบว่า สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความเข้มสีของน้ำมันทอดสุญญากาศด้วยสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ มีค่า r^2 คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.9186 และมีค่าคงที่อัตราปฏิกิริยา เท่ากับ 2.3033 หน่วยต่อวัน ในขณะที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของน้ำมันทอดที่สภาวะบรรยากาศมีค่า r^2 ค่อนข้างต่ำ คือ 0.3607 จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้สมการปฏิกิริยาในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

ในขณะที่ค่ามุมของสี (h value) (ภาพที่ 4.9) มีแนวโน้มลดลงของน้ำมันทั้ง 2 สภาวะ ซึ่งถ้ามุมมีค่า เท่ากับ 0 องศา แสดงว่าเป็นสีแดง แต่ถ้ามุม มีค่า เท่ากับ 90 องศา แสดงว่าเป็นสีเหลือง ถ้า 180 องศา คือสีเขียว และ 270 องศา คือเป็นสีน้ำเงิน (ภาพที่ 4.10) ดังนั้นค่ามุมของน้ำมันมีค่าลดลงจาก 99.39 เป็น 89.90 และ 95.72 องศา ในน้ำมันทอดสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ ตามลำดับ แสดงว่าน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองเป็นเข้าใกล้สีแดง เมื่อเวลาในการทอดนานขึ้น ค่ามุมที่ลดลงของน้ำมันทอดสภาวะสุญญากาศอธิบายได้ด้วยสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ มีค่า r^2 และค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา คือ 0.8397 และ -1.0843 หน่วยต่อวัน ส่วนค่ามุมของสีในน้ำมันทอดที่สภาวะบรรยากาศพบว่ามีค่า r^2 ในระดับต่ำ คือ 0.2570 เนื่องจากค่ามุมในช่วงแรกมีการลดลงค่อนข้างมากหลังจากนั้นค่าค่อนข้างคงที่ ทำให้ค่า r^2 ที่ได้จึงมีค่าต่ำ ไม่เหมาะสมในการใช้สมการปฏิกิริยามาอธิบาย

อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันทอดขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันแต่ละชนิดมีองค์ประกอบ และมีรงควัตถุที่แตกต่างกันทำให้มีค่าสีต่างกัน ในน้ำมันปาล์มมีรงควัตถุ คือ แคโรทีนอยด์ (carotenoid) ดังนั้นการทดลองที่ใช้น้ำมันชนิดอื่นอาจมีค่าสีแตกต่างไปจากการทดลองนี้ได้

จากการวิเคราะห์อัตราการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมเสียคุณภาพของน้ำมันในด้านต่างๆ พบว่า การเปลี่ยนแปลงคุณภาพดังกล่าว สามารถอธิบายได้ด้วยสมการอันดับศูนย์ โดยสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา (k) และ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ของค่าคุณภาพด้านต่างๆ ในน้ำมันทอดที่สภาวะสุญญากาศ และสภาวะบรรยากาศ

ค่าคุณภาพ	ทอดสุญญากาศ		ทอดบรรยากาศ	
	k (day^{-1})	r^2	k (day^{-1})	r^2
ปริมาณสารประกอบมีขั้ว	0.7042	0.937	3.1429	0.996
ค่าปริมาณกรด	0.0222	0.9591	0.1579	0.9783
ค่าเปอร์ออกไซด์	NA	NA	NA	NA
ความหนืด	NA	NA	3.6500	0.9726
ความสว่าง	-1.6024	0.8432	-0.4657	0.8816
ค่าสีแดง	0.9015	0.9006	NA	NA
ค่าสีเหลือง	2.3610	0.9132	NA	NA
ค่าความเข้มสี	2.3033	0.9186	NA	NA
ค่ามุมของสี	-1.0843	0.8397	NA	NA

หมายเหตุ: NA หมายถึง ไม่สามารถกำหนดสมการปฏิกิริยาได้

4.1.3 สหสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำมัน

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient : r) แสดงถึง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณภาพต่างๆ โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 ซึ่งถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 หรือ -1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันมากในเชิงบวกหรือเชิงลบ ตามลำดับ จากตารางที่ 4.2 พบว่า ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (total polar compound) ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดสุญญากาศมีความสัมพันธ์กันไปในทางเดียวกับ ปริมาณกรด (acid value) ค่าสีแดง (a* value) ค่าสีเหลือง (b* value) ค่าความเข้มของสี (C* value) และค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) โดยมีค่าความสัมพันธ์ คือ 0.951 0.981 0.985 0.985 และ 0.702 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึง เมื่อปริมาณสารประกอบมีขั้วเพิ่มขึ้น ปริมาณกรด (acid value) ค่าสีแดง (a* value) ค่าสีเหลือง (b* value) ค่าความเข้มของสี (C* value) และค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) จะมีค่ามากขึ้นด้วย ส่วนค่าความสว่าง (L* value) และค่ามุมของสี (h value) มีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับปริมาณสารประกอบมีขั้ว โดยมีค่าความสัมพันธ์ -0.972 และ -0.974 คือ เมื่อปริมาณสารประกอบมีขั้วเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L* value) และค่ามุมของสี (h value) ของน้ำมันทอดจะมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของคุณภาพด้านต่างๆ ของน้ำมันในการทอดที่สภาวะสุญญากาศ

	TPC	Vis	AV	PV	L*	a*	b*	C*	h
TPC	1	0.090	0.951	0.702	-0.972	0.981	0.985	0.985	-0.974
Vis	0.090	1	0.227	-0.325	0.064	-0.002	0.078	0.086	0.043
AV	0.951	0.227	1	0.555	-0.886	0.914	0.923	0.920	-0.879
PV	0.702	-0.325	0.555	1	-0.836	0.799	0.768	0.764	-0.825
L*	-0.972	0.064	-0.886	-0.836	1	-0.996	-0.988	-0.986	0.998
a*	0.981	-0.002	0.914	0.799	-0.996	1	0.995	0.995	-0.994
b*	0.985	0.078	0.920	0.768	-0.988	0.995	1	1.000	-0.990
C*	0.985	0.086	0.923	0.764	-0.986	0.995	1.000	1	-.0988
h	-0.974	0.043	-0.879	-0.825	0.998	-0.994	-0.990	-0.988	1

ตารางที่4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของคุณภาพด้านต่างๆ ของน้ำมันในการทอดที่สภาวะบรรยากาศ

	TPC	Vis	AV	PV	L*	a*	b*	C*	h
TPC	1	0.976	0.980	0.571	-0.944	0.429	0.594	0.623	-0.535
Vis	0.976	1	0.994	0.397	-0.894	0.307	0.455	0.495	-0.391
AV	0.980	0.994	1	0.408	-0.930	0.368	0.504	0.542	-0.455
PV	0.571	0.397	0.408	1	-0.582	0.673	0.845	0.828	-0.820
L*	-0.944	-0.894	-0.930	-0.582	1	-0.566	-0.682	-0.710	0.648
a*	0.429	0.307	0.368	0.673	-0.566	1	0.925	0.938	-0.967
b*	0.594	0.455	0.504	0.845	-0.682	0.925	1	0.996	-0.988
C*	0.623	0.495	0.542	0.828	-0.710	0.938	0.996	1	-.0989
h	-0.535	-0.391	-0.445	-0.820	0.648	-0.967	-0.988	-0.989	1

