สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

คุณลักษณะการทอดของน้ำมันปาล์มโอเลอีนผสมน้ำมันรำข้าวในการทอดเฟรนช์ฟรายส์

จัดทำโดย

ผศ.ดร.พอใจ ถามากร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
TP
684
.P3
พ485ค
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 116949
วัน,เดือน,ปี 21 ธ.ค. 2554
.b 12330358
.i.....

โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อ ศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของน้ำมันและผลิตภัณฑ์เฟรนช์ฟรายส์ในการทอดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันรำข้าวและน้ำมันปาล์มโอเลอีนในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ในสัดส่วนน้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 โดยทอดติดต่อกันเป็นระยะเวลา 15 วัน จากการศึกษาพบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันรำข้าว มีอัตราการเพิ่มขึ้นช้ากว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีน ในขณะที่สัดส่วนอื่นๆ มีอัตราการเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมทุกสัดส่วนมีอัตราการเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน ปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันรำข้าวและน้ำมันปาล์มโอเลอีน มีอัตราการเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันรำข้าวที่ใช้ทอดถึงวันที่ 15 มีค่าต่ำกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีน สีทุกสัดส่วนของน้ำมันผสมไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์เฟรนช์ฟรายส์ เนื่องจากมีแนวโน้มของค่าสี (L*,a*) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน การทอดที่ระยะเวลาจำนวนวันเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำมันในเฟรนช์ฟรายส์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราคงที่เป็นเส้นตรง การคำนวณสัดส่วนขององค์ประกอบ กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (SFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) ในน้ำมันผสมสัดส่วนต่างๆ พบว่าสัดส่วนการผสม 50:50 ทำให้ได้ค่าเป็น 1:1.6:1.1 ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับที่แนะนำโดยองค์การอนามัยโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....I

สารบัญ.....II

สารบัญตาราง.....IV

สารบัญภาพ.....VI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....3

1.3 ขอบเขตการวิจัย.....3

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 น้ำมันและไขมันที่ใช้สำหรับการทอด (Frying Oil).....4

2.2 น้ำมันปาล์ม.....6

2.3 น้ำมันรำข้าว.....9

2.4 การทอด(Frying).....11

2.5 ปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดการเสื่อมเสียในน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร.....12

2.6 ผลกระทบทางกายภาพจากการเกิดความเสื่อมเสียทางเคมี.....14

2.7 ข้อจำกัดของการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารกลับมาใช้ตามกฎหมาย.....15

2.8 ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของน้ำมันทอด.....16

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....18

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....20

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....20

3.2 วัตถุดิบ.....20

3.3 สารเคมี.....20

3.4 สถานที่ทำการทดลอง.....21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 วิธีการดำเนินงาน.....21
3.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....22

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....23

บทที่ 5 สรุปวิจารณ์ผลและข้อเสนอแนะ.....41

บรรณานุกรม.....43

ภาคผนวก ก.....45

ภาคผนวก ข.....53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติของน้ำมันและไขมันสำหรับการทอดชนิดต่างๆ	5
2.2	ข้อกำหนดของน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการทอดในแต่ละประเทศ	6
2.3	มาตรฐานค่าเปอร์ออกไซด์ และ ค่ากรดไขมันอิสระ ของน้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว และน้ำมันถั่วเหลือง	6
2.4	องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม	8
2.5	ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระต่อจุดเกิดควัน จุดติดไฟ และจุดเผาไหม้	15
2.6	ข้อจำกัดของการนำน้ำมันทอดอาหารกลับมาใช้อีกตามกฎหมายในแต่ละประเทศ	16
4.1	สัดส่วนขององค์ประกอบ กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (SFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) ในน้ำมันผสมสัดส่วนต่างๆ	24
4.2	ความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกรดไขมันอิสระของน้ำมันผสมที่สัดส่วนต่างๆ	26
4.3	ความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมที่สัดส่วนต่างๆ	29
4.4	ความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันผสมที่สัดส่วนต่างๆ	31
4.5	ความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่าสีของน้ำมันสัดส่วนต่างๆ	33
4.6	ความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์การวัดค่า L* ของเฟรนช์ฟรายส์	35
4.7	ความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์การวัดค่า a* ของเฟรนช์ฟรายส์	36
4.8	ความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์การวัดค่า b* ของเฟรนช์ฟรายส์	37
4.9	ความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์ไขมันในเฟรนช์ฟรายส์	39
1ข	ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันสัดส่วนต่างๆ ภายหลังการใช้ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน	53
2ข	ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันสัดส่วนต่างๆ ภายหลังการใช้ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน	54
3ข	ปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันสัดส่วนต่างๆ ภายหลังการใช้ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน	55
4ข	ค่าสีของน้ำมันสัดส่วนต่างๆในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5ข	ค่าสี L* ของเฟรนช์ฟรายส์ในการทอด 15 วันที่สัดส่วนต่างๆของน้ำมันผสม	57
6ข	ค่าสี a* ของเฟรนช์ฟรายส์ในการทอด 15 วันที่สัดส่วนต่างๆของน้ำมันผสม	58
7ข	ค่าสี L* ของเฟรนช์ฟรายส์ในการทอด 15 วันที่สัดส่วนต่างๆของน้ำมันผสม	59
8ข	ปริมาณเปอร์เซ็นต์ไขมันของเฟรนช์ฟรายส์ในการทอด 15 วันในสัดส่วนต่างๆ ของน้ำมันผสม	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4.1	ค่ากรดไขมันอิสระของการผสมน้ำมันสัดส่วนต่างๆ ภายหลังที่ใช้ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ต่อเนื่องเป็นเวลา 15 วัน	26
4.2	ค่าเปอร์ออกไซด์ของการผสมน้ำมันสัดส่วนต่างๆ ภายหลังที่ใช้ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ต่อเนื่องเป็นเวลา 15 วัน	29
4.3	ค่าปริมาณสารประกอบมีขั้วของการผสมน้ำมันสัดส่วนต่างๆ ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ต่อเนื่องเป็นเวลา 15 วัน	31
4.4	ค่าสีของการผสมน้ำมันสัดส่วนต่างๆ ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน	33
4.5	ค่า L* ของการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน ในน้ำมันผสมสัดส่วนต่างๆ	35
4.6	ค่า a* ของการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน ในน้ำมันผสมสัดส่วนต่างๆ	36
4.7	ค่า b* ของการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน ในน้ำมันผสมสัดส่วนต่างๆ	37
4.8	ค่าเปอร์เซ็นต์ไขมันของการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วันในน้ำมันผสมสัดส่วนต่างๆ	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ไขมันเป็นสารที่ให้พลังงานเช่นเดียวกับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ไขมันช่วยในการดูดซึมวิตามินที่ละลายในไขมันได้แก่ วิตามินเอ ดี อี และ เค การขาดไขมันหรือได้รับไม่เพียงพอจะทำให้ได้รับวิตามินที่ละลายในไขมันไม่เพียงพอ แต่ถ้ากินอาหารไขมันมากเกินไปทำให้เกิดภาวะไขมันในเลือดสูงหรือโรคอ้วนได้ น้ำมันพืชให้พลังงานเท่ากับน้ำมันสัตว์ในปริมาณที่เท่ากัน แต่มีความแตกต่างกันของกรดไขมัน คือน้ำมันพืชทั่วไปยกเว้น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวส่วนใหญ่มีกรดไขมันชนิดสายสั้นและสายปานกลาง (คาร์บอนต่ำกว่า 4-10 อะตอมและคาร์บอนประมาน 12-14 อะตอม) การรับประทานอาหารไขมันชนิดที่มีกรดไขมันสายสั้นและปานกลาง มีผลดีในการให้โภชนบำบัดคือ ผู้ที่มีระบบการย่อยและดูดซึมไขมันบกพร่องส่วนน้ำมันสัตว์มีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ และยังมีคอเลสเตอรอลซึ่งเพิ่มปัจจัยเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ โดยเพิ่มระดับคอเลสเตอรอลในเลือด นอกจากนี้น้ำมันสัตว์ยังมีกรดไขมันจำเป็นน้อยกว่าน้ำมันพืชยกเว้นน้ำมันที่ได้จากปลา (Lichtenstein, 1997)

องค์การอาหารและเกษตร (FAO) องค์การอนามัยโลก (WHO) และ The American Heart Association แนะนำให้บริโภคไขมันไม่เกินร้อยละ 30 ของพลังงานที่ได้รับต่อวันและควรมีสัดส่วนของไขมันพืช : ไขมันสัตว์เท่ากับ 3:1 หรือ 1:1 เป็นอย่างน้อย หรือมีสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) = <10 : 10-15 : < 10 หรือประมาณ 1:1:1 ของพลังงานที่ได้รับต่อวัน คำแนะนำการบริโภคไขมันในปัจจุบันได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเนื่องจากมีการเข้าใจกลไกการเกิดปัญหาของโรคหัวใจและโรคมะเร็งชัดเจนมากขึ้น คือ ให้เพิ่มการบริโภคน้ำมันที่เป็นแหล่งของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) ให้มากขึ้น ลดการบริโภคน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) ปัจจุบันมีการแนะนำให้กินอาหารที่มีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) สูงกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (SFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) น้ำมันมะกอก จะมีปริมาณของ MUFA มากที่สุดรองลงมาคือน้ำมัน Canola น้ำมันรำข้าว และน้ำมันปาล์มโอเลอีน สัดส่วนของชนิดกรดไขมันในน้ำมันรำข้าวและน้ำมันปาล์มโอเลอีน มีกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) เป็น 18 : 45 : 37 และ 50 : 39 : 10 ตามลำดับ (นัยนาและเรวดี, 2545)

น้ำมันรำข้าวมีสารป้องกันการออกซิไดส์หลายชนิดได้แก่ แอลฟา-โทโคฟีรอล โทโคไตรอีนอล และโอรีไซนอล สำหรับโอรีไซนอลมีเฉพาะในน้ำมันรำข้าวเท่านั้น โอรีไซนอลมีฤทธิ์การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้องกันการออกซิไดส์มากกว่าโทโคไตรอีนอล และโทโคไตรอีนอลมีฤทธิ์ป้องกันการออกซิไดส์มากกว่าโทโคฟีรอล การที่มีสารกันการออกซิไดส์ทั้งสามชนิดนี้จะช่วยทำให้น้ำมันรำข้าวคงสภาพได้นาน หรือแม้อุณหภูมิสูงมากในขณะปรุงประกอบอาหาร เช่น ทอด โดยไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี ของสารประกอบในน้ำมัน นอกจากนี้โอรีไซนอลและโทโคไตรอีนอล ยังช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลโดยตรง โดยที่โทโคไตรอีนอล จะขัดขวางการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในร่างกาย ส่วนโอรีไซนอล จะลดการดูดซึมของคอเลสเตอรอลจากอาหาร การเลือกน้ำมันพืชเป็นหลักในการประกอบอาหารอาจใช้น้ำมันรำข้าวเพียงอย่างเดียว หรือใช้น้ำมันพืชชนิดอื่นร่วมด้วย เช่น น้ำมันรำข้าวกับน้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันรำข้าวกับน้ำมันปาล์ม ในปริมาณ 3:1 จะได้ปริมาณไขมันและสัดส่วนของกรดไขมันอยู่ในเกณฑ์ที่แนะนำ (นัยนาและเรวดี, 2545) น้ำมันปาล์มโอเลอีนเป็นน้ำมันที่มีความสำคัญ เนื่องจากปัจจุบันมีการบริโภคน้ำมันปาล์มโอเลอีนอยู่ในปริมาณที่มากกว่าน้ำมันชนิดอื่น สำหรับในประเทศไทยมีการนำน้ำมันปาล์มโอเลอีนมาใช้ประโยชน์อยู่ในปริมาณสูง ทั้งทางด้านอาหารและไม่ใช่อาหาร น้ำมันปาล์มโอเลอีนเหมาะที่จะใช้สำหรับทอดอาหารมากกว่าน้ำมันประเภทอื่นๆ เนื่องจากจุดมีควันค่อนข้างสูงจึงทำให้น้ำมันมีความอยู่ตัวในขณะทอดที่อุณหภูมิสูง (สุพรรณิกา เวียนทอง, 2548) แต่หากพิจารณาในด้านสุขภาพแล้ว น้ำมันปาล์มโอเลอีนมีกรดไขมันอิ่มตัว เช่น กรดพาลมิติก หากบริโภคปริมาณมากและเป็นระยะเวลานานอาจเสี่ยงต่อการเกิดภาวะคอเลสเตอรอลสูงในเลือด และนำไปสู่การเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้เช่นกัน (White, 2000)

ในงานวิจัยจึงมีแนวคิด ในการผสมน้ำมันในสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันปาล์มโอเลอีนและน้ำมันรำข้าวในการทอดอาหาร โดยใช้เฟรนช์ฟรายส์เป็นตัวอย่างอาหารที่ใช้ทอด โดยศึกษาถึงคุณภาพของอาหารทอดที่ได้ การเสื่อมเสียของน้ำมันทอด ประกอบกับคุณค่าทางโภชนาการที่ผู้บริโภคจะได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนการผสมของน้ำมันปาล์มโอเลอีนและน้ำมันรำข้าวในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันภายหลังการทอด

2. ศึกษาอัตราส่วนการผสมของน้ำมันปาล์มโอเลอีนและน้ำมันรำข้าวในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการอมน้ำมันและสีของเฟรนช์ฟรายส์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยเรื่องคุณลักษณะการทอดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มโอเลอีนและน้ำมันรำข้าวในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ โดยศึกษาการผสมของน้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน ในสัดส่วนต่างๆ คือ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันและเฟรนช์ฟรายส์ภายหลังการทอด

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

อิทธิพลของสัดส่วนการผสมน้ำมันปาล์มโอเลอีนและน้ำมันรำข้าว ที่มีต่อคุณลักษณะการทอดผลิตภัณฑ์เฟรนช์ฟรายส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันและไขมันที่ใช้สำหรับการทอด (Frying oil)

น้ำมันและไขมันที่ใช้ในกระบวนการทอดอาหารจะซึมเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ด้วยการแทนที่น้ำที่เคลื่อนที่ออกมาที่ผิวของอาหารและระเหยกลายเป็นไอและกลายเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นคุณภาพของน้ำมันจึงมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการทอด เนื่องจากการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหาร

ในธุรกิจอาหารประเภทฟาสต์ฟู้ด เช่น การทอดมันฝรั่งแผ่น ไก่ทอด โดนัท และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปควรใช้น้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่น้อยในการทอดหรือใช้น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชันบางส่วนเพื่อให้น้ำมันทนต่อการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ที่อุณหภูมิสูงได้ดี ในกระบวนการทอดอาหารที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมัน เช่น ทำให้เกิดสารที่มีขั้ว (polar component) เกิดพอลิเมอร์ซึ่งมีผลให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดสารวงแหวนโมโนเมอร์ (cyclicmonomer) ของกรดไขมัน เกิดฟอง และน้ำมันที่ใช้ทอดมีสีเข้ม การป้องกันการเกิดฟองทำได้โดยการใส่สารพวกซิลิโคน (silicone) เช่น ไดเมทิลพอลิไซลอกเซน (dimethyl-polysiloxane) ปริมาณ 2 พีพีเอ็ม ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันโดยทางอ้อม (เนื้อทอง, 2539)

2.1.2 น้ำมันและไขมันที่ใช้สำหรับกระบวนการทอด

น้ำมันและไขมันที่ใช้สำหรับกระบวนการทอดมีหลายชนิด (O'Brien, 1993) ได้แก่ น้ำมันผ่านกรรรมวิธี น้ำมันสลัด ไขมันกึ่งเหลว ไขมันแข็ง ไขมันพืชผสมไขมันสัตว์ และไขมันจากพืช ซึ่งน้ำมันและไขมันแต่ละชนิดจะมีสมบัติทางลักษณะปรากฏ จุดหลอมเหลว ความคงตัว และปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.1

2.1.3 ข้อกำหนดของน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการทอดของประเทศต่างๆ

ข้อกำหนดของน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการทอดของประเทศต่างๆ มีการกำหนดค่า PV, AV หรือ FFA แสดงดังตารางที่ 2.2

2.1.4 มาตรฐานค่าเปอร์ออกไซด์ และ ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว น้ำมันถั่วเหลืองในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดสมบัติของน้ำมันที่ใช้ทอด ทั้งนี้น้ำมันพืชที่นิยมบริโภคได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว และน้ำมันถั่วเหลือง จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนด ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าของกรดของน้ำมันดังกล่าวไว้ดังตารางที่ 2.3

ในน้ำมันผ่านกรรมวิธีทั่วไปนอกจากจะมีการกำหนดค่า Peroxide value และ Acid value แล้ว ยังมีการกำหนดค่าต่างๆ อีกได้แก่ น้ำและสิ่งที่ระเหยได้ (water and volatile matter) ไม่เกิน 0.2% ปริมาณสบู่ (soap) ไม่เกิน 0.005% และสิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (insoluble impurities) ไม่เกิน 0.05% (มอก. 47-2533)

ตารางที่ 2.1 สมบัติของน้ำมันและไขมันสำหรับการทอดชนิดต่างๆ

	น้ำมันผ่านกรรมวิธี	น้ำมันสลัด	ไขมันกึ่งเหลว	ไขมันแข็ง	ไขมันพืชผสมไขมันสัตว์	ไขมันจากพืช
ลักษณะปรากฏ	ของเหลวใส	ของเหลวใส	ของเหลวขุ่น	ของแข็ง	ของแข็ง	ของแข็ง
จุดหลอมเหลว	ของเหลว	ของเหลว	33-37°C	46-49°C	46-52°C	41-43°C
ความคงตัว	10-25	16-20	35	40	75	200
เปอร์เซ็นต์กรดไขมันไม่อิ่มตัว	34-61	54-60	35-40	15-20	2-4	4-8
เปอร์เซ็นกรดไขมันอิ่มตัว	13-27	14-21	15-20	20-30	45-50	22-25
เหตุผลที่เลือกใช้	ของเหลวมีสารอาหารและราคาถูก	ของเหลวและมีสารอาหาร	ของเหลวมีสารอาหารและความคงตัวสูง	มีสารอาหารความคงตัวสูงราคาถูกและจุดหลอมเหลวสูง	ราคาถูกมีความคงตัวสูง และให้กลิ่นที่ดี	ราคาถูกมีสารอาหารและความคงตัวสูง

ที่มา : ดัดแปลงจาก O'Brien (1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดของน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการทอดในแต่ละประเทศ

วิธีวัดค่า	ปริมาณไม่เกิน	ชนิดของน้ำมัน	ประเทศ	ที่มา
PV	<1.0 meq peroxide/kg oil	Fresh oil	-	Perkins and Erickson, 1996
PV	<10.0 meq peroxide/kg oil	Used oil	-	Perkins and Erickson, 1996
AV	<2.5 mg KOH/1 g oil	Used oil	Austria	Rossell, 2001
AV	<2.0 mg KOH/1 g oil	Used oil	Germany	Rossell, 2001
AV	<2.5 mg KOH/1 g oil	Used oil	Japan	Rossell, 2001
AV	<4.5 mg KOH/1 g oil	Used oil	Netherland	Rossell, 2001
FFA	<0.05%	Fresh oil	-	Perkins and Erickson, 1996
FFA	<0.2%	Fresh oil	USA	Rossell, 2001
FFA	<0.4%	Fresh oil	Austria	Rossell, 2001
FFA	<2.5%	Used oil	Belgium	Rossell, 2001
FFA	≤0.1%	Used oil	Chile	Rossell, 2001
FFA	≤2.0%	Used oil	USA	USDA, 1997

ที่มา : นุช (2545)

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานค่าเปอร์ออกไซด์ และ ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว และน้ำมันถั่วเหลือง

ชนิดของน้ำมัน	ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq. Peroxide/ 1 kg oil)	ค่ากรดไขมันอิสระ (mg KOH/ 1 g oil)	ที่มา
น้ำมันปาล์ม	10	0.6	มอก. 288-2535
น้ำมันรำข้าว	10	0.6	มอก. 44-2516
น้ำมันถั่วเหลือง	10	0.6	มอก. 176-2519

ที่มา : นุช (2545)

2.2 น้ำมันปาล์ม

การนำน้ำมันปาล์มมาบริโภคเป็นระยะเวลากว่า 5000 ปีมาแล้ว และสืบเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน ซึ่งได้มีการบริโภคน้ำมันปาล์มทั้งในรูปของน้ำมันพืช มาร์การีน และไขมันพืชเพื่อการปรุงอาหาร ตลอดจนใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารอื่นๆ อีกมากมาย

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [ม.อ.ก.](2535) ได้ให้ความหมายตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภคไว้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค เรียกว่า "น้ำมันปาล์ม" หมายถึง น้ำมันที่ได้จากเนื้อของผลปาล์มน้ำมันที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า เอแลอิส กินเอนซิส (*Elaeis guineensis)* ใช้เพื่อการบริโภคและในอุตสาหกรรมทำผลิตภัณฑ์อาหาร

น้ำมันปาล์มธรรมชาติ หมายถึง น้ำมันปาล์มที่ได้จากวิธีทางกล ความร้อน หรือวิธีทางกลร่วมกับความร้อน อาจทำให้สะอาดขึ้นโดยการล้างด้วยน้ำ ตั้งให้ตกตะกอน กรองและหมุนเหวี่ยงเท่านั้น

น้ำมันปาล์มผ่านกรรมวิธี หมายถึง น้ำมันปาล์มที่ผ่านกรรมวิธีกำจัดกรดไขมันอิสระ ฟอกสีและกำจัดกลิ่น

น้ำมันปาล์มโอเลอีนผ่านกรรมวิธี หมายถึง น้ำมันที่ผ่านกรรมวิธีกำจัดกรดไขมันอิสระ ฟอกสี กำจัดกลิ่น และแยกไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูงออก มีจุดขุ่น (cloud point) ไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส

2.2.1 องค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม

น้ำมันและไขมันมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ กลีเซอไรด์ หรือ กลีเซอรอล กรดไขมัน และนอนกลีเซอร์ไรด์ (nonglyceride)

องค์ประกอบหลักของน้ำมันปาล์ม ได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์ รองลงมาคือ ไดและโมโนกลีเซอไรด์ องค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ นอนกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ

กลีเซอไรด์ (glyceride) คือ เอสเทอร์ของกรดไขมันกับไตรไฮดรอกซิลแอลกอฮอล์ (trihydroxyl alcohol) หรือ กลีเซอรอล กลีเซอไรด์ มี 3 ชนิด ด้วยกัน คือ มอโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งมีจำนวนกรดไขมันต่อโมเลกุลเป็นหนึ่ง สอง และสามตามลำดับ น้ำมันและไขมันทั่วไปจะเป็นส่วนผสมของกลีเซอไรด์กับกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ในอัตราส่วนที่ต่าง ๆ กัน ในน้ำมันปาล์มส่วนของกลีเซอไรด์ ประกอบด้วย trisaturated (GS_3) ประมาณร้อยละ 10.2 disaturated (GS_2U) ร้อยละ 48.0 monosaturated (GSU_2) ร้อยละ 34.6 และ triunsaturated (GU_3) ร้อยละ 6.8

กรดไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของน้ำมันและไขมันทุกชนิด โดยทั่วไปกรดไขมันจะไม่พบอยู่ในรูปของกรดไขมันอิสระในธรรมชาติ แต่จะอยู่ในรูปส่วนประกอบของน้ำมันหรือไขมัน หรือ อาจกล่าวได้ว่า กรดไขมันเป็นสารประกอบคาร์บอนต่อกันเป็นแถวยาว และมีหมู่ COOH ที่ปลาย ที่พบมากที่สุดมีจำนวนคาร์บอน 16 และ 18

กรดไขมันแบ่งได้ 2 ประเภท คือ กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่อิ่มตัวด้วยไฮโดรเจน อะตอมของคาร์บอนจับกับคาร์บอนอื่น ๆ ด้วยพันธะเดี่ยวทั้งหมด กรดไขมันอีกชนิดหนึ่ง คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่ในโมเลกุล น้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวสูง จะมีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัวในปริมาณที่เท่า ๆ กัน คือ มีกรดไขมันอิ่มตัวประมาณร้อยละ 50 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 50 โดยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 พันธะ (monounsaturated) มีประมาณร้อยละ 40 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2 พันธะ (diunsaturated) มีประมาณร้อยละ 10 โดยทั่วไปน้ำมันจากเนื้อปาล์มจะมีกรดไขมันอิ่มตัวอยู่ต่ำกว่าน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว

องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ในน้ำมันปาล์ม ตามมาตรฐาน Codex Alimentarius Standards และ Malaysian Standards (MS) ของสถาบัน Palm Oil Research Institute of Malaysia (PORIM) (Boskou and Elmadfa, 1999) แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม

ชื่อสามัญ	ชนิดกรดไขมัน	ร้อยละกรดไขมัน			
		น้ำมันปาล์ม		น้ำมันปาล์มโอเลอีน	
		Codex Alim.	MS	Codex Alim.	MS
กรดลอริก	C 12:0	ND-0.4	0.1-0.4	0.1-0.5	0.2-0.4
กรดไมริสติก	C 14:0	0.5-2.0	1.0-1.4	0.9-1.4	0.9-1.2
กรดปาลมิติก	C 16:0	40.1-47.5	40.9-47.5	38.2-42.9	38.2-42.9
กรดปาลมิโตเลอิก	C 16:1	ND-0.6	0-0.6	0.1-0.3	0.1-0.3
กรดสเตียริก	C 18:0	3.5-6.0	3.8-4.8	3.7-4.8	3.7-4.8
กรดโอเลอิก	C 18:1	36.0-44.0	36.4-41.2	39.8-43.9	39.8-43.9
กรดไลโนเลอิก	C 18:2	6.5-12.0	9.2-11.6	10.4-13.4	10.4-12.7
กรดไลโนเลนิก	C18:3	ND-0.5	0-0.5	0.1-0.6	0.1-0.6
กรดอาราชิดิก	C 20:0	ND-1.0	0-0.8	0.2-0.6	0.2-0.6

ที่มา: Boskou and Elmadfa (1999).

หมายเหตุ C 12:0 หมายถึง กรดไขมันที่มีจำนวน คาร์บอน 12 อะตอม ไม่มีพันธะคู่

C 18:1 C 18:2 และ C 18:3 หมายถึง กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม มีพันธะคู่ 1 2 และ 3 พันธะตามลำดับ

สารประกอบอื่น ๆ ที่พบในน้ำมัน เช่น ฟอสโฟไลปิด สเตอรอล ไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ รงควัตถุ โทโคไตรอีนอล (tocotrienols) และโทโคฟีรอล (tocopherols) หรือ วิตามินอี เป็นต้น ในน้ำมันปาล์มดิบจะมีองค์ประกอบอื่น ๆ ปริมาณร้อยละ 5 เมื่อผ่านกรรมวิธีหรือกระบวนการที่ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้น้ำมันบริสุทธิ์จะเหลืออยู่ไม่เกินร้อยละ 2 คือ ประมาณร้อยละ 1 ได้แก่ โทโคฟีรอล หรือวิตามินอี มีหลายชนิดได้แก่ แอลฟา บีต้า แกมม่า และ เดลต้าโทโคฟีรอล ในน้ำมันปาล์มมีโทโคฟีรอล ชนิดแอลฟา-โทโคฟีรอล ร้อยละ 0.03 ถึง 0.05 สเตอรอล ร้อยละ 0.06 ถึง 0.12 ส่วนที่เหลือเป็น แคโรทีนอยด์ (carotenoids) โทโคไตรอีนอล เทอพินิก (terpenic) อะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbons) และสิ่งเจือปนอื่น ๆ

สมบัติอื่น ๆ ของน้ำมันปาล์ม ทางกายภาพน้ำมันปาล์มมีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส เมื่อเข้าสู่กระบวนการแยก (fractionation) น้ำมันปาล์มจะแยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่เป็นของเหลว เรียกว่า ปาล์มโอเลอีน (palm olein) ประมาณร้อยละ 75 และส่วนที่เป็นของแข็ง เรียกว่า ปาล์มสเตียริน (palm stearin) ร้อยละ 25 ปาล์มโอเลอีนซึ่งเป็นส่วนของเหลวนั้นจะมีความสำคัญในตลาดการค้ามาก และสมบัติทางกายภาพของปาล์มโอเลอีนจะต่างจากน้ำมันปาล์ม คือ จะเป็นของเหลวในอุณหภูมิ ช่วง 13 ถึง 24 องศาเซลเซียส และสามารถนำมาผสมกับน้ำมันจากเมล็ด (seed oil) พืชชนิดอื่นได้ดี

น้ำมันปาล์มโอเลอีนแบ่งได้เป็นสองชนิด (Boskou and Elmadfa, 1999) คือ

1. โอเลอีนมาตรฐาน (standards olein) มีจุดหลอมเหลวประมาณ 19 ถึง 24 องศาเซลเซียส
2. ดับเบิลแฟรกชัน (double fraction) หรือ super olein มีจุดหลอมเหลวประมาณ 13 ถึง 16 องศาเซลเซียส

ในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะเป็นโอเลอีนมาตรฐาน ซึ่งนิยมใช้กันทั่วไป ในส่วนของน้ำมันปาล์มโอเลอีนชนิดดับเบิลแฟรกชัน ประเทศแถบยุโรปมีการนำมาใช้เป็นน้ำมันสำหรับทอดเช่นกัน แต่โดยมากจะนำมาผสมกับน้ำมันชนิดอื่น ๆ เช่น ผสมกับน้ำมันเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันจากถั่วเหลืองเป็นต้น

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่ใช้ในการทอดอาหารได้ดี เนื่องจากทนต่อการออกซิไดซ์ได้ดีและรสชาติของอาหารไม่เปลี่ยน มีรสนุ่ม ซึ่งสมบัติเหล่านี้เป็นผลเนื่องมาจาก มีสารประกอบของโทโคฟีรอลหรือวิตามินอี ซึ่งเป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน และมีโทโคไตรอีนอล ในสัดส่วนที่เหมาะสม มีกรดไลโนเลนิกและกรดไลโนเลอิกซึ่งเกิดออกซิเดชันได้ง่าย ในปริมาณต่ำ และยังมีกรดโอเลอิกเป็นส่วนใหญ่ จากสมบัติดังกล่าว น้ำมันปาล์มจึงนิยมใช้เป็นน้ำมันสำหรับทอดอาหารทั่วไป และในอุตสาหกรรมอาหารประเภททอด

2.3 น้ำมันรำข้าว

น้ำมันรำข้าว คือ น้ำมันพืชที่ผลิตจากน้ำมันรำข้าวดิบซึ่งสกัดจากรำข้าว มีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินอี ในกลุ่มโทโคฟีรอลประมาณ 19-40% และกลุ่มโทโคไตรอีนอล 51-81% และโอรีไซนอล (Oryzanol) ซึ่งสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าวิตามินอีถึง 6 เท่า มีกรดไขมันอิ่มตัว 18% กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated Fatty Acid : MUFA) 45% กรดไขมันไม่อิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชิงซ้อน (Polyunsaturated Fatty Acid : PUFA) 37% น้ำมันรำข้าวเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการลดคอเลสเตอรอลที่ไม่ดี (LDL-C) (Machlin, 1990)

2.3.1 แหล่งของสารโอรีไซนอลในธรรมชาติ

พบในรำข้าว น้ำมันรำข้าว ต้นอ่อนของข้าว น้ำมันจากต้นอ่อนของข้าว นอกจากนี้ยังพบในธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวไรน์และข้าวโอ๊ตอีกด้วย

2.3.2 คุณประโยชน์ของโอรีไซนอล

แกมมาโอรีไซนอลมีคุณสมบัติเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ แต่มีฤทธิ์มากกว่าโทโคฟีรอล แกมมาโอรีไซนอลเป็นสารที่มีคุณประโยชน์มากมาย การศึกษาการนำโอรีไซนอลไปใช้ประโยชน์เป็นไปอย่างกว้างขวางทั้งในอาหาร เครื่องสำอางและทางการแพทย์ นอกจากนั้นผลการตรวจสอบความปลอดภัยระบุอย่างชัดเจนว่าโอรีไซนอลไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติของยีนไม่เป็นสารก่อมะเร็งและเนื้องอก คุณประโยชน์ของโอรีไซนอลพอจะกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