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดที่สภาวะบรรยากาศ (ตารางที่ 4.3) พบว่า ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (total polar compound) มีความสัมพันธ์กันไปในทางเดียวกับ ปริมาณกรด (acid value) และความหนืด (viscosity) โดยมีค่าความสัมพันธ์ คือ 0.980 และ0.976 แต่มีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับค่าความสว่าง (L* value) ถึง -0.944 คือ เมื่อปริมาณสารประกอบมีขั้วเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณกรด (acid value) และความหนืด (viscosity) สูงขึ้น แต่ทำให้ค่าความสว่าง (L* value) ของน้ำมันมีค่าลดลง นอกจากนี้ ความหนืดของน้ำมันมีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดสูงถึง 0.994 แต่มีความสัมพันธ์กันในทางลบกับค่าความสว่าง -0.894 ในด้านค่าสีแดง (a* value) พบว่า มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าสีเหลือง (b* value) และ ค่าความเข้มของสี (C* value) ค่อนข้างสูง คือ 0.925 และ 0.938 แต่กลับมีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับ ค่ามุมของสี (h value) คือ -0.967

จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าสูง (ใกล้ 1 หรือ -1) แสดงให้เห็นถึงระดับความสัมพันธ์ที่สูงระหว่างดัชนีคุณภาพ 2 ค่า ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการวัดดัชนีคุณภาพค่าหนึ่ง และนำไปประเมินดัชนีคุณภาพอีกค่าหนึ่งได้ โดยเลือกใช้ดัชนีคุณภาพที่สามารถวัดค่าได้ง่ายกว่า ยกตัวอย่างเช่น ในการทอดทั้ง 2 สภาวะในการทดลองนี้ สามารถใช้ค่าปริมาณสารประกอบมีขั้ว ซึ่งใช้เครื่องมือวัดได้สะดวก ในการบอกถึงปริมาณกรดในน้ำมันทอดได้ ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณกรดจะใช้วิธีการไตเตรท ซึ่งมีความยุ่งยากมากกว่า เนื่องจากมีค่าสหสัมพันธ์เป็น 0.951 และ 0.980 ของสภาวะการทอดแบบสุญญากาศและบรรยากาศ ตามลำดับ

4.2 ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์

4.2.1 ปริมาณไขมัน (fat content)

ผลิตภัณฑ์มันเทศทอดที่ได้จากการทอดแบบสุญญากาศจะมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 20.30 - 23.59 (ตารางที่ 4.3) โดยปริมาณไขมันของมันเทศทอดที่ได้ในแต่ละวันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่มันเทศทอดที่ได้จากการทอดที่สภาวะบรรยากาศมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 27.40 – 30.45 ซึ่งปริมาณไขมันในชิ้นมันเทศมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น โดยปริมาณไขมันของมันเทศทอดที่ได้ในวันที่ 6 มีค่าปริมาณไขมันสูงกว่ามันเทศทอดที่ได้ในวันที่ 1-3 อย่างแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันในชิ้นมันเทศทอดให้ผลสอดคล้องกับความหนืดของน้ำมันที่วัดได้ ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากความหนืดของน้ำมันที่เพิ่มมากขึ้นเป็นตัวควบคุมปริมาณของน้ำมันในอาหารทอดทำให้อาหารทอดดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น (Alim and Morton, 1974; McGill, 1980) จะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์มันเทศทอดสุญญากาศมีปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ต่ำกว่ามันเทศทอดที่ทอดในสภาวะบรรยากาศ แสดงว่า การทอดแบบสุญญากาศสามารถลดปริมาณไขมันของผลิตภัณฑ์อาหารทอด (Shyu *et al.*, 1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณไขมันของมันเทศในการทอดสภาวะสุญญากาศและทอดสภาวะบรรยากาศ

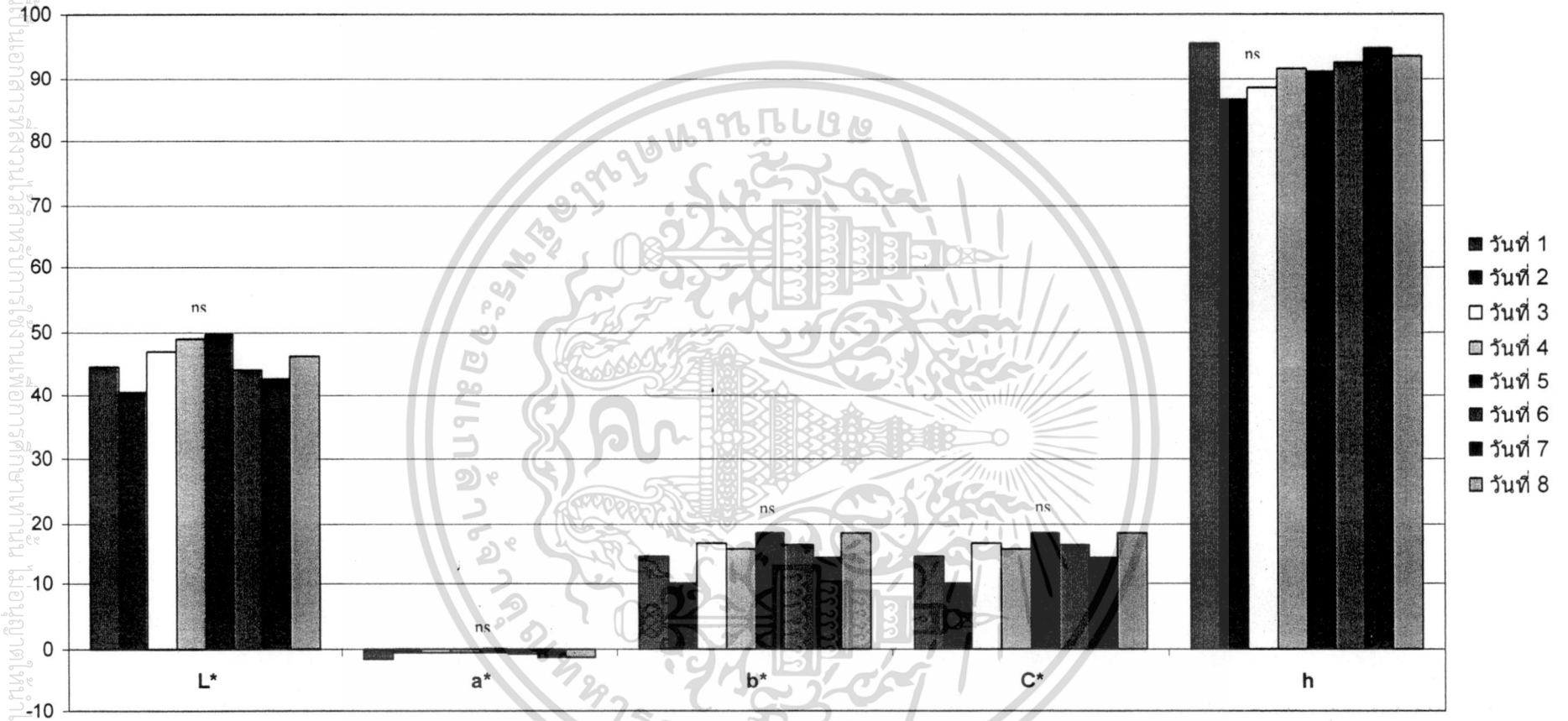
เวลาในการทอด (วัน)	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	
	แบบสุญญากาศ	แบบสภาวะบรรยากาศ
1	20.30 ± 3.97 a	27.67± 1.22 a
2	20.89 ± 3.88 a	27.43 ± 2.53a
3	23.59 ± 1.50 a	27.70 ± 0.91a
4	23.41± 0.38 a	27.94 ± 0.018ab
5	21.46± 0.28 a	29.29 ± 0.99ab
6	21.80± 236 a	30.45 ± 0.16 b
7	21.69± 1.44 a	-
8	22.45± 2.20 a	-