2.3.2.1 ด้านอาหาร

2.3.2.1.1 ใช้เป็นสารป้องกันการเปลี่ยนสีในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะเป็นอีมัลชั่น

2.3.2.1.2 ใช้เป็นสารกันเสีย (preservative) ในอาหาร

2.3.2.1.3 ใช้เป็นแอนติออกซิแดนท์ เช่นเติมลงในน้ำมันพืชเพื่อกันหืน

2.3.2.2 ด้านเครื่องสำอาง

2.3.2.2.1 รักษาความคงทนของสีผลิตภัณฑ์

2.3.2.2.2 ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาบน้ำประมาณ 3-20% โดยน้ำหนัก เพื่อใช้รักษาโรคผิวหนังอักเสบ (atopic dermatitis) และอาการผิวหนังแห้งในผู้สูงอายุ (senile xeroderma)

2.3.2.2.3 รักษาความเหี่ยวย่นของผิวหนังในผู้หญิงสูงอายุ

2.3.2.2.4 ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ทาเส้นผมประมาณ 1% โดยน้ำหนัก เพื่อใช้เปลี่ยนสภาพสีผมจากผมสีเทาให้เป็นผมสีดำ ทั้งนี้เพราะโอรีไซนอลช่วยกระตุ้นการสร้างเมลานิน

2.3.2.2.5 ใช้ในยาทาเล็บเพื่อป้องกันเล็บเปลี่ยนสี

2.3.2.2.6 ใช้ในผลิตภัณฑ์ระงับกลิ่นใต้วงแขนเพื่อควบคุมกลิ่นที่เกิดจากเหงื่อ

2.3.2.3 ผลทางสรีรวิทยาและเภสัชวิทยา

2.3.2.3.1 ลดปริมาณคอเลสเตอรอลในพลาสมา (plasma cholesterol) ลดการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในตับ และลดการดูดซึมคอเลสเตอรอล

2.3.2.3.2 ลดการรวมตัวของเกล็ดเลือด (platelet aggregation)

2.3.2.3.3 เพิ่มปริมาณการหลั่งกรดน้ำดีในอุจจาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3.4 ช่วยรักษาระบบการทำงานของสมองที่ผิดปกติ (nerve imbalance) และภาวะหลังหมดประจำเดือนที่แปรปรวน (disorder of menopause)

2.4 การทอด (Frying)

กระบวนการทอดถือว่าเป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตอาหารที่เก่าแก่วิธีหนึ่งโดยการให้ความร้อนแก่น้ำมันเพื่อทำให้อาหารสุก สันนิษฐานว่ากระบวนการทอดเกิดขึ้นครั้งแรกในประเทศอียิปต์ ก่อนคริสตศักราช 1600 (Perkins and Erickson, 1996) พบว่า กระบวนการทอดอาหารเป็นกรรมวิธีหนึ่ง ที่ใช้ในการผลิตอาหารอย่างแพร่หลาย ทั้งในระดับอุตสาหกรรมร้านอาหารตลอดจนการปรุงอาหารในครัวเรือน (Rossell, 2001)

กระบวนการทอดเป็นหนึ่งในหน่วยปฏิบัติการให้ความร้อนแก่อาหารเพื่อทำให้อาหารสุก เมื่อนำอาหารที่ต้องการให้สุกใส่ในน้ำมันที่ร้อนอุณหภูมิของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในการทอดจะมีการสูญเสียน้ำออกจากอาหาร ดังนั้นผิวหน้าของอาหารที่ทอดจึงแห้งเหมือนกับการให้ความร้อนโดยวิธีอบ (baking) ในระหว่างกระบวนการทอดทั้งน้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากโครงสร้างที่เป็นรูพรุนบริเวณผิวของอาหาร และน้ำมันจะเข้าไปแทนที่น้ำและไอน้ำที่เคลื่อนที่ออกมา ซึ่งความชื้นดังกล่าวจะเคลื่อนที่ผ่านไปยังผิวของน้ำมัน (Fellow, 1990)

2.4.1 กระบวนการทอดมี 2 วิธี (Fellow, 1990) คือ

2.4.1.1 Shallow frying (Contact frying) เป็นกระบวนการทอดอาหารโดยใช้น้ำมันน้อยที่ไม่จำกัดสมบัติของน้ำมันที่ใช้ ให้ความร้อนโดยอาศัยตัวนำความร้อนโดยผิวหน้าของกะทะที่ร้อนผ่านไปยังชั้นของน้ำมัน (oil layer) สู่อาหารวิธีนี้มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาณสูง เช่น เบคอน ไข่ เบอร์เกอร์ และพายบางชนิด ความหนาของชั้นน้ำมันจะแตกต่างกันตามขนาดของผิวหน้าอาหารซึ่งไม่สม่ำเสมอ และทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดสีน้ำตาลที่ไม่สม่ำเสมอขึ้นด้วย

2.4.1.2 Deep-fat frying เป็นกระบวนการทอด โดยใช้น้ำมันปริมาณมาก ซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำมันที่ร้อนไปยังภายในของอาหารโดยที่ทุก ๆ ส่วนที่ผิวหน้าของอาหารจะได้รับความร้อนที่เท่า ๆ กัน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีสีและลักษณะปรากฏเหมือนกัน วิธีนี้จึงเหมาะสำหรับอาหารที่มีรูปร่างต่าง ๆ

2.4.2 เวลาที่ใช้ในกระบวนการทอดอาหาร ขึ้นอยู่กับ

2.4.2.1 ชนิดของอาหาร

2.4.2.2 อุณหภูมิของน้ำมัน

2.4.2.3 วิธีที่ใช้ในกระบวนการทอด (Shallow หรือ Deep-fat frying)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.4 ความหนาของอาหาร

2.4.2.5 ความต้องการในด้านคุณภาพของอาหาร

สิ่งสำคัญคืออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอดอาหารซึ่งต้องคำนึงถึงความประหยัดและผลที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยที่อุณหภูมิสูงจะใช้ระยะเวลาในการทอดที่สั้นกว่าและมีอัตราการผลิตที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามการทอดด้วยอุณหภูมิสูงนั้นทำให้เกิดการเสื่อมเสียของน้ำมันได้อย่างรวดเร็ว เช่น การเปลี่ยนแปลงไปเป็นกรดไขมันอิสระ การเปลี่ยนแปลงด้านความหนืด กลิ่น รส และสีของน้ำมันที่ใช้ในการทอดเปลี่ยนแปลง เป็นต้น สาเหตุดังกล่าวนี้ทำให้ต้องเปลี่ยนน้ำมันที่ใช้ในการทอดบ่อยครั้ง ซึ่งมีผลต่อต้นทุนของน้ำมันที่ใช้ในการทอด (Fellow, 1990)

2.5 ปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในน้ำมันที่ใช้ทอดอาหาร

กระบวนการทอดเป็นการทำให้อาหารมีกลิ่นรสที่ต้องการ อย่างไรก็ตามบางครั้งอาหารที่ได้จากกระบวนการทอดอาจเกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการ สาเหตุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ เมื่อมีการให้ความร้อนขณะทอดอาหาร ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันในกระบวนการทอดอาหารแบบน้ำมันท่วม ซึ่งอธิบายถึงวิถีทางของการเกิดสารประกอบต่าง ๆ ทั้งที่เป็นสารที่ระเหยได้ (volatile compounds) และสารที่ระเหยไม่ได้ (nonvolatile compounds) แม้ว่าสารที่ระเหยได้ส่วนใหญ่สามารถระเหยได้ระหว่างกระบวนการทอด แต่ยังมีบางส่วนคงอยู่ในน้ำมันหรืออาหารที่ผ่านการทอด ดังนั้นสารที่ระเหยไม่ได้จึงเป็นตัวการสำคัญที่เป็นสาเหตุความเสื่อมเสียของน้ำมันและอาหารที่ผ่านการทอด (Stevenson *et al.*, 1984)

2.5.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

เป็นปฏิกิริยาเคมีที่ออกซิเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับน้ำมันตรงตำแหน่งพันธะคู่ (double bonds) ทำให้เกิดความเสื่อมเสียแก่น้ำมัน ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในช่วงการเก็บรักษา แต่เมื่อมีการให้ความร้อนแก่น้ำมันปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxides) ซึ่งเป็น primary oxidation products มีสมบัติไม่เสถียรคือ สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบอื่น ๆ (secondary oxidation products) ได้ดังนี้

2.5.1.1. จากการแตกตัว (fission) เป็นแอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ กรด และไฮโดรคาร์บอน

2.5.1.2. จากการสูญเสียน้ำ (dehydration) ได้ คีโตน

2.5.1.3. จากการก่อรูปของอนุมูลอิสระ ได้แก่ oxidative monomers, oxidative dimers, oxidative polymers, trimers, epoxides, alcohols, hydrocarbons, nonpolar dimers และ polymers (Perkins and Erickson, 1996) สารประกอบเหล่านี้ทำให้น้ำมันและอาหารที่ผ่านการทอดเกิดกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ (Warner, 1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานปริมาณสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์จะสลายตัวเป็น secondary oxidation products ได้อย่างรวดเร็ว ได้มีการศึกษาค่าเพอร์ออกไซด์ภายหลังจากการทอดที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ พบว่าสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อใช้อุณหภูมิในการทอดสูงขึ้น (Lomanno and Nawar, 1982)

2.5.2 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization)

เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงในสภาวะที่มีออกซิเจน นอกจากจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้ว หากยังมีการให้ความร้อนต่อเป็นเวลานานจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งจะทำให้ไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเกิดการสร้างพันธะระหว่างคาร์บอน (carbon-carbon) เกิดสารประกอบที่มีโมเลกุลสูงจำพวก cyclic monomers, dimers และ polymers ซึ่งเป็นผลให้น้ำมันมีสีคล้ำและโมเลกุลของน้ำมันเป็นสายยาว เมื่อเย็นลงจะทำให้น้ำมันดังกล่าวมีลักษณะข้นเหนียวและเกิดฟอง

2.5.3 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นปฏิกิริยาทางเคมีหลัก ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดอาหารแบบน้ำมันท่วม เมื่อมีการทอดอาหารในน้ำมันที่ร้อน ไอน้ำในอาหารจะทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) จะถูกย่อยเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acids) โมโนกลีเซอไรด์ (monoglycerides) ไดกลีเซอไรด์ (diglycerides) และกลีเซอรอล (glycerol) (O'Brien, 1993)

เมื่อมีการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน กลีเซอรอลจะเกิดการสลายตัวให้สารอะโครลีนซึ่งเป็นสารพิษ เมื่อนำน้ำมันดังกล่าวไปใช้ในกระบวนการทอดอาหารจะทำให้อาหารมีสารพิษติดไปด้วย (รุ่งนภา, 2540)

อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสหรือการเกิดกรดไขมันอิสระขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ (Perkins and Erickson, 1996)

2.5.3.1 ปริมาณน้ำจากผลิตภัณฑ์อาหาร

2.5.3.2 อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทอด อุณหภูมิที่สูงจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว

2.5.3.3 ปริมาณของน้ำมันที่เติมและใช้หมดไป (turnover rate)

2.5.3.4 ปริมาณอาหารที่ไหม้เกรียม ซึ่งจะเป็นตัวเร่งการเกิดกรดไขมันอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ผลกระทบทางกายภาพจากการเกิดความเสื่อมเสียทางเคมี

2.6.1 กลิ่นรสที่ผิดปกติ (Distinctive odors and flavors)

สิ่งที่เป็นสัญญาณของการเกิดความเสื่อมเสียในน้ำมันคือ การเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ ซึ่งสารต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุส่วนใหญ่มักเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และสามารถถูกกำจัดออกโดยไอน้ำ โดยสารเหล่านี้ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนในสภาวะบรรยากาศ

2.6.2 ปริมาณควัน (Smoke)

ปริมาณควันในน้ำมันเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการเกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งจุดเกิดควัน (smoke point) เป็นอุณหภูมิที่เริ่มเกิดควันอย่างต่อเนื่องและบ่งชี้ว่าไขมันหรือน้ำมันดังกล่าวเกิดการไฮโดรไลซิสได้กลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ เมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นจะมีผลให้จุดเกิดควันต่ำลง (ตารางที่ 2.5) หากมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงต่อไปอีก กลีเซอรอลจะสลายตัวให้สารอะโครลีน ซึ่งเป็นสาเหตุของควันที่ระคายเคืองต่อตาและลำคออย่างรุนแรง (McGill, 1980) ดังนั้นน้ำมันหรือไขมันที่มีจุดเกิดควันสูง จึงมีความเหมาะสมสำหรับการทอด น้ำมันพืชผ่านกรรมวิธีจะมีจุดเกิดควันประมาณ 227-232 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าจุดเกิดควันของไขมันที่ไม่เหมาะสมสำหรับการทอดแบบน้ำมันท่วม

2.6.3 การเกิดฟอง (Foam)

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

2.6.4 สี (Color)

สีของน้ำมันที่คล้ำขึ้นเป็นผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเปลี่ยนแปลงของสีในอาหารที่ผ่านการทอดสามารถละลายในน้ำมันและทำให้น้ำมันมีสีคล้ำขึ้น (Melton *et al.*, 1994)

2.6.5 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของน้ำมัน เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและอาจเกิดได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และไอโซเมอไรเซชัน น้ำมันที่มีความหนืดจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง จึงเป็นผลให้ต้องใช้เวลาในการทอดนานขึ้นและยังทำให้อาหารที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันดังกล่าวอมน้ำมัน (McGill, 1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระต่อจุดเกิดควัน จุดติดไฟ และจุดเผาไหม้ (smoke point flash point และ fire point)

Free fatty	จุดเกิดควัน		จุดติดไฟ		จุดเผาไหม้	
acid (%)	(°C)	(°F)	(°C)	(°F)	(°C)	(°F)
0.04	218	425	327	620	366	690
0.06	210	410				
0.08	205	400				
0.10	200	390	313	595	363	685
0.20	190	375				
0.40	177	350				
0.60	171	340				
0.80	165	330				
1.00	160	320	307	585	360	680

ที่มา : Weiss (1983).

2.7 ข้อจำกัดของการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารกลับมาใช้ตามกฎหมาย

โดยส่วนใหญ่น้ำมันที่ผ่านการทอดแล้วมักจะมีสิ่งปนเปื้อนและสารประกอบเคมีที่เป็นอันตรายต่อร่างกายของผู้บริโภค แต่ในปัจจุบันได้มีการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารแล้วมารีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้อีกครั้ง ซึ่งในการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารมารีไซเคิลนั้นในแต่ละประเทศจะต้องมีการควบคุมอย่างเข้มงวด โดยส่วนใหญ่ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำมัน คือ ปริมาณของสารประกอบมีขั้ว (polar compound) ดังนั้นในแต่ละประเทศจึงได้ตั้งข้อกำหนดหรือข้อจำกัดของการนำน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารกลับมาใช้อีก ดังตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 แสดงข้อจำกัดของการนำน้ำมันทอดอาหารกลับมาใช้อีกตามกฎหมายในแต่ละประเทศ

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

ที่มา : Riera และคณะ (2000).