หมายเหตุ : $^{a-b}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

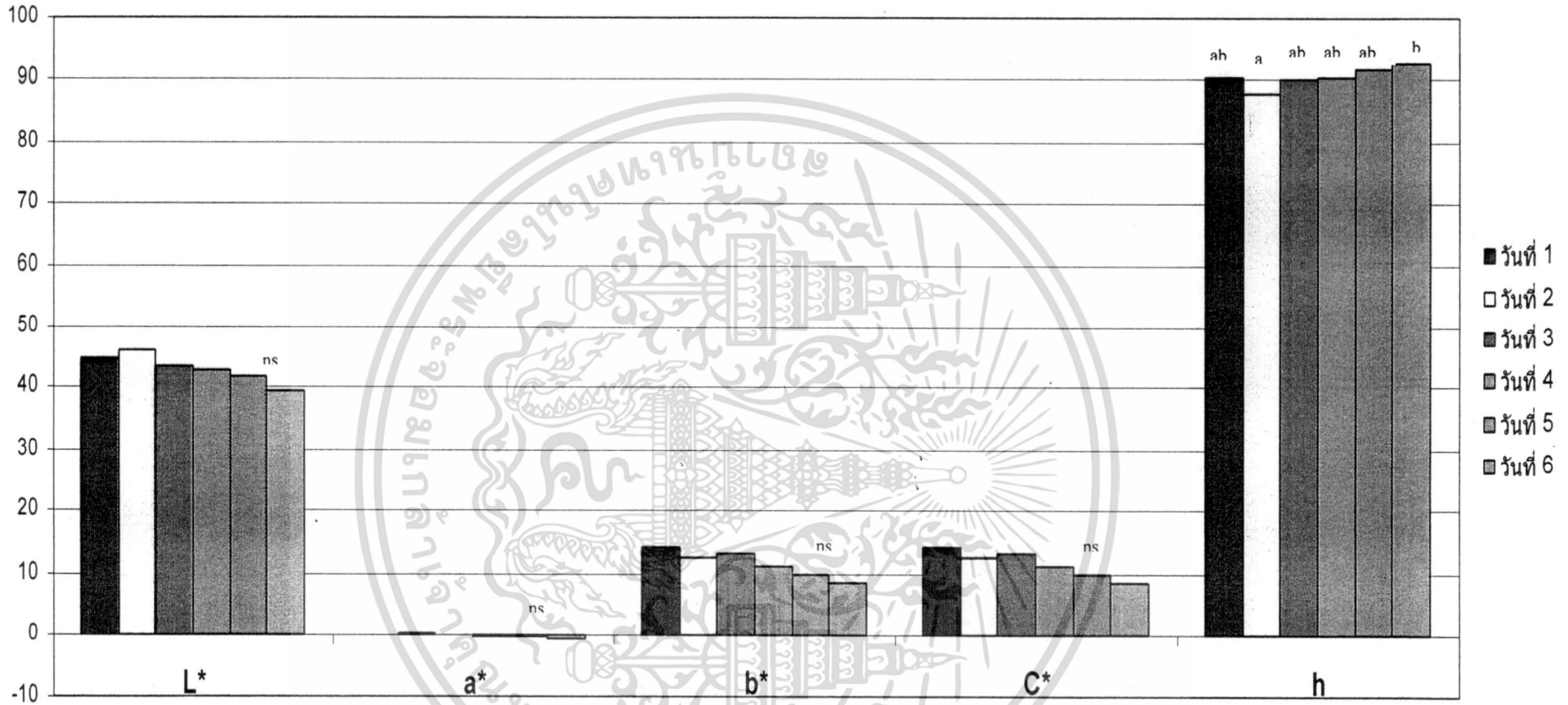
4.2.3 ค่าสีของผลิตภัณฑ์มันเทศทอด

วัดค่าความสว่าง (L* value) ค่าสีแดง (a* value) ค่าสีเหลือง (b* value) ค่าความเข้ม (C* value) และค่ามุมของสี (h value) ของชิ้นมันเทศทอดทั้ง 2 สภาวะ ผลแสดงในภาพที่ 4.11 ถึง 4.12 โดยพบว่า ค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง ค่าความเข้ม และค่ามุมของสีของชิ้นมันเทศทอดทั้ง 2 สภาวะมีค่าใกล้เคียงกัน และค่าที่ได้จากวันแรกถึงวันสุดท้ายของการทอดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยชิ้นมันเทศทอดที่สภาวะสุญญากาศที่ได้จากการทอดทั้ง 8 วัน (ภาพที่ 4.11) มีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 40.42 ถึง 49.75 ค่าสีแดง อยู่ในช่วง -1.50 ถึง -0.34 ค่าสีเหลืองมีค่าในช่วง 10.15 ถึง 18.49 ค่าความเข้ม 10.20 ถึง 18.52 และมีค่ามุมของสีในช่วง 88.57 ถึง 95.70 ด้านค่าสีมันเทศทอดที่สภาวะบรรยากาศที่ได้จากการทอดทั้ง 6 วัน (ภาพที่ 4.12) มีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 39.65 ถึง 46.04 ค่าสีแดง อยู่ในช่วง -0.53 ถึง -0.04 ค่าสีเหลืองมีค่าในช่วง 8.85 ถึง 14.38 ค่าความเข้ม 8.89 ถึง 14.41 และมีค่ามุมของสีในช่วง 87.74 ถึง 92.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 ค่าความสว่าง (L* value) ค่าสีแดง (a* value) ค่าสีเหลือง (b* value) ค่าความเข้ม (C* value) และค่ามุมของสี (h value) ของชิ้นมันเทศที่ได้จากการทอดที่สภาวะสุญญากาศ



ภาพที่ 4.12 ค่าความสว่าง (L* value) ค่าสีแดง (a* value) ค่าสีเหลือง (b* value) ค่าความเข้ม (C* value) และค่ามุมของสี (h value) ของชิ้นมันเทศที่ได้จากการทอดที่สภาวะบรรยากาศ