2.8 ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของน้ำมันทอด

2.8.1 ปริมาณของสารประกอบมีขั้ว

สารประกอบมีขั้วเกิดจากไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีขั้วในน้ำมันถูกไฮโดรไลซีส ออกซิไดซ์ และโพลิเมอร์ไรซ์ได้สารประกอบที่มีขั้ว เช่น กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ออกซิไดส์ ไตรกลีเซอไรด์ ไซคลิกโมโนเมอร์ ไดเมอร์และโพลิเมอร์ของไตรกลีเซอไรด์ ไดเมอร์และโพลิเมอร์ที่ถูกออกซิไดส์ ดังนั้นสารประกอบมีขั้วจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพและการยอมรับของน้ำมันใช้แล้วในทุกประเทศ หากมีสารประกอบมีขั้วมากในน้ำมันทอดจะมีผลต่อกลิ่นรสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารโดยทั่วไปจึงอนุญาตให้น้ำมันใช้แล้วมีปริมาณของสารประกอบมีขั้วไม่มากกว่า 25-30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.8.2 ค่าของกรด (acidity)

เป็นการวัดปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงการเกิดไฮโดรไลซิสของน้ำมันในระหว่างการทอด สามารถบ่งชี้ความเป็นกรดของน้ำมัน ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระมากจะทำให้น้ำมันมีจุดเกิดควันต่ำลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บสั้นลง

2.8.3 จุดเกิดควัน (smoke point)

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

2.8.4 ความหนืด (viscosity)

บ่งบอกถึงองค์ประกอบและชนิดของกรดไขมัน ความหนืดของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นและเมื่ออุณหภูมิของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้นซึ่งการที่ความหนืดของน้ำมันทอดเพิ่มขึ้นนั้นมีผลมาจากในระหว่างการทอดมีการเกิดสารโพลีเมอร์ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำมันมีความหนืดและเกิดฟองมากขึ้น ในประเทศเบลเยี่ยมอนุญาตให้น้ำมันใช้แล้วที่จะนำมารีไซเคิลต้องมีความหนืดน้อยกว่า 27mPa.sec ที่อุณหภูมิ 50°C

2.8.5 สี (color)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

116949

2.8.6 ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)

เปอร์ออกไซด์เป็นสารปฐมภูมิที่เกิดขึ้นจากการออกซิเดชันของไขมัน การหาปริมาณสารเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในน้ำมันหรือไขมันโดยสามารถบ่งชี้ได้ว่าไขมันและน้ำมันเกิดการหืนเนื่องจากออกซิเดชันมากน้อยเท่าใด

2.8.7 ค่าพาราแอนนิซิดีน (p-anisidine)

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

2.8.8 ปริมาณสารโพลีเมอร์ (polymer)

สารโพลีเมอร์เป็นสารที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน ในระหว่างการทอดอาหารเกิดจากการที่โมเลกุลเล็กๆ ของน้ำมันมารวมตัวและจับตัวกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น เกิดเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้น้ำมันทอดมีการเกิดฟองมากขึ้นและมีการเกิดสารเหนียวที่ขอบเตาทอด ซึ่งเมื่อมีการเกิดฟองที่ผิวของน้ำมันระหว่างการทอดจะมีการสะสมเป็นชั้น ทำให้น้ำมันมีการแตกตัวและเสื่อมคุณภาพ ในการตรวจวัดควรตรวจวัดทั้งไดเมอร์และโพลิเมอร์ของไตรกลีเซอไรด์ที่ถูกออกซิไดส์และไม่ถูกออกซิไดส์

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tyagi และ Vasishtha (1996) ได้ศึกษาคุณสมบัติการทอดของน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมัน Vanaspati (น้ำมันเมล็ดฝ้าย nigerseed น้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันงา เป็นต้น ในสัดส่วนที่เหมาะสมนำมาผ่านการไฮโดรจิเนชัน) ทอดมันฝรั่งที่อุณหภูมิที่ 170 , 180 และ 190 องศาเซลเซียส เมื่อวัดการหักเหของแสง (Refractive index) ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) สี ความหนืด ค่าแซบพอนนิฟิเคชัน(Saponification value) และกรดไขมันอิสระ (free fatty acids) พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนค่าไอโอดีนจะลดลงซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับน้ำมัน Vanaspati แต่ใน Vanaspati จะมีการเพิ่มขึ้นน้อยกว่าน้ำมันถั่วเหลืองหลังจากการทอดไป 7 ชั่วโมง ค่าไอโอดีนของน้ำมันถั่วเหลืองและ Vanaspati จะลดลงจาก 129.8 และ 74.4 เป็น 96.2 และ 59.2 ตามลำดับ ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะลดลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาและอุณหภูมิในการทอด เมื่อเพิ่ม Butylated hydroxyanisole และ tertiary butylhydroquinone ซึ่งเป็นสารกันหืนในน้ำมันไม่มีผลช่วยลดการสลายตัวของน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ทอดที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุรินทร์ วัฒนพูล (2547) ศึกษาการต้านทานการตกผลึกของน้ำมันปาล์มโอเลอีนเมื่อผสมกับน้ำมันรำข้าวในอัตราส่วนต่างกัน โดยศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงด้าน การทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ จุดขุ่นมัว และความคงตัวต่อความร้อน โดยการที่จะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และ โดยไม่มีการกวน ทำการทดสอบสมรรถนะการทอดด้วยการทอดด้วยมันฝรั่งสด ซึ่งจะประเมินคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันด้วย การเปลี่ยนแปลงของสีทั้งหมด ความหนืด จุดการเกิดควัน ปริมาณกรดไขมันอิสระ และ ค่าเปอร์ออกไซด์ การใช้น้ำมันรำข้าวในปริมาณที่สูง จะช่วยชะลอการเกิดผลึกสีขาวในน้ำมันปาล์มโอเลอีน โดยมีการลดลงของจุดขุ่นมัว เมื่อเทียบกับน้ำมันปาล์มโอเลอีน 100 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำมันรำข้าวจะแสดงผลลบต่อการทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ จึงไม่เหมาะต่อการนำไปทำน้ำสลัด น้ำมันรำข้าวสามารถปรับปรุงคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันผสม โดยทำให้น้ำมันผสมมีความคงตัวต่อความร้อนสูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันปาล์มโอเลอีน 100 เปอร์เซ็นต์ การผสมน้ำมันปาล์มโอเลอีนกับน้ำมันรำข้าว 50 เปอร์เซ็นต์ จะให้ผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และความหนืดเล็กน้อย เพราะฉะนั้นน้ำมันรำข้าวนอกจากสามารถปรับปรุงการต้านทานการตกผลึกแล้ว แต่ยังช่วยปรับปรุงความสามารถในการต้านทานความร้อนให้กับน้ำมันผสม เมื่อเทียบกับน้ำมันปาล์มโอเลอีนอีกด้วย

Boskou and Elmadfa (1999) ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการทอดมันฝรั่งด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอีน (plam olein:POO) น้ำมันเมล็ดทานตะวัน (sunflower oil:SFO) น้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil:SBO) และน้ำมันมะกอก (olive oil:OO) โดยอุณหภูมิที่ใช้ทอดประมาณ 180±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน รวมเวลาที่ใช้ทอด 40 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันที่ใช้ทอดมีสีเข้มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น น้ำมันที่มีการเปลี่ยนของสีน้อยที่สุดได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันเมล็ดทานตะวันตามลำดับ ส่วนน้ำมันปาล์มโอเลอีนจะเปลี่ยนเป็นสีคล้ำเร็วหลังจากใช้ไป 2 วัน และหลังวันที่ 2 ในสภาวะที่มีความชื้น การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันปาล์มโอเลอีนจะมีสีเข้มขึ้นแต่เป็นในลักษณะที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย นอกจากนี้ยังได้ศึกษาปริมาณของกรดไขมันอิสระของน้ำมัน พบว่ามีปริมาณของกรดไขมันเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการทอดเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของกรดไขมันอิสระของน้ำมันปาล์มโอเลอีนมีค่าสูงสุดคือประมาณร้อยละ 0.40 รองลงมาคือน้ำมันมะกอก ร้อยละ 0.37 น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันร้อยละ 0.31 และน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 0.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1	เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง	ยี่ห้อ Mettle	รุ่น AE 3000
3.1.2	เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง	ยี่ห้อ Mettle	รุ่น AE 3000
3.1.3	เครื่องวิเคราะห์ไขมัน Soxhlet	ยี่ห้อ Gerhardt	รุ่น s306 AK
3.1.4	เครื่องวัดค่า Dielectric constant meter	ยี่ห้อEbro™ Food Oil Monitor	รุ่น FOM 310
3.1.5	หม้อทอดที่ควบคุมอุณหภูมิได้	ยี่ห้อ Fritel PROFI-LINE	รุ่น FRI-3505
3.1.6	ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven)	ยี่ห้อ Memmert	รุ่น PJ-300
3.1.7	เครื่องวัดสี colorimeter	ยี่ห้อ Minolta	รุ่น CR-300

3.1.8 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

3.1.9 โถดูดความชื้น dessicator

3.1.10 เตาไฟฟ้า hot plate

3.1.11 เทอร์โมมิเตอร์

3.1.12 เครื่องแก้ว

3.1.13 ถ้วยอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น

3.1.14 เครื่องครัว : หม้อแสตนเลส

3.2 วัตถุดิบ

3.2.1	เฟรนช์ฟรายส์แช่แข็ง	ยี่ห้อแลมเวสตัน
3.2.2	น้ำมันปาล์มโอเลอีน	ยี่ห้อมรกต
3.2.3	น้ำมันรำข้าว	ยี่ห้อชิม

3.3 สารเคมี

3.3.1	เอธิลแอลกอฮอล์ 95%	MERCK	Germany
3.3.2	ฟีนอล์ฟธาลีน 1% ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95%	CARLO ERBA	France
3.3.3	โซเดียมไฮดรอกไซด์	CARLO ERBA	France
3.3.4	อะเซติก : คลอโรฟอร์ม (3:2)	LAB – SCAN	Thailand
3.3.5	โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)	CARLO ERBA	France

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6	โซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มอล	Scharlau	Germany
3.3.7	โซเดียมไธโอซัลเฟต 0.01 นอร์มอล	Scharlau	Germany
3.3.8	ปิโตเลียมอีเทอร์ 40/60	LAB – SCAN	Thailand
3.3.9	กรดซัลฟูริค	CARLO ERBA	France
3.3.10	ไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid)	LAB – SCAN	Thailand
3.3.11	น้ำแป้ง (indicator) ความเข้มข้น 1%		

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีการดำเนินงาน

3.5.1. การศึกษาสัดส่วนของน้ำมันรำข้าวและน้ำมันปาล์มโอเลอีนที่ใช้ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์

ผสมน้ำมันในสัดส่วน น้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีนเป็น 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 นำเฟรนช์ฟรายส์แช่แข็งที่จำหน่ายในท้องตลาด ปริมาณ 0.5 กิโลกรัม มาทอดในน้ำมันแต่ละสัดส่วน โดยมีปัจจัยการควบคุมคือ อุณหภูมิ 170±1 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที ปริมาณน้ำมัน 5 ลิตร หลังจากทอดเสร็จปล่อยให้น้ำมันร้อนต่อเนื่องไปอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมงจึงปิดสวิทช์หม้อทอด ทำการกรองน้ำมัน น้ำมันที่ผ่านการทอดจะนำไปใช้ทอดเฟรนช์ฟรายส์ซ้ำในวันรุ่งขึ้น โดยทอดเฟรนช์ฟรายส์ปริมาณ 0.5 กิโลกรัม จนหมด แล้วปล่อยให้น้ำมันร้อนต่อเนื่องไปอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จึงปิดสวิทช์หม้อทอด ทำการกรองน้ำมัน ทำซ้ำอย่างนี้ต่อเนื่องกันจนครบ 15 วัน โดยในแต่ละวันที่สิ้นสุดการทอด ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันที่เย็นแล้วและเฟรนช์ฟรายส์ของทุกวันและทุกสัดส่วนเก็บน้ำมันโดยใส่ขวดสีชา เฟรนช์ฟรายส์เก็บใส่ถุงพลาสติกและนำไปแช่แข็งเพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

3.5.2. ศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันผสมสัดส่วนต่างๆ

ตรวจสอบสัดส่วนขององค์ประกอบ กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (SFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) ในน้ำมันผสมสัดส่วนต่างๆ โดยวิธีคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3. วิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันที่ผ่านการทอดเฟรนช์ฟรายส์ทางกายภาพและเคมี

นำน้ำมันที่ผ่านการทอดเฟรนช์ฟรายส์ไปกรอง เพื่อกำจัดเศษกากตะกอนที่ติดกับน้ำมัน จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

3.5.3.1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน

3.5.3.1.1. ปริมาณกรดไขมันอิสระ (AOCS Ca 5a-40) (1997)

3.5.3.1.2. ค่าเปอร์ออกไซด์ (AOCS Cd 8-53) (1997)

3.5.3.1.3. ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (Dielectric constant meter)

วัดค่าหลังจากที่ทอดเฟรนช์ฟรายส์ 8 นาทีแล้วปล่อยให้น้ำมันร้อนต่อเนื่องไปอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง วัดที่อุณหภูมิ 170±1 องศาเซลเซียส โดยกำหนดให้น้ำมันรำข้าวอยู่ในหมวดของเหลว และน้ำมันปาล์มโอเลอีนอยู่ในหมวดของแข็ง

3.5.3.2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน

3.5.3.2.1. สี (AOCS Ce 13c-50) (1997)

3.5.4. วิเคราะห์คุณภาพของเฟรนช์ฟรายส์หลังการทอด

3.5.4.1. การวัดค่า L* a* b* โดยใช้ Colorimeter (Minolta)

3.5.4.2. การอมน้ำมัน (ด้วยวิธี Soxhlet extraction)

3.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการทดลอง 2 ครั้งครั้งละ 15 วัน โดยหาค่าเฉลี่ยและนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาทำกราฟ สร้างสมการถดถอยเส้นตรง (linear regression) และหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ศึกษาสัดส่วนของน้ำมันรำข้าวและน้ำมันปาล์มโอเลอีนที่ใช้ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ โดยน้ำมันในสัดส่วน น้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีนเป็น 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, และ 0:100 นำเฟรนช์ฟรายส์แช่แข็งที่จำหน่ายในท้องตลาด ปริมาณ 0.5 กิโลกรัม มาทอดในน้ำมันแต่ละสัดส่วน โดยมีปัจจัยการควบคุมคือ อุณหภูมิ 170±1 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที ปริมาณน้ำมัน 5 ลิตร เป็นระยะเวลาติดต่อกันนาน 15 วัน โดยเก็บตัวอย่างน้ำมันและเฟรนช์ฟรายส์ที่ผ่านการทอดแล้วของแต่ละสัดส่วนในแต่ละวัน เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันดังนี้

4.1. ศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันผสมอัตราส่วนต่างๆ

โดยการตรวจสอบสัดส่วนขององค์ประกอบ กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (SFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) ในน้ำมันผสมสัดส่วนต่างๆ โดยวิธีคำนวณ

คำแนะนำขององค์การอาหารและเกษตร (FAO) องค์การอนามัยโลก (WHO) และ The American Heart Association ที่แนะนำให้มีสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) = <10 : 10-15 : < 10 หรือประมาณ 1:1:1 ในการนำไปใช้ โดยให้บริโภคอาหารที่มีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) สูงกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (SFA) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) (นัยนาและเรวดี, 2545) เนื่องจาก MUFA นอกจากจะลดคอเลสเตอรอลในไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low density lipoprotein cholesterol ; LDL-C) ซึ่งเป็นคอเลสเตอรอลไม่ดีที่มีส่วนทำให้เกิดการอุดตันในผนังหลอดเลือดแดงแล้ว ยังเพิ่มหรือคงระดับคอเลสเตอรอลในไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นสูง (Hith density lipoprotein cholesterol ; HDL-C) ซึ่งเป็นคอเลสเตอรอลที่ดีที่ช่วยพาคอเลสเตอรอลในเซลล์และกระแสเลือดไปเผาผลาญและกรดไขมันอิ่มตัวที่พบในไขมันสัตว์ทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดสูงขึ้น

สัดส่วนของชนิดกรดไขมันในน้ำมันรำข้าวและน้ำมันปาล์มโอเลอีน มีกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) เป็น 1.8 : 4.5 : 3.7 และ 5 : 3.9 : 1 ตามลำดับ (นัยนาและเรวดี, 2545) เมื่อคำนวณสัดส่วนของ SFA:MUFA:PUFA จากการผสมน้ำมันในสัดส่วนน้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 ได้สัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนขององค์ประกอบ กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (SFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) ในน้ำมันผสมสัดส่วนต่างๆ

สัดส่วน น้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน	กรดไขมัน ชนิดอิ่มตัว (SFA)	กรดไขมัน ไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA)	กรดไขมัน ไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA)
100:0	1	2.50	2.05
75:25	1	2.07	1.55
50:50	1	1.64	1.10
25:75	1	1.21	0.65
0:100	1	0.78	0.20

ซึ่งจะพบว่าสัดส่วนการผสมน้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน ทั้ง 3 สัดส่วนคือ 75:25 50:50 และ 25:75 ทำให้ได้ค่าเป็น 1:2.1:1.6, 1:1.6:1.1 และ 1:1.2:0.7 ตามลำดับ โดยทั้ง 3 สัดส่วนของน้ำมันผสมค่าใกล้เคียงกับคำแนะนำ

ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงต้องการศึกษาว่าการผสมน้ำมันในสัดส่วนข้างต้น จะมีผลต่อคุณสมบัติการทอดของน้ำมัน และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เฟรนช์ฟรายส์อย่างไรบ้าง

4.2. วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันที่ทอดเฟรนช์ฟรายส์ติดต่อกันเป็นเวลา 15 วัน

4.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมัน

4.2.1.1. ปริมาณกรดไขมันอิสระ

จากการวิเคราะห์เส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันผสมทุกสัดส่วน พบว่าค่ากรดไขมันอิสระมีแนวโน้มเพิ่มเป็นเส้นตรง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.8331 ถึง 0.9883 แสดงถึงการเสื่อมเสียคุณภาพด้านเคมีของน้ำมัน จากการวัดค่ากรดไขมันอิสระ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง (ภาพที่ 4.1) น้ำมันรำข้าว (100:0) มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระช้ากว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีน (0:100) เนื่องจากความชัน (ตารางที่ 4.2) ของน้ำมันรำข้าว (100:0) มีค่าต่ำกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีน (0:100) ในสัดส่วนของน้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน 75:25 50:50 และ 25:75 อัตราการเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันมากนักกล่าวคือมีค่าความชันเป็น 0.0142 0.0178 0.0173 (ค่ากรดไขมันอิสระ/วัน)ตามลำดับ ซึ่งความชันอยู่ระหว่างน้ำมันรำข้าว (100:0) และน้ำมันปาล์มโอเลอีน (0:100) ค่าเริ่มต้นของน้ำมันรำข้าวและน้ำมันปาล์มโอเลอีนมีค่าใกล้เคียงกัน แต่หลังจากการทอดครบ 15 วันแล้ว ค่ากรดไขมันอิสระของ

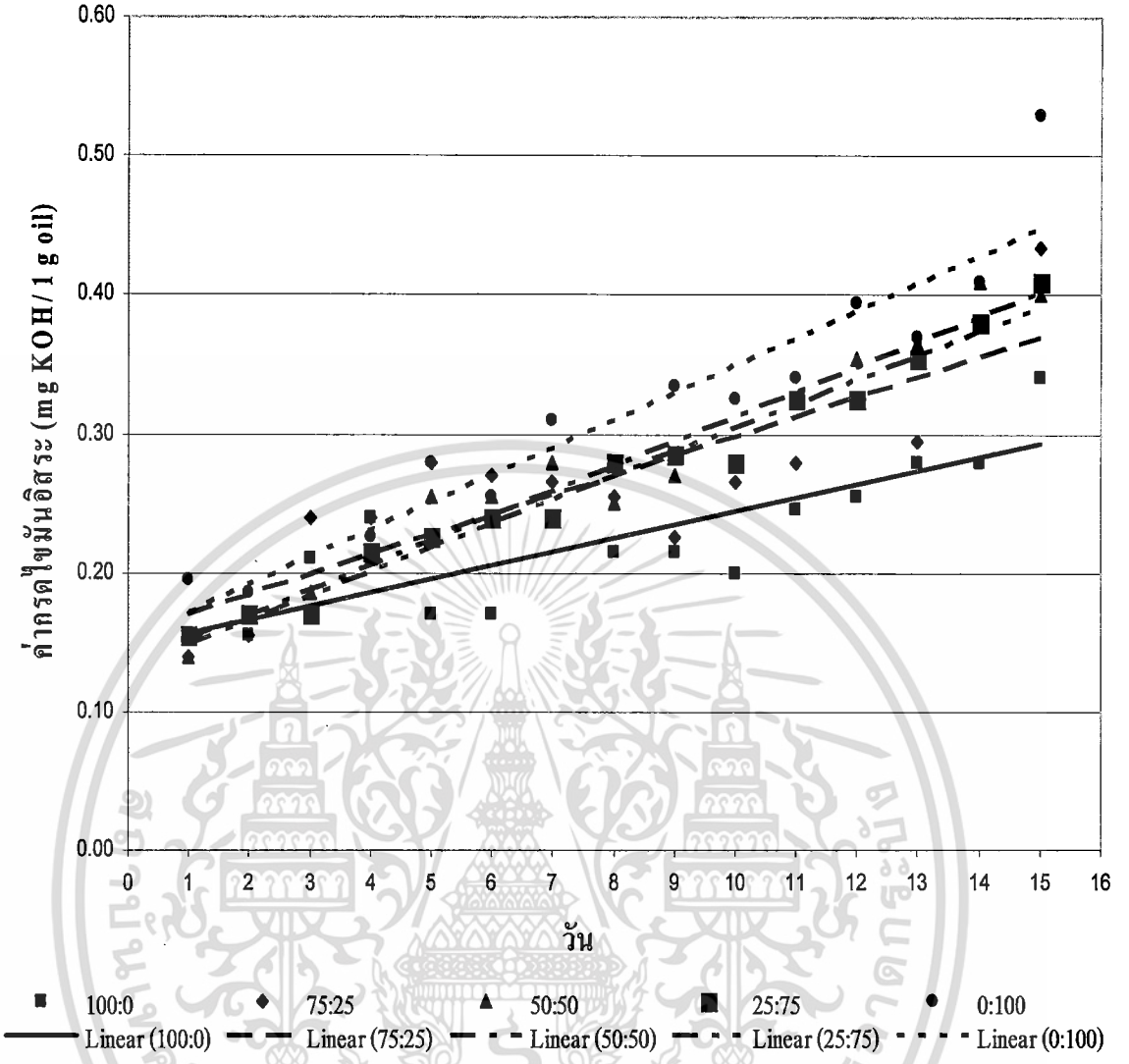
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันปาล์มโอเลอีนมีค่า0.53 mg KOH/ 1 g oil โดยค่าเริ่มเข้าใกล้ 0.6 mg KOH/ 1 g oilซึ่งเป็นค่าที่เกินมาตรฐานกำหนด ส่วนน้ำมันรำข้าวค่ายังใช้ได้ตามมาตรฐาน

กรดไขมันอิสระเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอดอาหารแบบน้ำมันท่วม ไอน้ำในอาหารจะทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ จะถูกย่อยเป็นกรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และกลีเซอรอล (O'Brien, 1993) อัตราการเกิดปฏิกิริยา ไฮโดรไลซิสหรือการเกิดกรดไขมันอิสระขึ้นอยู่กับปัจจัย คือ ปริมาณน้ำจากผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ใช้ อุณหภูมิที่สูงจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ปริมาณอาหารที่ไหม้เกรียมซึ่งเป็นตัวเร่งการเกิดกรดไขมันอิสระ (Perkins and Erickson, 1996)

จุดเกิดควัน คือ อุณหภูมิน้ำมันได้รับความร้อนจนเกิดเป็นควันขึ้น เป็นสมบัติที่สำคัญของน้ำมันในการจะนำไปใช้ในการทอดอาหาร บ่งบอกถึงความคงทนความร้อนของน้ำมันเมื่อสัมผัสกับความร้อนในอากาศ เป็นการแสดงถึงคุณภาพของน้ำมันที่จะนำมาใช้ โดยน้ำมันที่มีจุดเกิดควันต่ำเกินไปไม่ควรนำมาใช้ในการทอด น้ำมันสำหรับใช้ในการทอดอาหารที่ดีต้องทนความร้อนไม่สลายตัวเป็นควันที่อุณหภูมิต่ำ เพราะถ้าเกิดควันขณะทอดจะทำให้อาหารมีกลิ่นควันติดไปด้วย ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันมีความสัมพันธ์ต่ออุณหภูมิที่ทำให้เกิดควัน หากน้ำมันมีกรดไขมันอิสระต่ำจะทำให้จุดเกิดควันสูง แต่ถ้ามีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ค่าจุดเกิดควันจะลดลง น้ำมันรำข้าวมีจุดเกิดควันสูงกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีน น้ำมันรำข้าวมีจุดเกิดควัน 251 องศาเซลเซียสและน้ำมันปาล์มโอเลอีนมีจุดเกิดควัน 216 องศาเซลเซียส (Razali and Badri, 2003) จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำมันรำข้าวมีความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้กว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันผสมสัดส่วนต่างๆ ภายหลังที่ใช้ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ต่อเนื่องเป็นเวลา 15 วัน

ตารางที่ 4.2 ค่าความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกรดไขมันอิสระของน้ำมันผสมที่สัดส่วนต่างๆ

สัดส่วน น้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน	ค่าความชัน (ค่ากรดไขมันอิสระ/วัน)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
100:0	0.0097	0.8331
75:25	0.0142	0.8549
50:50	0.0178	0.9732
25:75	0.0173	0.9883
0:100	0.0197	0.9449

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2. ค่าเปอร์ออกไซด์

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์พบว่าน้ำมันรำข้าว (100:0) มีอัตราการเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันกับน้ำมันปาล์มโอเลอีน (0:100) พบว่ามีแนวโน้มเป็นเส้นตรง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.7963 ถึง 0.9593 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันรำข้าวสูงกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีนเล็กน้อย โดยมีความชันมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2224 ถึง 0.3484 (ตารางที่ 4.3) ค่าเปอร์ออกไซด์เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาเคมีที่ออกซิเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับน้ำมันตรงตำแหน่งพันธะคู่ ทำให้เกิดความเสื่อมเสียคุณภาพด้านเคมีแก่น้ำมัน ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในช่วงการเก็บรักษา แต่เมื่อมีการให้ความร้อนแก่น้ำมันปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดสารประกอบไฮโดรเพอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็น primary oxidation products มีสมบัติไม่เสถียรคือ สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบอื่น ๆ (secondary oxidation products) ได้จากการแตกตัวเป็นแอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ กรด และไฮโดรคาร์บอน จากการสูญเสียน้ำได้ คีโตน จากการก่อรูปของอนุมูลอิสระ ได้แก่ oxidative monomers, oxidative dimers, oxidative polymers, trimers, epoxides, alcohols, hydrocarbons, nonpolar dimers และ polymers (Perkins and Erickson, 1996) สารประกอบเหล่านี้ทำให้น้ำมันและอาหารที่ผ่านการทอดเกิดกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ (Warner, 1997)

น้ำมันรำข้าวและน้ำมันปาล์มโอเลอีนเป็นน้ำมันพืชที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) เป็น 18 : 45 : 37 และ 50 : 39 : 10 ตามลำดับ จึงทำให้น้ำมันรำข้าวมีองค์ประกอบของกลุ่มกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึง 82 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำมันปาล์มโอเลอีนที่มีเพียง 49 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันรำข้าวจึงมีแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้สูงกว่า ดังจะเห็นได้จากอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าเปอร์ออกไซด์ที่สูงกว่าเล็กน้อย อย่างไรก็ตามการที่ค่าการเปลี่ยนแปลงไม่สูงกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีนมากนักเป็นสาเหตุเนื่องจาก

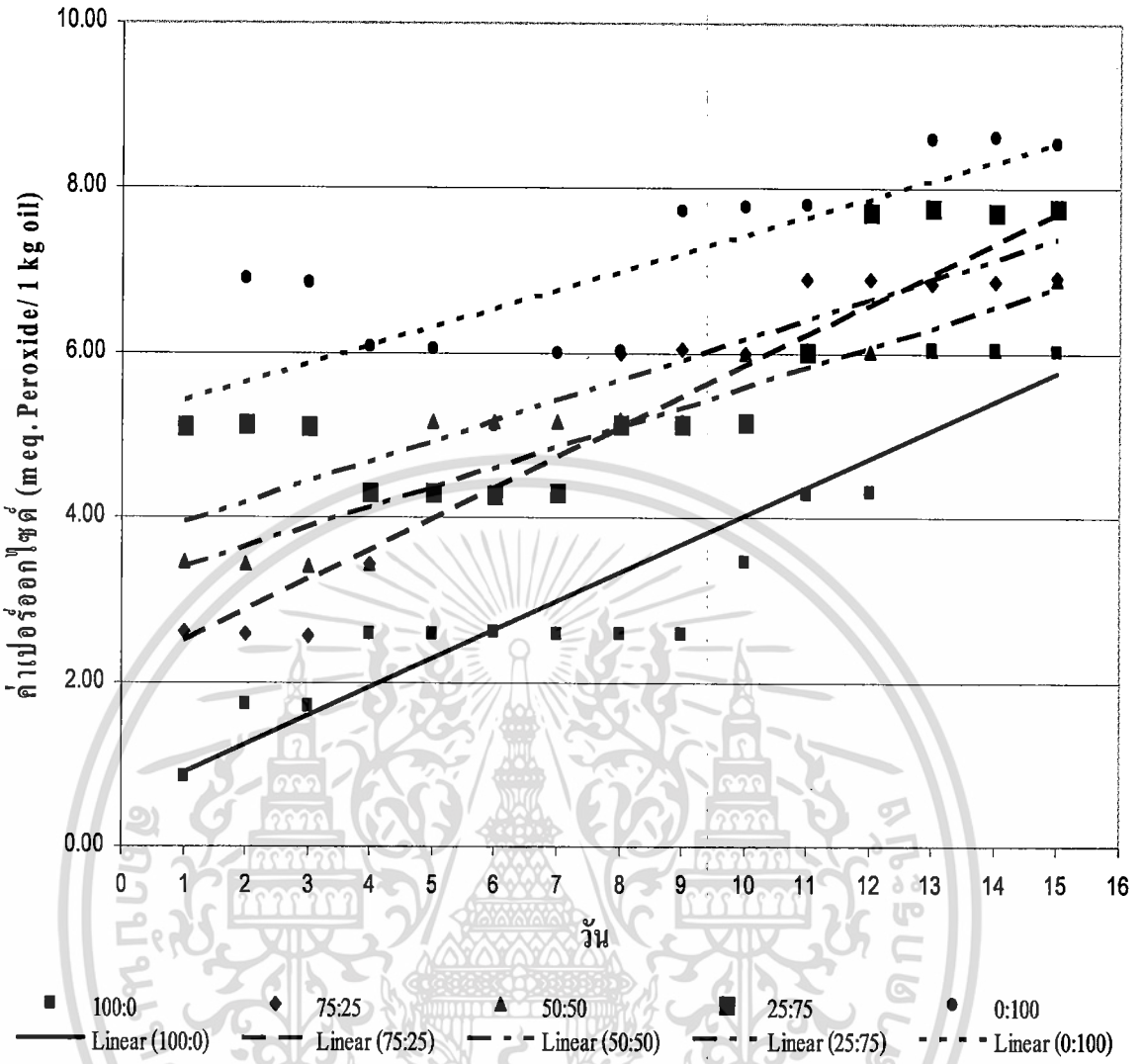
ในน้ำมันรำข้าวมีสารแอนติออกซิแดนท์ซึ่งได้แก่ แอลฟา-โทโคฟีรอลร้อยละ 19-40 โทโคไตรอีนอลร้อยละ 51-81 และโอรีไซนอลซึ่งสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าวิตามินอีถึง 6 เท่า สำหรับโอรีไซนอลมีเฉพาะในน้ำมันรำข้าว (Machlin, 1990) ส่วนในน้ำมันปาล์มโอเลอีนมีสารแอนติออกซิแดนท์ (Boskou and Elmadfa, 1999) ซึ่งได้แก่ แอลฟา-โทโคฟีรอลร้อยละ 0.03 ถึง 0.05 และ โทโคไตรอีนอล

นอกจากนี้น้ำมันปาล์มเองในทางการค้ามีการเติมสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันสังเคราะห์ที่ใช้เติมลงในอาหารส่วนใหญ่ ได้แก่ Butylated hydroxyanisole (BHA) Butylated hydroxytoluene (BHT) propyl gallate (PG) Di-*tert*-butyl hydroxyquinone (TBHQ) (Machlin, 1990) ในขณะที่น้ำมันรำข้าวในการผลิตและบรรจุขวดจำหน่ายไม่จำเป็นต้องเติมสารต้านออกซิเดชันแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงจะใกล้เคียงกัน แต่ค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นของน้ำมันทั้ง 2 ชนิด แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยน้ำมันรำข้าวมีค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้น 0.86 น้ำมันปาล์มโอเลอีนมีค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้น 5.12 ซึ่งแสดงถึงเสถียรภาพที่ดีกว่าของน้ำมันรำข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมสัดส่วนต่างๆ ภายหลังที่ใช้ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ต่อเนื่องเป็นเวลา 15 วัน