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของน้ำมันปาล์ม และผลิตภัณฑ์มันเทศแผ่น ที่ได้จากการทอดอย่างต่อเนื่องทุกชั่วโมง ทอด 8 ครั้งต่อวัน เป็นระยะเวลา 6 วันติดต่อกัน สำหรับการทอดที่สภาวะบรรยากาศ และเป็นระยะเวลา 8วันติดต่อกัน สำหรับการทอดที่สภาวะสุญญากาศ สรุปได้ดังนี้

1. อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันทอดที่สภาวะบรรยากาศมีค่าสูงกว่าน้ำมันที่ใช้ในการทอดที่สภาวะสุญญากาศ โดยปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันที่ใช้ทอดที่สภาวะบรรยากาศในวันที่ 6 มีค่าร้อยละ 25.25 ซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 283 ซึ่งประกาศว่าไม่ให้น้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารมีค่าสารประกอบมีขั้วเกินร้อยละ25 (กระทรวงสาธารณสุข, 2547) ในขณะที่น้ำมันทอดที่สภาวะสุญญากาศมีปริมาณสาร ประกอบมีขั้วร้อยละ 12.75 ในวันที่ 8 ของการทอด

2. ค่าปริมาณกรด (acid value) ในน้ำมันทอดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนครั้งในการทอดเพิ่มขึ้น โดยค่าปริมาณกรดของการทอดที่สภาวะบรรยากาศมีค่าสูงกว่าค่าปริมาณกรดของการทอดที่สภาวะสุญญากาศ ซึ่งค่าปริมาณกรดที่เกิดขึ้นจะบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในน้ำมันซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไอน้ำและไตรกลีเซอไรด์ในอาหาร

3. ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดที่สภาวะสุญญากาศและทอดที่สภาวะบรรยากาศมีลักษณะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรก หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในช่วงท้าย โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าที่ใกล้เคียงกัน

4. ความหนืดของน้ำมันที่ใช้ทอดที่สภาวะสุญญากาศมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ ในทางกลับกันความหนืดของน้ำมันที่ใช้ทอดที่สภาวะบรรยากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

5. ค่าสีของน้ำมันทอด พบว่า ค่าความสว่าง (L* value) ของน้ำมันทอดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น โดยพบการลดลงของค่าความสว่างในน้ำมันทอดที่สภาวะสุญญากาศมากกว่าน้ำมันทอดที่สภาวะบรรยากาศ ในด้านค่าสีแดง (a* value) ค่าสีเหลือง (b* value) และค่าความเข้มของสี (C* value) ของน้ำมันที่ใช้ทอดทั้ง 2 สภาวะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่ามุมของสี (h value) ซึ่งอยู่ในช่วงของสีเหลืองมีแนวโน้มลดลงของน้ำมันทอดทั้ง 2 สภาวะ

6. สมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ สามารถอธิบายอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบมีขั้ว ซึ่งมีค่าค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา เท่ากับ 0.7042 และ 3.1429 ร้อยละปริมาณสารประกอบมีขั้วต่อวันในน้ำมันทอดที่สภาวะสุญญากาศ และที่สภาวะบรรยากาศ ตามลำดับ โดยมีค่า r^2 ของน้ำมันทอดที่สภาวะสุญญากาศ และที่สภาวะบรรยากาศ เท่ากับ 0.937 และ 0.996 ตามลำดับ อธิบายการเกิดปริมาณกรด มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

r^2 และค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยาของน้ำมันทอดที่สภาวะสุญญากาศ คือ 0.9591 และ 0.0222 mg KOH/g ต่อวัน ที่สภาวะบรรยากาศ เท่ากับ 0.9783 และ 0.1579 mg KOH/g ต่อวัน ความหนืดที่เพิ่มขึ้นของน้ำมันทอดสภาวะบรรยากาศ มีค่า r^2 และค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา คือ 0.9726 และ 3.65 cP ต่อวัน ในด้านค่าสี น้ำมันทอดที่สภาวะสุญญากาศอธิบายได้ด้วยสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ โดยมีค่าคงที่อัตราปฏิกิริยาของค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง ค่าความเข้ม และค่ามุมของสี คือ -1.6024 0.9015 2.361 2.3033 และ -1.0843 หน่วยต่อวัน ตามลำดับ โดยมีค่า r^2 คือ 0.8432 0.9006 0.9132 0.9186 และ 0.8397 ในขณะที่ความสว่างของน้ำมันทอดที่สภาวะบรรยากาศอธิบายได้ด้วยสมการปฏิกิริยาอันดับศูนย์ โดยมีค่าคงที่อัตราปฏิกิริยา -0.4657 หน่วยต่อวัน มีค่า r^2 คือ 0.8816 ส่วนค่าสีแดง สีเหลือง ค่าความเข้มและค่ามุมของสี มีลักษณะไม่คงที่ แนวโน้มไม่ชัดเจน จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้สมการปฏิกิริยาในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

7. สหสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำมัน พบว่า ปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันที่ใช้ในการทอดที่สุญญากาศมีความสัมพันธ์กันไปในทางเดียวกับ ปริมาณกรด ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง ค่าความเข้มของสี และค่าเปอร์ออกไซด์ ส่วนค่าความสว่าง และค่ามุมของสีมีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับปริมาณสารประกอบมีขั้ว ความสัมพันธ์ปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันที่ใช้ในการทอดที่สภาวะบรรยากาศมีความสัมพันธ์กันไปในทางเดียวกับ ปริมาณกรด และความหนืด แต่มีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับค่าความสว่าง นอกจากนี้ ความหนืดของน้ำมันมีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดสูงถึง 0.994 แต่มีความสัมพันธ์กันในทางลบกับค่าความสว่าง ในด้านค่าสีแดง มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าสีเหลือง และ ค่าความเข้มของสี แต่กลับมีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับค่ามุมของสี

8. ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์มันเทศทอดที่ได้จากการทอดแบบสุญญากาศจะมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 20.30 - 23.59 โดยปริมาณไขมันของมันเทศทอดที่ได้ในแต่ละวันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่มันเทศแผ่นทอดที่ได้จากการทอดที่สภาวะบรรยากาศมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 27.40 – 30.45 และปริมาณไขมันของมันเทศทอดที่ได้ในวันที่ 6 มีค่าปริมาณไขมันสูงกว่ามันเทศทอดที่ได้ในวันที่ 1-3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

9. ค่าสีของผลิตภัณฑ์มันเทศแผ่นทอด พบว่า ค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลือง ค่าความเข้ม และค่ามุมของสีของชิ้นมันเทศทอดทั้ง 2 สภาวะมีค่าใกล้เคียงกัน และค่าที่ได้จากวันแรกถึงวันสุดท้ายของการทอดมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กระทรวงสาธารณสุข. 2547. **ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 283 เรื่องกำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย.** http://www.fda.moph.go.th/fda-net/html/ product/food/ntfmoph/ntf283.pdf. เข้าถึง 10 สิงหาคม 2551.

จงกลนี วิทยารุ่งเรืองศรี และกนกวรรณ เศรษฐพงศ์วนิช. 2549. **ภัย...น้ำมันทอดซ้ำ.** ศูนย์ปฏิบัติการความปลอดภัยด้านอาหารกระทรวงสาธารณสุข.www.fda.moph.go.th/.../foodbackhome/news/2-2-49%20ภัยน้ำมันทอดซ้ำ.doc. เข้าถึง 10 ตุลาคม 2550.