ตารางที่ 4.3 ค่าความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันผสมทสัดส่วนต่างๆ

สัดส่วน น้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน	ค่าความชัน (ค่าเปอร์ออกไซด์/วัน)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
100:0	0.3484	0.9389
75:25	0.3373	0.9593
50:50	0.2411	0.9342
25:75	0.2450	0.7963
0:100	0.2224	0.8152

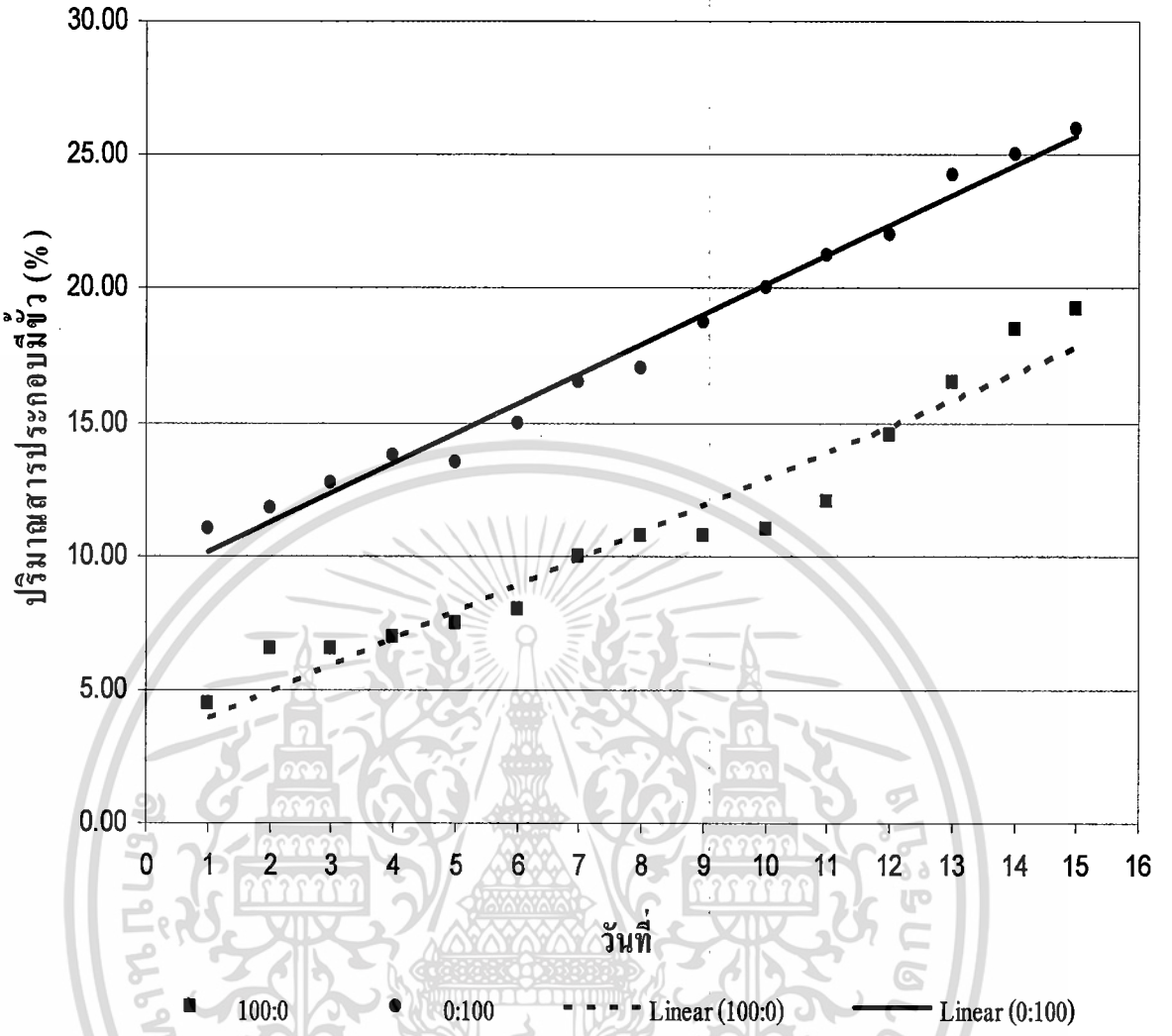
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3. ปริมาณสารประกอบมีขั้ว (polar compound)

สารประกอบมีขั้ว เกิดจากไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีขั้วในน้ำมันถูกไฮโดรไลซีส ออกซิไดซ์ และโพลิเมอร์ไรซ์ได้สารประกอบที่มีขั้ว เช่น กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ออกซิไดส์ไตรกลีเซอไรด์ ไซคลิกโมโนเมอร์ ไดเมอร์และโพลิเมอร์ของไตรกลีเซอไรด์ ไดเมอร์และโพลิเมอร์ที่ถูกออกซิไดส์ ดังนั้น (Riera และคณะ, 2000) สารประกอบมีขั้วจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพและการยอมรับของน้ำมันใช้แล้วในทุกประเทศ หากมีสารประกอบมีขั้วมากในน้ำมันทอดจะมีผลต่อกลิ่นรสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารโดยทั่วไปจึงอนุญาตให้น้ำมันใช้แล้วมีปริมาณของสารประกอบมีขั้วไม่มากกว่า 25-30%

จากการวิเคราะห์น้ำมันรำข้าว (100:0) และน้ำมันปาล์มโอเลอีน (0:100) มีแนวโน้มอัตราการเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.4) อย่างไรก็ตามค่าปริมาณสารประกอบมีขั้วเมื่อทอดครบ 15 วัน น้ำมันปาล์มโอเลอีน (0:100) มีปริมาณมากกว่า 25% ซึ่งแสดงว่าคุณภาพของน้ำมันเสื่อมเสียไม่เป็นที่ยอมรับ (ภาพที่ 4.3) ในขณะที่น้ำมันรำข้าว (100:0) ถึงแม้ว่าจะทอดครบวันที่ 15 แล้วปริมาณของสารประกอบมีขั้วค่ายังน้อยกว่า 20% ซึ่งแสดงว่าน้ำมันรำข้าว (100:0) คุณภาพของน้ำมันยังสามารถเป็นที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ปริมาณสารประกอบมีขั้วของการผสมน้ำมันสัดส่วนต่างๆ ในการทอดเฟรนช์ ฟรายช์ 15 วัน

ตารางที่ 4.4 ค่าความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันที่สัดส่วนต่างๆ

สัดส่วน น้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน	ค่าความชัน (ปริมาณสารประกอบมีขั้ว/วัน)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
100:0	1.1089	0.9929
0:100	0.9839	0.9689

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน

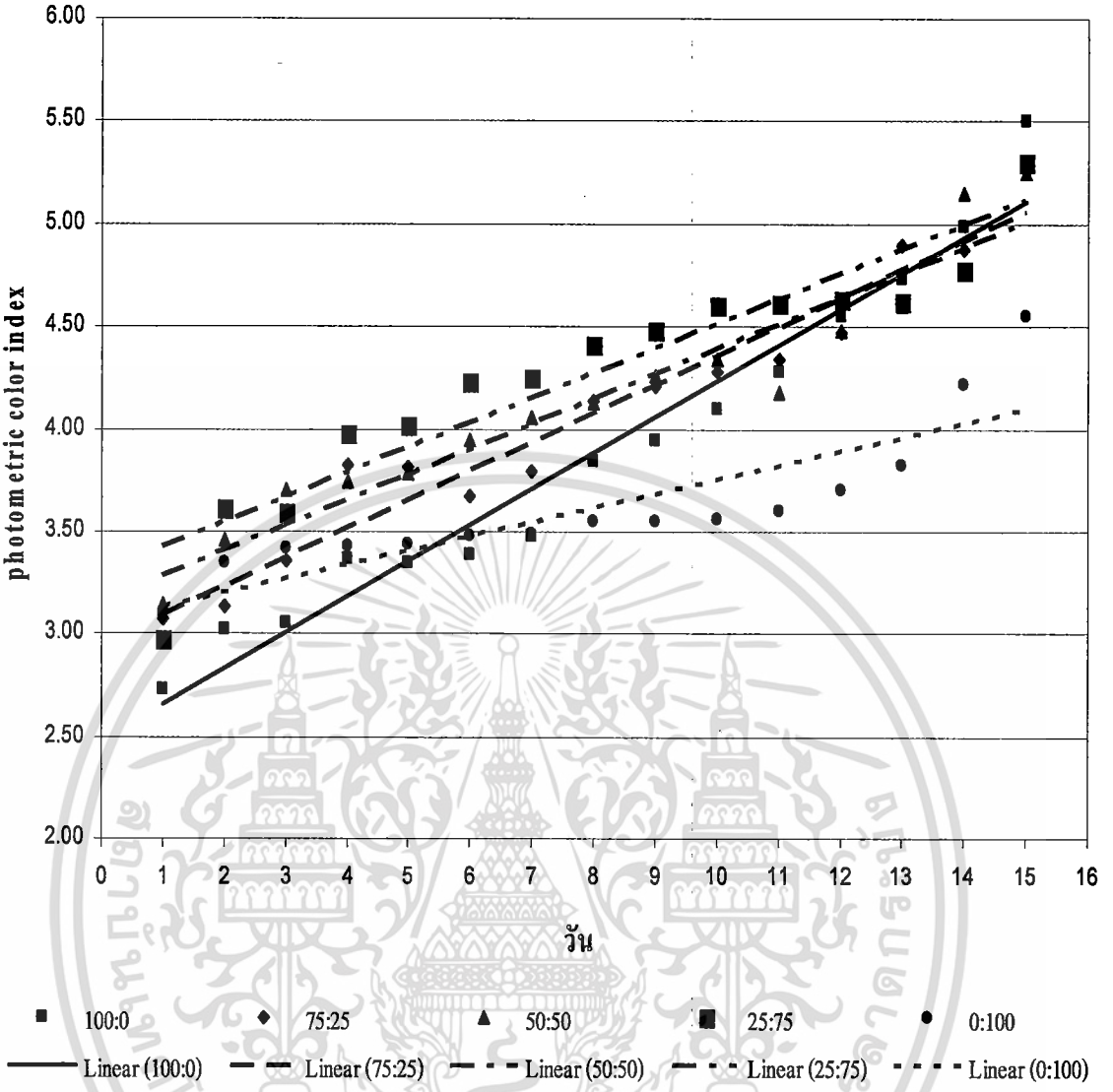
4.2.2.1. สี

สีของน้ำมันที่คล้ำขึ้นเป็นผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเปลี่ยนแปลงของสีในอาหารที่ผ่านการทอดสามารถละลายในน้ำมันและทำให้น้ำมันมีสีคล้ำขึ้น (Melton *et al.*, 1994) สีของน้ำมันเป็นตัวชี้บ่งคุณภาพของน้ำมัน น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรงควัตถุที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมัน และวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสี น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม อาหารทุกชนิดที่ทอดจะให้สารพวก ฟอสเฟต และซัลเฟอร์ ซึ่งสารที่ออกมาเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำมันทอด ทำให้น้ำมันมีสีดำ และจะสะสมอยู่ในน้ำมันระหว่างการทอดอาหาร เมื่อน้ำมันดำขึ้นหลังจากการทอด อาหารที่ทอดในน้ำมันนี้จะมีสีดำในอัตราที่รวดเร็วมากจนถึงจุดซึ่งอาหารที่ทอดจะดำเกินไปทั้งที่ยังไม่สุกหมด

จากการวิเคราะห์สีของน้ำมันรำข้าว (100:0) พบว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีน (0:100) เนื่องจากความชัน (ตารางที่ 4.5) ของน้ำมันรำข้าว (100:0) มากกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีน (0:100) แต่ในสัดส่วนของน้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน 75:25 50:50 และ 25:75 มีอัตราการเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 4.4) และสังเกตพบว่าสีที่เข้มขึ้นมีแนวโน้มไปทางน้ำมันรำข้าวมากกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีน

ในช่วงแรกน้ำมันรำข้าวมีสีอ่อนกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีน ถึงวันที่ 6 สีของน้ำมันเมื่อมองด้วยตาเปล่าสีใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นน้ำมันรำข้าวเริ่มเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าโดยที่สีต่างกันอย่างอย่างชัดเจนหลังจากวันที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 ค่าสีของการผสมน้ำมันสัดส่วนต่างๆ ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน

ตารางที่ 4.5 ค่าความชันและค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ค่าสีของน้ำมันที่สัดส่วนต่างๆ

สัดส่วน น้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน	ค่าความชัน (ค่าสีของน้ำมัน/วัน)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
100:0	0.1750	0.9794
75:25	0.1404	0.9744
50:50	0.1232	0.9599
25:75	0.1210	0.9433
0:100	0.0689	0.8624

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. วิเคราะห์คุณภาพของเฟรนช์ฟรายส์หลังการทอด

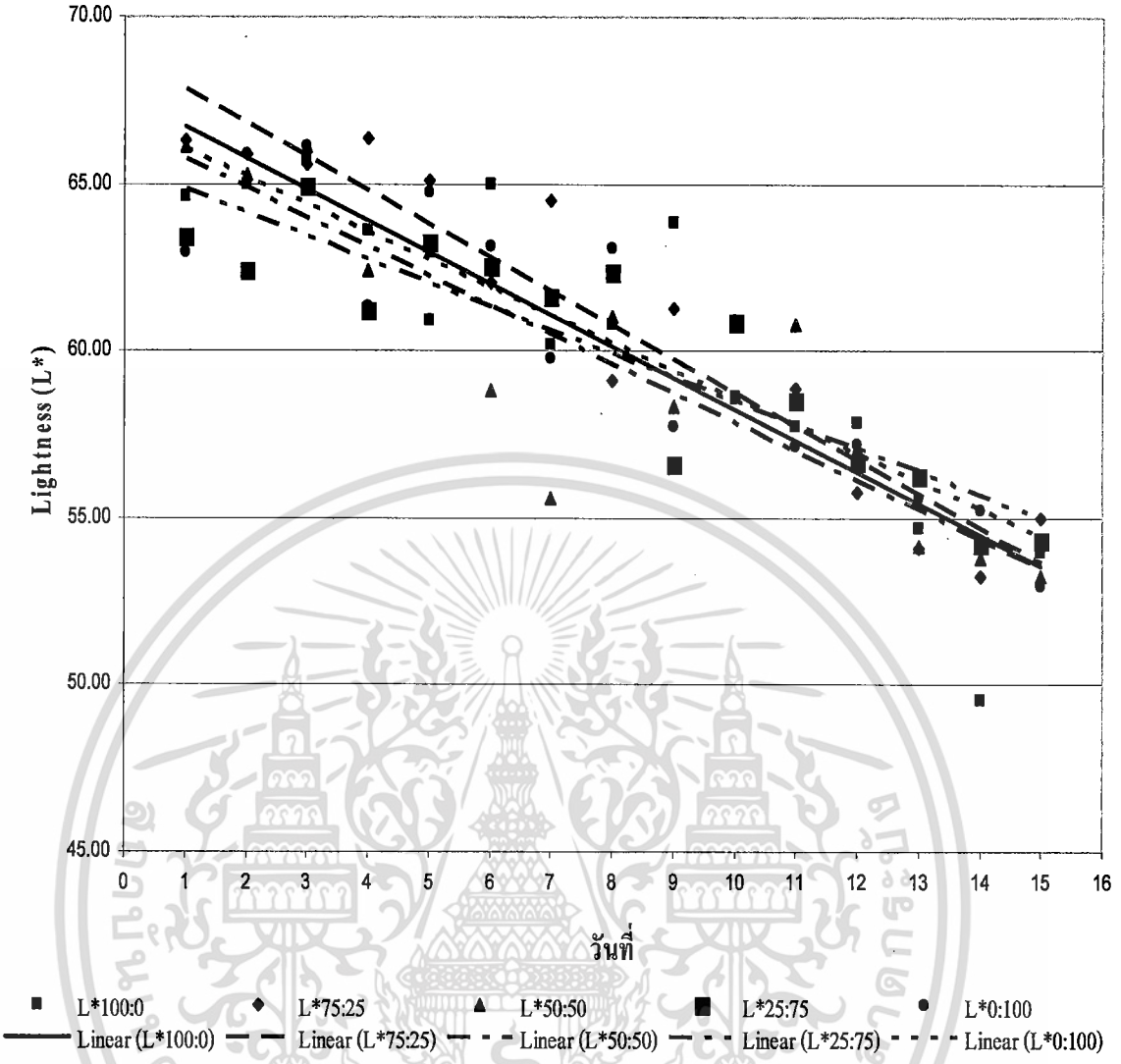
4.3.1. การวัดค่า L* a* b* (color measurement)

จากการทดลองพบว่า ค่า L* หรือค่าความสว่างลดลง (ภาพที่ 4.5) เนื่องจากเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดแบบ non-enzymic browning โดยกรดอะมิโนหรือกลุ่มกรดอะมิโนของโปรตีนและเปบไทด์ทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์ซิ่ง (กลูโคสหรือฟรุคโตส) ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ (Leszkowiat *et al.*, 1990) โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในกระบวนการทอด ทำให้เกิดองค์ประกอบสีน้ำตาล สีน้ำตาลนี้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิมากกว่า 150 องศาเซลเซียส (Pokorny, 1999) และจากการทอดเฟรนช์ฟรายส์ก็พบว่ามีแนวโน้มที่มีค่าความสว่างลดลงคงที่เป็นเส้นตรง (ตารางที่ 4.6) โดยมีแนวโน้มเหมือนกันในทุกสัดส่วนของการผสมน้ำมัน

ค่า a* ที่เป็นบวก บอกความเป็นสีแดงของเฟรนช์ฟรายส์ (ภาพที่ 4.6) เฟรนส์ฟรายส์ให้ค่า a* เพิ่มขึ้นเมื่อทอดเฟรนช์ฟรายส์ติดต่อกันเป็นเวลา 15 วัน การทอด ณ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที ทำให้เฟรนช์ฟรายส์มีสีแดงเพิ่มมากขึ้นค่าความชันใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.7) และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเหมือนกันในทุกสัดส่วนการผสมน้ำมัน

ค่า b* เป็นบวก บอกความเป็นสีเหลืองของเฟรนช์ฟรายส์ เมื่อเพิ่มวันในการทอด ไม่สามารถบอกแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงของการหาค่า b* ได้ (ภาพที่ 4.7) เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์(ตารางที่ 4.8) ที่ได้จากกราฟมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะเมื่อใช้สัดส่วนผสมน้ำมันรำข้าวเพิ่มมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



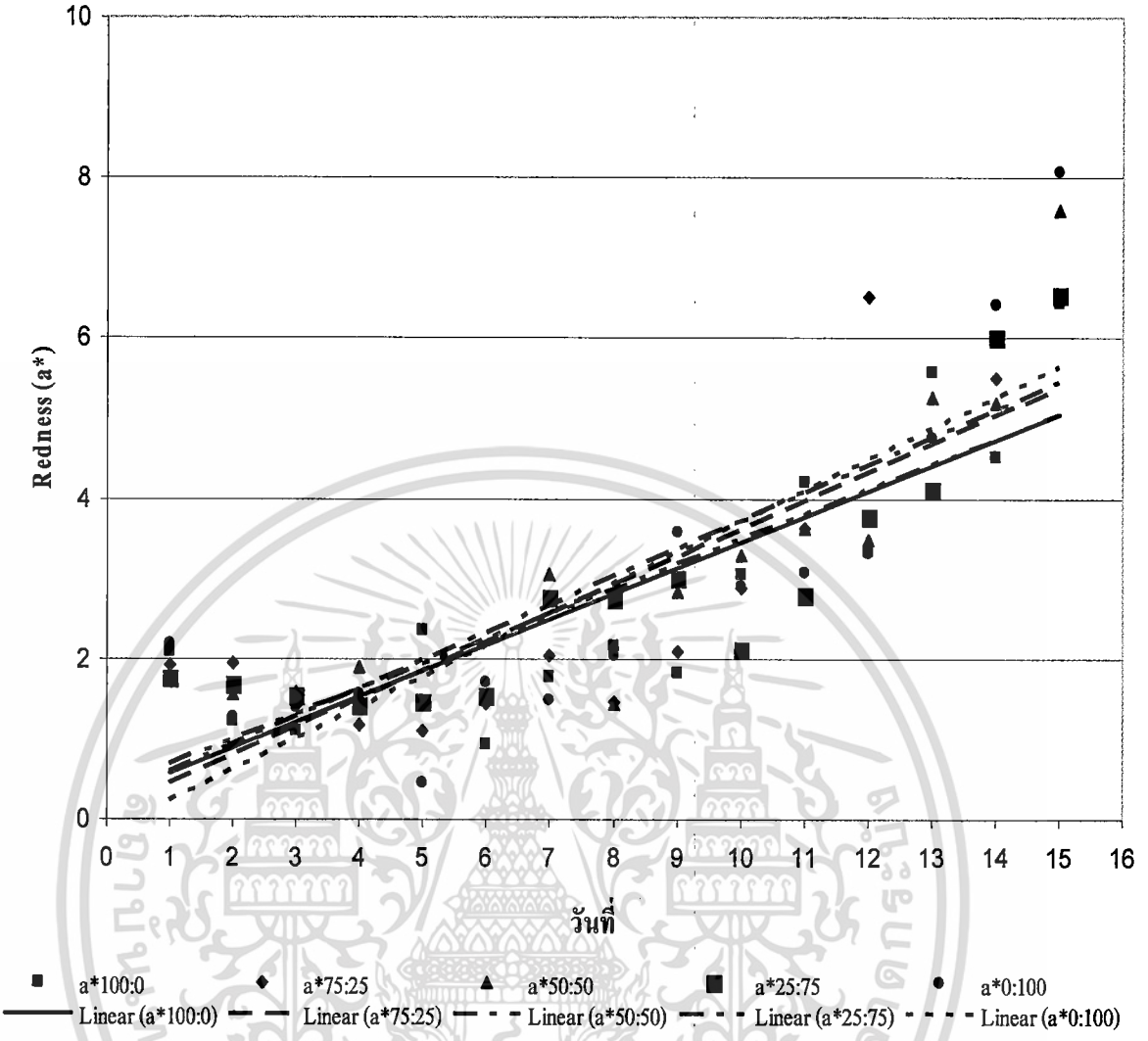
ภาพที่ 4.5 ค่า L* ของการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน ในการผสมน้ำมันสัดส่วนต่างๆ

หมายเหตุ L* = 0 จะมองเห็นเป็นสีดำ L* = 100 จะมองเห็นเป็นสีขาว

ตารางที่ 4.6 ค่าความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์การวัดค่า L* ของเฟรนช์ฟรายส์ที่สัดส่วนต่างๆ

สัดส่วน น้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน	ค่าความชัน (ค่าสี L*/วัน)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
100:0	-0.9393	0.8833
75:25	-1.0139	0.9529
50:50	-0.8723	0.8892
25:75	-0.7046	0.8934
0:100	-0.8283	0.9016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



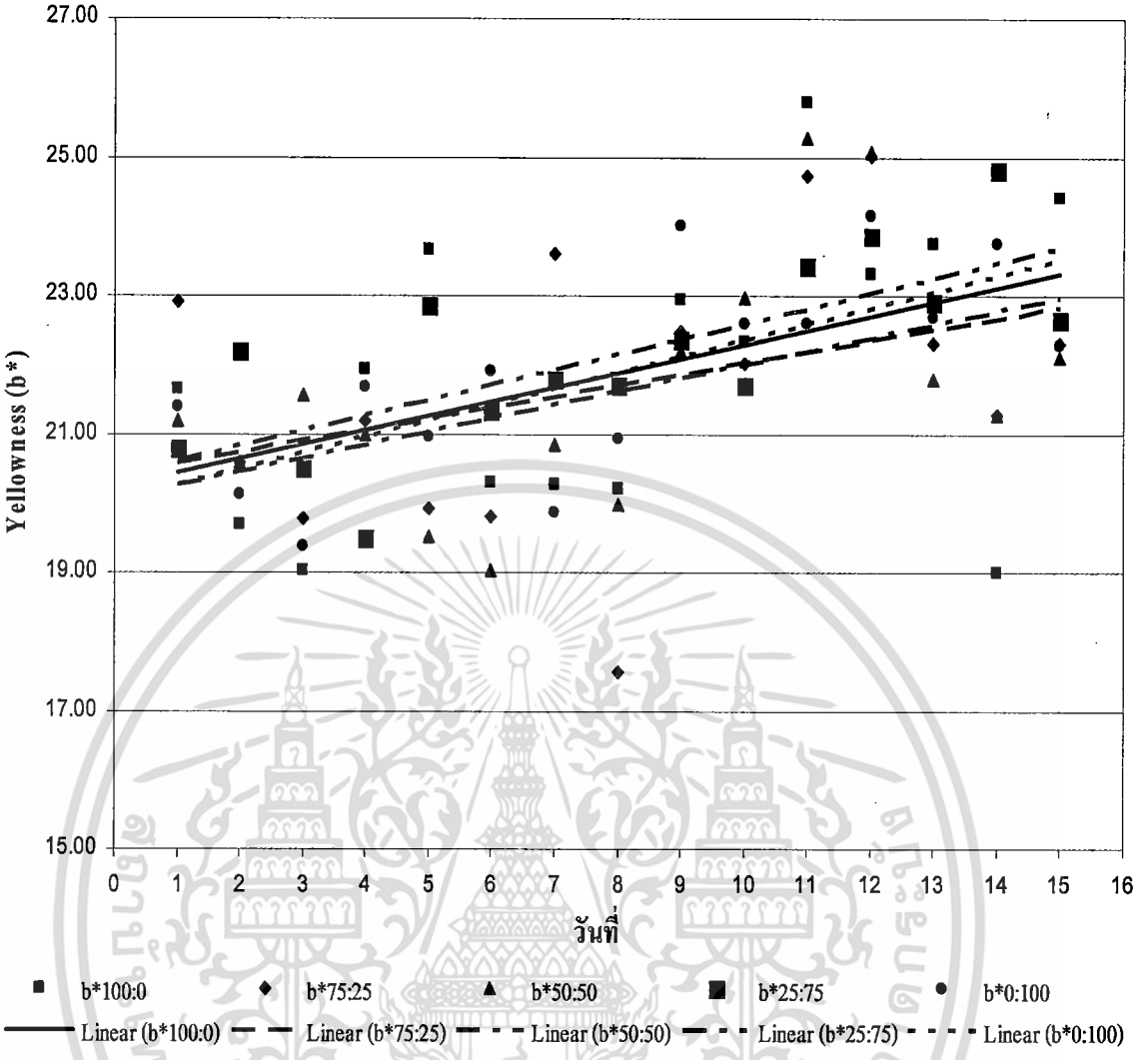
ภาพที่ 4.6 ค่า a* ของการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน ในการผสมน้ำมันสัดส่วนต่างๆ

หมายเหตุ a* มีค่า + ไปในทิศทางของสีแดง a* มีค่า - ไปในทิศทางของสีเขียว

ตารางที่ 4.7 ค่าความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์การวัดค่า a* ของเฟรนช์ฟรายส์ที่สัดส่วนต่างๆ

สัดส่วน น้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน	ค่าความชัน (ค่าสี a*/วัน)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
100:0	0.3198	0.8485
75:25	0.3515	0.8277
50:50	0.3473	0.8597
25:75	0.3113	0.8601
0:100	0.3869	0.8314

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 ค่า b* ของการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน ในการผสมน้ำมันสัดส่วนต่างๆ

หมายเหตุ b* มีค่า + ไปในทิศทางของสีเหลือง b* มีค่า - ไปในทิศทางของสีน้ำเงิน

ตารางที่ 4.8 ค่าความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์การวัดค่า b* ของเฟรนช์ฟรายส์ที่สัดส่วนต่างๆ

สัดส่วน น้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน	ค่าความชัน (ค่าสี b*/วัน)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
100:0	0.2054	0.4402
75:25	0.1616	0.3624
50:50	0.1949	0.4928
25:75	0.2196	0.7215
0:100	0.2316	0.7024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

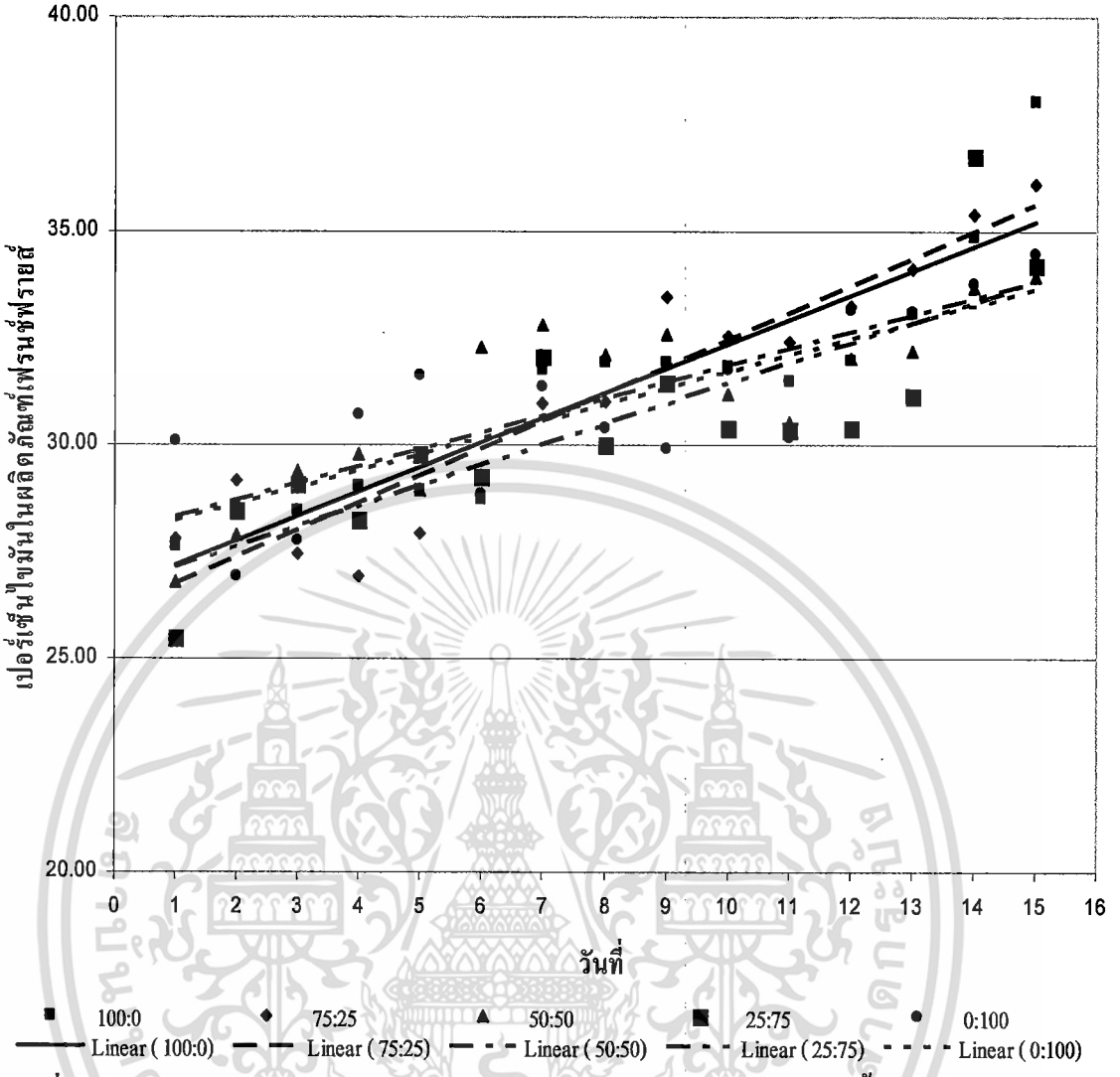
4.3.2. การอมน้ำมัน (ด้วยวิธี Soxhlet extraction)