ณัฐพงษ์ มณีพันธุ์ สุขุมาภรณ์ จั่นทอง และเชาว์ อินทร์ประสิทธิ์. 2549. **การทดสอบคุณภาพน้ำมันที่ใช้ในการทอดกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ.** ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

นิรนาม. 2551. **น้ำมันทอดซ้ำ คนกินป่วยเรื้อรัง คนปรุงดมไอน้ำมันมะเร็งปอดเล่นงาน.** http://www.zone-it.com/f/topic:47741.0. เข้าถึง 30 สิงหาคม 2551.

ปฐมวงศ์ เตชะพัฒนา สาลิกา มัฉการ และ ราม แย้มแสงสังข์. 2549. **การศึกษาการทอดปลากะตักโดยเครื่องทอดสุญญากาศ.** ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

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

ราม แย้มแสงสังข์ และ ถาวร อริยภูชัย. 2548. แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผักและผลไม้ที่ผ่านการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ. **ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 4,** 8-9 ธันวาคม 2548.

ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชกำแหง. 2530. **เคมีอาหารเบื้องต้น.** พิมพ์ครั้งที่ 1. โอ เอส พริ้นติ้ง เฮาส์. กรุงเทพฯ.

สุคนธ์ ศรีรัง และอรทัย พุมดวง. 2549. **การทอดอาหารทะเลของบริษัททริปเปิ้ล บี มารีนโปรดัคท์โดยระบบสุญญากาศ.** ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ. 2540. **การประเมินอายุการเก็บของอาหาร.** ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 169 น.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2544. **การทดลองวิศวกรรมกระบวนการของอาหาร.** คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 158 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วารุณี สุวรรณจงสถิต. 2546. **การปรับปรุงกรรมวิธีการทอดและอายุการเก็บรักษาของปลาสลิดเค็มทอดกรอบ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2535. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค.** มอก. 288-2535.

อนุวัตร แจ้งชัด ไพศาล วุฒิจำนงค์ กิตติวีร์ เสรีกุล และ ฉัตรลดา กู้สุจริต. 2550. การพัฒนามันเทศทอดกรอบสุญญากาศ. **ในประชุมวิชาการครั้งที่ 45 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**, 30-2 กุมภาพันธ์ 2550: 697– 704.

Alim, H. and Morton, I.D. 1974. "Deep fat frying oil and absorption by a fried product." **J. Sci. Food Agric.**, 25: 1041.

A.O.A.C. 1995. **Official methods of analysis. 16th ed.** The Association of Official Analytical Chemists, Virginia. 1588p.

Birch, G.G., Green, L.F. and Coulson, C.B. 1970. **Glucose syrup and relate carbohydrate.** Elsevier, New York.

Bouchon, P., Hollins, P., Pearson, M., Pyle, D.L. and Tobin, M.J. 2001. "Oil distribution in fried potatoes monitored by infrared microspectroscopy ." **J Food Sci.** 66(7): 918–923.

Braner, A. L. 1975. "Toxicology and biochemistry of BHA and BHT." **J Am Oil Chem Soc.** 52: 59-63.

Che Man, Y.B., Liu, J.L., Jamilah, B. and Rahman, R.A. 1999. "Quality changes of refined-bleached-deodorized (RBD) palm olein, soybean oil and their blends during deep-fat frying." **J Food Lipids.**6:181.

Chung, J., Lee, J. and Choe, E. 2004. "Oxidative stability of soybean and sesame oil mixture during frying of flour dough." **J Food Sci.** 69:574–8.

Fan, L.P., Zhang, M., Xiao, G., Sun, J. and Tao, Q. 2005. "The optimization of vacuum frying to dehydrate carrot chips." **Intl J Food Sci and Technol**, 40 : 911–919.

Farhoosh, R. and Moosavi, S.M.R. 2008. "Carbonyl value in monitoring of the quality of used frying oils." **Anal Chim Act.** 617: 18-21.

Fellow, P.J. 1990. **Food processing technology principle and practice.** Ellis Horwood Limited. 505 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frankel, E.N. and Huang, S.W. 1996. "Evaluation of antioxidant activity of rosemary extracts, carnosol and carnosic acid in bulk vegetable oils and fish oil and their emulsion." **J Sci Food and Agric.** 72: 201-208.

Fritsch, C.W. 1981. "Measurement of frying fat deterioration." Brief review. **J Am Oil Chem Soc.** 58:272-274.

Garayo, J. and Moreira, R. 2002. "Vacuum frying of potato chips." **J Food Eng.** 55 : 181-191.

Gil, B., Cho, Y.J. and Yoon, S.H. 2004. "Rapid determination of polar compounds in frying fats and oils using image analysis." **Lebensm –Wiss. u.- Technol.** 37 :657-661.

Goburdhun, D., Seebun, P. and Ruggoo, A. 2000. "Effect of deep-fat frying of potato chips and chicken on the quality of soybean oil." **J Con Stud Home Econ.** 24: 223-233.

Hein, M., Henning, H. and Isengard, H.D. 1998. "Determination of total polar parts with new methods for the quality survey of frying fats and oils." **Talanta**.47: 447-454.

Houhoula, D.P., Oreopoulou, V. and Tzia, C., 2002. "A kinetic study of oil deterioration during frying and a comparison with heating." **J Am Oil Chem Soc.** 79(2): 133-137.

Hui, Y.H. 1996. **Bailey 's industrial oil and fat products Vol. 2, Edible oil and fat products oil and oil seed.** 5th ed. A Wiley interscience publication. 708 p.

Innawong, B., Mallikarjunan, P. and Marcy, J.E. 2004. "The determination of frying oil quality using a chemosensory system." **Lebensm-Wiss. u.-Technol.** 37 : 35-41.

Kochhar, S.P. 2001. The composition of frying oils ,pp 87-114. In J.B. Rossell. (eds.) **Frying improving quality**. Woodhead publishing limited Cambridge England. 369p.

Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B. and Marinos–Kouris, D. 2001. "Color change during deep fat frying." **J Food Eng.** 48: 219 – 225.

Lea, C.H. 1962. "Method or determination peroxide in lipids." **J Sci Food Agric.** 3: 586-594.

Lin, S., Akoh, C.C. and Reynolds, A.E. 2001. "Recovery of used frying oils with absorbent combinations: refrying and frequent oil replenishment." **Food Res Int.**34: 159-166.

Lomanno, S.S. and Nawar, W.W. 1982. "Effect of heating temperature and time on the volatile oxidative decomposition of linolenate." **J Food Sci.** 47:744.

Maskan, M. 2003. "Change in colour and rheological behaviour of sunflower seed oil during frying and after adsorbent treatment of used oil." **Eur Food Res Technol.** 218: 20-25.

McGill, E. A. 1980. "The chemistry of frying." **Bakers Digest.** 6(62): 38-42.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Moreira, R.G., Sun, X. and Chen, Y. 1997. "Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep fat frying." **J Food Eng.** 31: 485-498.

Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E. and Barrufet, M. 1999. In **Deep fat frying.** MD: Aspen Publishers.

Nawar, W.W. 1969. "Thermal degradatipon of lipids." A review. **J Agric Food Chem.** 17:18-21.

O' Brien, R. 1993. "Foodservice use of fat and oils." **Inform.** 4(8): 913-921.

Oka, H. and Ueoka, Y. 1981. "Studies on manufacturing conditions of drying food by frying under reduced pressure." **Nippon Shokukin Kogyo Gakkaishi.** 28 (2): 32-36.

Paul, S. and Mittal, G.S. 1996. "Dynamics of fat/oil degradation during frying based on physical properties." **J Food Eng**. 35: 1-22.

Perkins, E.G. and Erickson, M.D. 1996. **Deep frying: chemistry, nutrition and practical applications.** AOCS Press, Illinois. 357p.

Razali, I. and Badri, M. 2003. "Oil absorption, polymer and polar compounds formation during deep-frying of french fries in vegetable oils." **Palm oil development**. 38: 11-15.

Saguy, S.I. and Pinthus, J.E. 1995. "Oil uptake during deep fat frying: factors and mechanisms." **J Food Tech.** 49 (4): 142-145.

Shyu, S.L., Hau, L.B. and Hwang, L.S. 1998. "Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils." **J Am Oil Chem Soc.** 75 : 1393-1398.

Shyu, S.L. and Hwang, L. S. 2001. "Effect of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips." **Food Res Int.** 34 : 133-142.

Stauffer, C.E. 1996. **Fats and oils.** The American Association of Cereal Chemists, USA. 149p.

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

Tseng, Y.L., Moreira, R. and Sun, X. 1996. "Total frying-use time effects on soybean-oil deterioration and on tortilla chip quality." **Intl J Food Sci Technol**. 31: 287-294.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ก1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (A.O.A.C., 1995)

1.1 สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์

1.2 วิธีการวิเคราะห์

1.2.1 ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้วให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1-2 กรัม โดยใช้กระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักรองรับ ห่อตัวอย่างให้มิดชิดด้วยกระดาษกรองแล้วใส่ลงในทิมเบิล ใส่ทิมเบิลลงในช่องกลั่นของเครื่อง Soxhlet

1.2.2 ชั่งน้ำหนักฟลาส์กชนิดกลมก้นแบน ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่อบแห้งสนิทแล้ว ใส่ปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในฟลาส์กประมาณ 150 มิลลิลิตร ประกอบเครื่อง Soxhlet เข้าด้วยกันให้ความร้อนทำการสกัดไขมันจากตัวอย่างนานประมาณ 15 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของตัวทำละลายกลั่นจากคอนเดนเซอร์ มีอัตรา 150 หยดต่อนาที เมื่อสกัดได้ตามเวลาที่กำหนดแล้วกลั่นปิโตรเลียมอีเธอร์เพื่อเก็บไว้ใช้ต่อไป

1.2.3 นำฟลาส์กก้นกลมซึ่งมีไขมันหรือน้ำมันที่สกัดได้ ไประเหยตัวทำละลายออกเกือบหมดแล้วนำไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ชั่งน้ำหนัก ทำการอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที และชั่งจนได้น้ำหนักคงที่ หลังจากทำให้เย็นในเดสิกเคเตอร์ คำนวณปริมาณไขมันร้อยละไขมันในตัวอย่างอาหารจากการคำนวณน้ำหนักจากขวดแก้วก้นกลมที่เพิ่มขึ้น

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{100\,(W_1 - W_2)}{W}$$

โดยที่ W = น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง เป็นกรัม

W_1 = น้ำหนักขวดก้นกลมและน้ำมันหลังอบแห้งจนน้ำหนักคงที่เป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักขวดก้นกลมที่อบแห้งจนน้ำหนักคงที่เป็นกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก2. วิธีการวิเคราะห์หาค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value; P.V.) (A.O.A.C., 1995)

2.1 สารเคมี

2.1.1 สารละลายผสมของกรดอะซิติกกับคลอโรฟอร์มอัตราส่วน 3:2

2.1.2 สารละลายอิ่มตัวของโพแทสเซียมไอโอไดด์ เตรียมโดยละลาย KI ที่มากเกินพอในน้ำเดือดแล้วเก็บในที่มืด (เตรียมก่อนใช้)

2.1.3 สารละลายน้ำแป้งเข้มข้นร้อยละ 1 (เตรียมก่อนใช้)

2.1.4 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 N (เตรียมก่อนใช้)

2.2 วิธีการวิเคราะห์

2.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5.00 ± 0.05 กรัม ลงในฟลาสก์ 250 มิลลิลิตร

2.2.2 เติมสารละลายผสมของกรดอะซิติกกับคลอโรฟอร์มจำนวน 30 มิลลิลิตร เขย่า

2.2.3 เติมสารละลายอิ่มตัวโพแทสเซียมไอโอไดด์จำนวน 0.5 มิลลิลิตร เขย่านาน 1 นาที แล้วเติมน้ำกลั่นจำนวน 30 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายน้ำแป้งร้อยละ 1 จำนวน 0.5 มิลลิลิตร

2.2.4 ไตเตรทอย่างช้าๆ ด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.1 N จนสีน้ำเงินหายไป (จุดยุติ)

การคำนวณ

$$\text{P.V. (mequiv.Peroxide/kg. sample)} = \frac{S \times N \times 1000}{W}$$

โดยที่ S = ปริมาณสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง – blank (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ (นอร์มัล, N)

W = น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก3. การวิเคราะห์หาค่า Acid Value (AV) (A.O.A.C., 1995)

3.1 สารเคมี

3.1.1 ไดเอธิลอีเธอร์ และเอธิลแอลกอฮอล์

3.1.2 ฟีนอฟทาลีนเข้มข้นร้อยละ 1

3.1.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N

3.2 วิธีวิเคราะห์

3.2.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ทราบค่าที่แน่นอน (ประมาณ 2-5 กรัม)ใส่ฟลาสก์

3.2.2 เตรียมตัวทำละลายผสมโดยใช้ ไดเอธิลอีเธอร์ 25 มิลลิลิตร ผสมกับเอธิลแอลกอฮอล์ 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายฟีนอฟทาลีนเข้มข้นร้อยละ 1 ลงไป 1 มิลลิลิตร

3.2.3 ค่อยไตเตรทสารละลายผสมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N (ประมาณ 2-3 หยด) จนเป็นสีชมพูอ่อน

3.2.4 เทสารละลายผสมที่มีสีชมพูอ่อนลงไปในตัวอย่างน้ำมันที่เตรียมไว้เพื่อปรับให้เป็นกลาง

3.2.5 ปรับปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในบิวเรตต์ใหม่ก่อนที่จะไตเตรท หลังจากนั้นไตเตรทต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N จนได้สารละลายสีชมพูที่คงตัวนาน 15 วินาที (จุดยุติ) จดปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

การคำนวณ

$$\text{acid value} = \frac{(V \times N \times 56.1)}{W}$$

โดยที่ V = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล, N)

W = น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4. วิธีวิเคราะห์ความหนืด

4.1 อุปกรณ์

4.1.1 Brookfield viscometer รุ่น DV III

4.1.2 ชุด small sample adapter

4.1.3 หัววัดเบอร์ SC4-18

4.1.4 chamber SC4-13R

4.2 วิธีวิเคราะห์

4.2.1 เช็คระดับลูกน้ำ ปรับระดับลูกน้ำให้อยู่ตรงกึ่งกลางของกรอบและเปิด power switch ด้านหลังตัวฐานเครื่อง

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

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

4.2.4 ใส่หัววัดเบอร์ SC4-18 และจุ่มหัววัดในตัวอย่าง

4.2.5 กด select spindle เพื่อเลือกหัววัด คือ 18 และกด select spindle อีกครั้งเพื่อตอบตกลง

4.2.6 ใส่ตัวเลขความเร็วรอบ (rpm) โดยเลือกความเร็วรอบที่ให้ค่าทอร์ก (torque) เข้าใกล้ 100 หลังจากนั้น อ่านค่าความหนืดของตัวอย่างเป็นเซนติพอยส์ (cP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. 5 วิธีวัดสีผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น CM 3500d

การวัดค่าสีใช้เครื่องวัดสี Spectrophotometer รุ่น CM 3500d ใช้ช่องวัดแสง (Targer mask) ขนาด 10 มิลลิเมตร โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} ผู้สังเกตการณ์มาตรฐานที่ (Standard observer) 10 องศา รายงานผลในระบบ CIE L*C*h โดย

L* หมายถึง ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว)

a* หมายถึง ความเป็นสีแดง (ถ้าค่าเป็น +) / ความเป็นสีเขียว (ถ้าค่าเป็น -)

b* หมายถึง ความเป็นสีเหลือง (ถ้าค่าเป็น +) / ความเป็นสีน้ำเงิน (ถ้าค่าเป็น -)

C* หมายถึง ความเข้มของสี (Chroma)

h หมายถึง ค่ามุมของสี (Hue angle) โดย 0^0 = สีแดง 90^0 = สีเหลือง 180^0 = สีเขียว และ 270^0 = สีน้ำเงิน

การคำนวณ

ค่า C* และ h คำนวณได้ดังนี้

$$C^* = (a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$$

$$h = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

วิธีการ

Standardize เครื่องด้วย Dark standard และแผ่น White standard ตามลำดับ เมื่อ Standardize เสร็จสมบูรณ์แล้ว จึงวัดสีของผลิตภัณฑ์โดยจะวัดทั้งหมดชิ้นละ 5 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข1 ปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันที่ใช้ในการทอดที่สภาวะสุญญากาศและการทอดที่สภาวะบรรยากาศ

เวลาในการทอด (วัน)	ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (ร้อยละ)	
	สภาวะสุญญากาศ	สภาวะบรรยากาศ
0	6.25 ± 1.06 a	6.25 ± 1.06 a
1	8.25 ± 0.35 b	10.25 ± 0.35 b
2	9.00 ± 0.71 bc	13.50 ± 0.71 c
3	10.00 ± 0.71 cd	16.25 ± 0.35 d
4	10.50 ± 0.71 cde	20.00 ± 0.00 e
5	10.75 ± 0.35 de	22.50 ± 0.71 f
6	11.50 ± 0.00 def	25.25 ± 0.35 g
7	11.75 ± 1.06 ef	-
8	12.75 ± 1.06 f	-

หมายเหตุ : $^{a-g}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข2 ความหนืดของน้ำมันที่ใช้ในการทอดที่สภาวะสุญญากาศและการทอดที่สภาวะบรรยากาศ

เวลาในการทอด (วัน)	ความหนืด (cP)	
	สภาวะสุญญากาศ ^{ns}	สภาวะบรรยากาศ
0	71.88 ± 18.28	71.88 ± 18.28 a
1	72.40 ± 18.17	72.80 ± 16.40 a
2	71.20 ± 17.82	74.95 ± 18.17 a
3	71.13 ± 17.08	80.25 ± 19.87 ab
4	71.70 ± 16.12	84.03 ± 21.96 bc
5	71.90 ± 16.69	88.65 ± 24.54 bc
6	71.75 ± 17.18	92.35 ± 25.67 c
7	72.08 ± 16.72	-
8	72.13 ± 16.51	-

หมายเหตุ : $^{a-c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข3 ปริมาณกรดของน้ำมันที่ใช้ในการทอดที่สภาวะสุญญากาศและการทอดที่สภาวะบรรยากาศ

เวลาในการทอด (วัน)	ปริมาณกรด (mg KOH/g)	
	สภาวะสุญญากาศ	สภาวะบรรยากาศ
0	0.28 ± 0.03 a	0.28 ± 0.03 a
1	0.30 + 0.08 a	0.36 ± 0.09 a
2	0.29 ± 0.08 a	0.46 ± 0.07 a
3	0.36 ± 0.03 ab	0.70 ± 0.16 b
4	0.36 ± 0.05 ab	0.83 ± 0.03 bc
5	0.38 ± 0.08 bc	0.96 ± 0.12 c
6	0.40 ± 0.06 bc	1.23 ± 0.12 d
7	0.42 ± 0.03 bc	-
8	0.46 ± 0.01 c	-

หมายเหตุ : $^{a-d}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข4 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ใช้ในการทอดที่สภาวะสุญญากาศและการทอดที่สภาวะบรรยากาศ

เวลาในการทอด (วัน)	ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq/kg)	
	สภาวะสุญญากาศ	สภาวะสุญญากาศ
0	4.36 ± 0.07 a	4.36 ± 0.07 a
1	5.34 ± 0.05 ab	8.02 ± 0.37 b
2	8.15 ± 1.34 bc	8.83 ± 1.43 b
3	8.27 ± 2.47 bc	7.90 ± 2.49 b
4	10.48 ± 0.01 bc	8.19 ± 1.66 b
5	10.32 ± 0.88 bc	8.98 ± 0.00 b
6	9.66 ± 2.81 c	7.48 ± 3.11 b
7	8.33 ± 1.90 c	-
8	7.71 ± 1.92 c	-

หมายเหตุ : $^{a-c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข5 ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) ค่าความเข้ม (C*) และค่ามุมของสี (h) ของมันเทศทอดที่ได้จากการทอดที่สภาวะสุญญากาศและการทอดที่สภาวะบรรยากาศ

เวลาในการทอด (วัน)	ความสว่าง (L*)		ค่าสีแดง (a*)		ค่าสีเหลือง (b*)		ค่าความเข้ม (C*)		ค่ามุม (h)	
	สุญญากาศ ns	บรรยากาศ ns	สุญญากาศ ns	บรรยากาศ	สุญญากาศ ns	บรรยากาศ ns	สุญญากาศ ns	บรรยากาศ ns	สุญญากาศ ns	บรรยากาศ
1	44.68 ± 17.05	44.75 ± 14.87	-1.50 ± 0.78	-0.04 ± 0.02 ab	14.50 ± 1.59	14.38 ± 6.39	14.60 ± 1.67	14.41 ± 6.42	95.70 ± 2.94	90.18 ± 0.45 ab
2	40.42 ± 16.30	46.04 ± 11.38	-0.40 ± 0.83	0.24 ± 0.26 b	10.15 ± 7.56	12.67 ± 5.51	10.20 ± 7.56	12.74 ± 5.55	86.58 ± 7.89	87.74 ± 2.08 a
3	47.05 ± 16.52	43.33 ± 10.66	-0.44 ± 0.62	-0.10 ± 0.08 ab	16.72 ± 9.66	13.38 ± 2.15	16.75 ± 9.65	13.43 ± 2.14	88.57 ± 5.40	89.83 ± 0.68 ab
4	49.06 ± 6.27	42.75 ± 9.20	-0.51 ± 0.82	-0.19 ± 0.04 ab	15.75 ± 0.57	11.39 ± 1.08	15.78 ± 0.60	11.42 ± 1.08	91.69 ± 2.94	90.29 ± 0.59 ab
5	49.75 ± 7.20	41.93 ± 12.85	-0.34 ± 0.67	-0.27 ± 0.43ab	18.49 ± 2.02	9.95 ± 0.66	18.52 ± 2.01	9.98 ± 0.63	91.19 ± 2.42	91.60 ± 2.56 ab
6	44.05 ± 15.04	39.65 ± 5.98	-0.78 ± 0.12	-0.53 ± 0.45 a	16.41 ± 2.01	8.85 ± 1.38	16.44 ± 2.02	8.89 ± 1.42	92.56 ± 0.56	92.59 ± 1.72 b
7	42.70 ± 13.15	-	-1.21 ± 0.62	-	14.15 ± 0.08	-	14.22 ± 0.13	-	94.93 ± 2.84	-
8	46.372 ± 9.17	-	-1.27 ± 0.59	-	18.43 ± 4.10	-	18.50 ± 4.13	-	93.55 ± 1.16	-

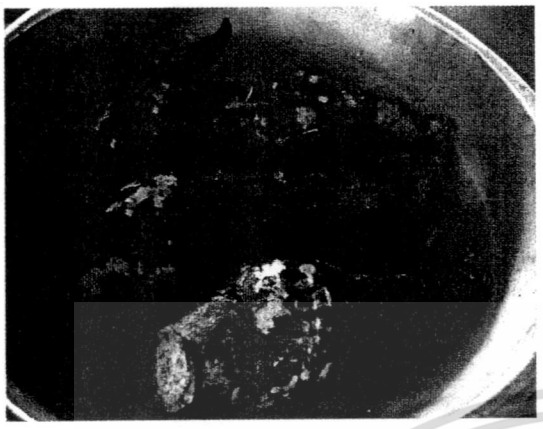
หมายเหตุ : $^{a-b}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแถวตั้งเดียวกันที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวตั้งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

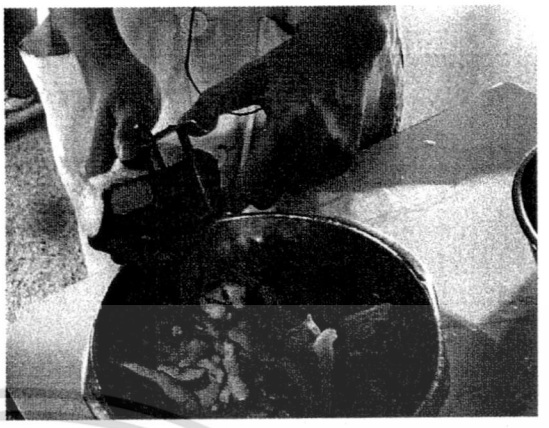
ตารางที่ ข 6 ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) ค่าความเข้ม (C*) และค่ามุมของสี (h) ของน้ำมันทอดที่สภาวะสุญญากาศและการทอดที่สภาวะบรรยากาศ

เวลาในการทอด (วัน)	ความสว่าง (L*)		ค่าสีแดง (a*)		ค่าสีเหลือง (b*)		ค่าความเข้ม (C*)		ค่ามุม (h)	
	สุญญากาศ	บรรยากาศ	สุญญากาศ	บรรยากาศ	สุญญากาศ	บรรยากาศ	สุญญากาศ	บรรยากาศ	สุญญากาศ	บรรยากาศ
0	93.12	93.12	-7.27	-7.27	43.88	43.88	44.48	44.48	99.39	99.39
1	88.95	92.12	-5.33	-5.49	50.61	56.17	50.89	56.43	96.01	95.59
2	85.14	91.73	-3.36	-6.19	53.85	55.46	53.96	54.69	93.57	96.24
3	82.96	90.74	-2.39	-6.10	56.15	54.00	56.20	54.34	92.44	96.44
4	81.71	90.83	-1.56	-6.25	58.30	52.15	58.33	52.52	91.53	96.83
5	80.57	90.93	-0.76	-6.32	61.53	54.50	61.54	54.87	90.71	96.61
6	79.89	89.86	-0.34	-5.71	62.43	57.05	62.43	57.34	90.31	95.72
7	79.60	-	0.14	-	63.49	-	63.49	-	89.88	-
8	79.32	-	0.23	-	64.01	-	64.01	-	89.79	-

ภาคผนวก ค

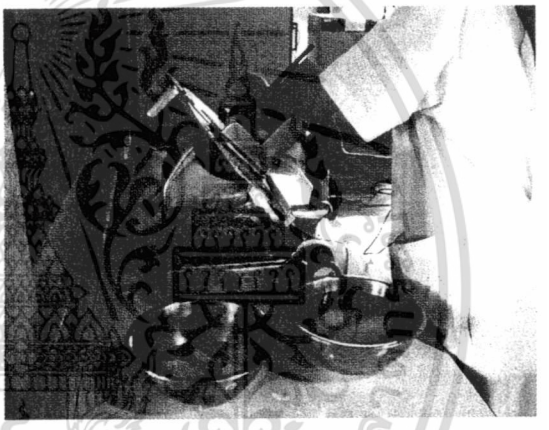


หัวมันเทศที่ผ่านการล้างน้ำ



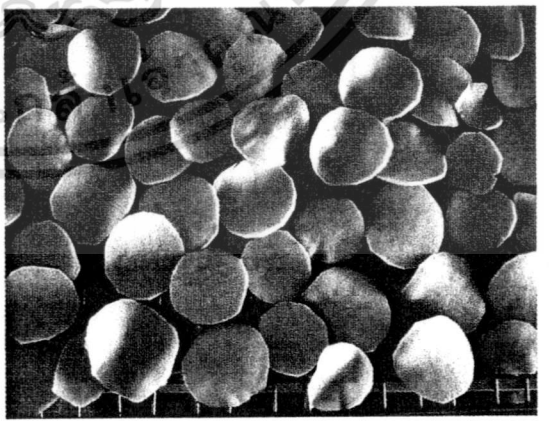
ปอกเปลือก

แช่น้ำ



สไลด์เป็นแผ่น (1.5 มม.)

แช่น้ำ



ผึ่งประมาณ 20 นาที

ภาพที่ ค1 ขั้นตอนการเตรียมมันเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ค4 เครื่องวัดปริมาณสารประกอบมีขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้