จากการทอดเฟรนช์ฟรายส์ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที เป็นเวลา 15 วันโดยใช้น้ำมันสัดส่วนต่างๆ กัน พบว่าปริมาณน้ำมันในเฟรนช์ฟรายส์ค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อัตราคงที่เป็นเส้นตรง (ตารางที่ 4.9) ตามจำนวนวันที่ทอดไปในทิศทางเดียวกัน (ภาพที่ 4.8) และมีแนวโน้มใกล้เคียงกันทั้งการใช้น้ำมันรำข้าวหรือน้ำมันปาล์มโอเลอีนอย่างเดียว และการผสมในสัดส่วนต่างๆ

ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นโดยเฟรนช์ฟรายส์ที่ทอดด้วยน้ำมันทุกๆสัดส่วนการผสม มีค่าเพิ่มขึ้นจากประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ในการทอดวันที่ 1 ไปเป็นปริมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ หลังจากใช้น้ำมันทอด 15 วัน ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่สูงจะส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภค

การเกิดฟองของน้ำมันมีสาเหตุมาจากสารประกอบบางชนิดที่ทำปฏิกิริยาที่ผิวหน้าของน้ำมันซึ่งอาจถูกกระตุ้นโดยสารเกิดฟอง (foaming agent) เมื่อทอดอาหารด้วยน้ำมันที่เกิดฟองจะทำให้อาหารอมน้ำมันและไม่กรอบ (Paul and Mittal, 1996) โดยความหนืดของน้ำมัน เกิดขึ้นจากน้ำมันเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้นและเมื่ออุณหภูมิของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้นซึ่งการที่ความหนืดของน้ำมันทอดเพิ่มขึ้นนั้นมีผลมาจากในระหว่างการทอดมีการเกิดสารโพลีเมอร์ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำมันมีความหนืดและเกิดฟองมากขึ้นปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันและอาจเกิดได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส และไอโซเมอไรเซชัน น้ำมันที่มีความหนืดจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง จึงเป็นผลให้ต้องใช้เวลาในการทอดนานขึ้นและยังทำให้อาหารที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันดังกล่าวอมน้ำมัน (McGill, 1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์ไขมันของการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วันในการผสมน้ำมันสัดส่วนต่างๆ

ตารางที่ 4.9 ค่าความชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์ไขมันในเฟรนช์ฟรายส์ที่สัดส่วนต่างๆ

สัดส่วน น้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน	ค่าความชัน (เปอร์เซ็นไขมัน/วัน)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
100:0	0.5724	0.9142
75:25	0.6308	0.9425
50:50	0.3924	0.8289
25:75	0.4754	0.8148
0:100	0.3875	0.8053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการชิมของผู้ทดลองพบว่า ในน้ำมันผสมทั้ง 5 สัดส่วนคือ น้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 เฟรนช์ฟรายส์ที่ทอดได้ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการทอด 4-5 วันแรกลักษณะสียังอ่อนอยู่ และเฟรนช์ฟรายส์เองก็ยังมีลักษณะกรอบแข็งแต่เมื่อทอดหลังจากวันที่ 5-6 สีของเฟรนช์ฟรายส์เริ่มสวยขึ้นและเฟรนช์ฟรายส์เองรสชาติก็ดีขึ้น แต่หลังจากทอดไปแล้ว 12 วัน เฟรนช์ฟรายส์เริ่มมีการอมน้ำมันมากขึ้นโดยสีของเฟรนช์ฟรายส์เริ่มเข้มขึ้นจนทำให้ผลิตภัณฑ์เฟรนช์ฟรายส์ที่ได้เป็นที่ไม่ยอมรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

คุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของน้ำมันและเฟรนช์ฟรายส์ในการทอดของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มโอเลอีนและน้ำมันรำข้าวในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ในสัดส่วนน้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 โดยทอดติดต่อกันเป็นระยะเวลา 15 วัน โดยสรุปได้ดังนี้

1. จากสัดส่วนน้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันผสมอัตราส่วนต่างๆ ตรวจสอบสัดส่วนขององค์ประกอบกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (SFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) ในน้ำมันผสมสัดส่วนต่างๆ โดยวิธีคำนวณ สัดส่วนการผสมน้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน ทั้ง 3 สัดส่วนคือ 75:25 50:50 และ 25:75 ทำให้ได้ค่าเป็น 1:2.1:1.6, 1:1.6:1.1 และ 1:1.2:0.7 ตามลำดับ โดยทั้ง 3 สัดส่วนของน้ำมันผสมค่าใกล้เคียงกับคำแนะนำขององค์การอาหารและเกษตร (FAO) องค์การอนามัยโลก (WHO) และ The American Heart Association แนะนำคือ 1:1:1

2. ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันรำข้าว (100:0) มีอัตราการเพิ่มขึ้นช้ากว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีน (0:100) แต่ในสัดส่วนของน้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน 75:25 50:50 และ 25:75 มีอัตราการเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน ซึ่งความชันอยู่ระหว่างน้ำมันรำข้าว (100:0) และ น้ำมันปาล์มโอเลอีน (0:100)

3. ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันรำข้าว (100:0) มีอัตราการเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับน้ำมันปาล์มโอเลอีน (0:100) แต่ในสัดส่วนของน้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน 75:25 50:50 และ 25:75 อัตราการเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน

4. ปริมาณสารประกอบมีขั้วน้ำมันรำข้าว (100:0) และน้ำมันปาล์มโอเลอีน (0:100) มีแนวโน้มอัตราการเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามค่าปริมาณสารประกอบมีขั้วเมื่อทอดครบ 15 วัน น้ำมันปาล์มโอเลอีน (0:100) มีปริมาณมากกว่า 25% ซึ่งแสดงว่าคุณภาพของน้ำมันเสื่อมเสียไม่เป็นที่ยอมรับในขณะที่น้ำมันรำข้าว (100:0) ถึงแม้ว่าจะทอดครบวันที่ 15 แล้วปริมาณของสารประกอบมีขั้วค่ายังน้อยกว่า 20% ซึ่งแสดงว่าน้ำมันรำข้าว (100:0) คุณภาพของน้ำมันยังสามารถเป็นที่ยอมรับได้

5. สีของน้ำมันรำข้าว (100:0) มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีน (0:100) แต่ในสัดส่วนของน้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน 75:25 50:50 และ 25:75 มีอัตราการเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน และสังเกตพบว่าสีที่เข้มขึ้นมีแนวโน้มไปทางน้ำมันรำข้าวมากกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การวัดค่า L* a* b* (color measurement) ของเฟรนช์ฟรายส์ภายหลังการทอดพบว่า สัดส่วนของน้ำมันทั้ง 5 สัดส่วนไม่มีผลต่อสีของเฟรนช์ฟรายส์ เนื่องจากมีแนวโน้มของค่าสี L*a* มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่ค่า L*(ค่า L* คือค่าความสว่าง) มีแนวโน้มลดลง ซึ่งแสดงว่า เมื่อทอดครบ 15 วัน เฟรนช์ ฟรายส์จะมีสีเข้มขึ้น ส่วนค่า a* (ค่า a* ที่เป็นบวก (+) บอกความเป็นสีแดง) เพิ่มสูงขึ้น ค่า a* มีค่าสีแดงมากขึ้น และค่า b* (ค่า b* ที่เป็นบวก (+) บอกความเป็นสีเหลือง) เมื่อทอดครบ 15 วัน ไม่สามารถบอกแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงของการหาค่า b* ได้ เนื่องจากค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ที่ได้จากกราฟมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะเมื่อใช้สัดส่วนผสมน้ำมันรำข้าวเพิ่มมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

7. การอมน้ำมัน (ด้วยวิธี Soxhlet extraction) เมื่อทอดเฟรนช์ฟรายส์ในน้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มในสัดส่วน 100:0 75:25 50:50 25:75 0:100 การทอดที่ระยะเวลาจำนวนวันเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณน้ำมันในเฟรนช์ฟรายส์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราคงที่เป็นเส้นตรง โดยเปอร์เซ็นต์การอมน้ำมันของเฟรนช์ฟรายส์ค่าเริ่มต้นและเมื่อทอดครบ 15 วันในการทอดโดยใช้น้ำมันรำข้าว:น้ำมันปาล์มโอเลอีน 100:0 75:25 50:50 25:75 และ0:100 คือ 27.64-38.01 27.83-36.10 26.80-33.93 25.46-34.20 และ 30.10-34.50 ตามลำดับ โดยเปอร์เซ็นต์การอมน้ำมันสูงยิ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

นุช ผลนาค. 2545. **ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอาหารขบเคี้ยวจากกระบวนการทอด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นัยนา บุญทวียุวัฒน์ และ เรวดี จงสุวัฒน์. 2545. **น้ำมันรำข้าวทางเลือกเพื่อสุขภาพของคนไทย**. โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ.

เนื้อทอง วนานุวัธ. 2539. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร**. คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 504 น.

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

สุพรรณิกา เวียนทอง. 2548. **การประเมินคุณภาพของน้ำมันปาล์มโดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มสเปกโทรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด** . วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรินทร์ วัฒนพูล. 2547. **การปรับปรุงคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันปาล์มโอเลอีนผสมกับน้ำมันรำข้าว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม. 2516. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันรำสำหรับบริโภค**. มอก.44-2516.

_____ . **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันถั่วเหลืองสำหรับบริโภค**. มอก. 176-2519.

_____ . **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค**. มอก. 47-2533.

_____ . **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค.** มอก. 288-2535.

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

Boskou, D. and I. Elmadfa. 1999. **Frying of Food**. Technomic Publishing Company, Inc.,U.S.A.

Fellow, P.J. 1990. **Food Processing Technology Principle and Practice.** Ellis Horwood Limited. 505 p.

Leszkowiat, M.J., V. Barichello, R.Y. Yada, R.H. Coffin, E.C. Loughhed and D.W. Stanley. 1990. Contribution of sucrose to nonenzymatic browning in potato chips. **J. Food Sci.** 55(1):253-268.

Lichtenstein, A.H. 1997. **Trans fatty acids, plasma lipid levels, and risk of developing cardio vascular disease**. [Online] Available: http://www.americanheart.org/presenter.jhtml?identifier=1728. (2006/12/07).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

McGill, E.A. 1980. **The Chemistry of Frying.** Bakers Digest. 6(62):38-42.

Melton, S.L., S., Jafar, D., Sykes and M.K.,Tigriano. 1994. Review of stability measurements for frying oils and fried food flavor. **JAOCS**. 71:1301-1308.

Machlin. L.J. 1990. Handbook of Vitamin. Marcel Dekker, New York, P.99-144

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

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

Perkins, E.G. and M.D. Erickson. 1996. **Deep Frying:Chemistry, Nutrition and Practical Applications.** AOCS Press, Illinois. 357p

Pokorny, J. 1999. Change of nutrients at frying temperatures, pp 69-103.In B. Dimitrios and E. Ibrahim (eds). Frying of food: oxidation, nutrient and non-nutrient antioxidants, biologically active compounds and high temperatures. Technomic Publishing, Loncaster. 276p.

Razali, l. and Badri, M. 2003. Oil Absorption Polymer and Polar Compounds Formation During Deep-Frying of French Fries in Vegetable Oils. **Palm oil development**. vol.38,P.12.

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

Rossell, J.B. 2001. **Frying Improving Quality.** Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England. 369p.

Stevenson, S.G., M. Vaisey-Genser and N.A.H. Eskin. 1984. Quality control in the use of deep frying oils. **JAOCS.** 61:1103.

Tyagi, V.K. and A.K. Vasishtha. 1996. Changes in the Characteristics and Composition of Oils during Deep-Fat Frying. **JAOCS**. 73(4): 499-506.

Warner, K. 1997. **Chemistry of frying fats.** In Akoh C.C. and Min D.B. Food Lipids Chemistry, Nutrition, and Biotechnology. Mercel Dekker Inc.

Weiss, T. J. 1983. **Food Oils and Their Uses**. AVI Publishing Co., Westport, CT.

White, P.J. 2000. **Fatty acids in oilseeds (vegetable oils)**. In Fatty acids in Goods and Other Health Implications. Chow, C.K. (ED.), 2nd edition, revised and expanded. Marcel Dekker, Inc., New York,. :229-238.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ก1. วิธีวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (AOCS Ca 5a-40) (1997)

1.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1.1.1 เครื่องแก้ว

1.1.2 สารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ 95%

1.1.3 สารละลายฟีนอล์ฟธาลีน 1% ในเอธิลแอลกอฮอล์ 95%

1.1.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.2 วิธีวิเคราะห์

1.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมันโดยใช้ปริมาณตามตารางที่ 1 ใส่ฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร

ตารางที่ ก1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ ปริมณแอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของด่าง

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

1.2.2 เติมสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ 95% ตามปริมาณที่เหมาะสมดังพิจารณาจากตารางที่ ก1 โดยสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องผ่านการทำให้เป็นกลางแล้ว (Neutralized) โดยการเติมสารละลายฟีนอล์ฟธาลีน 2 มิลลิลิตร และไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนสารละลายมีสีชมพูอ่อนแล้วจึงนำไปทำให้ร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

1.2.3 เติมสารละลายฟีนอล์ธาลีนซึ่งใช้เป็นอินดิเคเตอร์ 2 มิลลิลิตร

1.2.4 ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ จะสามารถพิจารณาจากตารางที่ ก1 จนได้สารละลายสีชมพูคงตัว 30 วินาที

1.2.5 บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

1.2.6 คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (%) (คิดในรูปของ oleic acid) = 28.2 VN / W

ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (%) (คิดในรูปของ palmitic acid) = 25.6 VN / W

ปริมาณของกรดไขมันอิสระ (%) (คิดในรูปของ lauric acid) = 20.0 VN / W

เมื่อ V = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มิลลิลิตร

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอร์มัล

W = น้ำหนักของตัวอย่าง กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก2. วิธีวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ (AOCS Cd 8-53) (1997)

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

2.1.1 เครื่องแก้ว

2.1.2 สารละลายผสมอะซิติก : คลอโรฟอร์ม (3:2)

2.1.3 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)

2.1.4 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล

2.1.5 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.01 นอร์มัล

2.1.6 สารละลายน้ำแป้ง (indicator) ความเข้มข้น 1%

2.2 วิธีวิเคราะห์

2.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 5.00±0.05 กรัมใส่ในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2.2.2 เติมสารละลายผสมอะซิติก : คลอโรฟอร์ม (3:2) 30 มิลลิลิตร

2.2.3 เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 0.5 มิลลิลิตร

2.2.4 เขย่าสารละลายเป็นเวลา 1 นาที และเติมน้ำกลั่นทันที 30 มิลลิลิตร

2.2.5 ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.01 นอร์มอล จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อน และเติมสารละลายน้ำแป้ง 2 มิลลิลิตร และไทเทรตต่อจนสารละลายสีน้ำเงินจางหายไป

2.2.6 บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ที่ใช้ในการไทเทรต

2.2.7 ทำสารละลาย blank ตามวิธีเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้นแต่ไม่ใส่ตัวอย่างน้ำมัน

2.2.8 คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์

$$\text{ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิอิควิวาเลนต์ต่อกิโลกรัม)} = \frac{(S - B) \times N \times 1000}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

S = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก3. วิธีวิเคราะห์สี (AOCS Ce 13c-50) (1997)

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

3.1.2 คิวเวตแก้ว

3.1.3 กระดาษกรอง

3.1.4 สารละลายเมธิลีนคลอไรด์ (Methylene chloride)

3.1.5 สารละลายนิกเกิลซัลเฟต (Nickel sulfate solution)

3.1.6 สารละลายไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid)

3.1.7 Diatomaceous earth

3.2 การ Calibration เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

3.2.1 เปิดเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่ออุ่นเครื่องเป็นเวลาประมาณ 15 นาที

3.2.2 ปรับให้เครื่องอ่านค่าเป็นศูนย์

3.2.3 ปรับไปที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ปรับให้เครื่องอ่านค่าเป็นศูนย์ แล้วใส่คิวเวตที่มีสารละลายเมธิลีนคลอไรด์และเซตให้ transmittance เป็น 100%

3.2.4 ใส่คิวเวตที่มีสารละลายนิกเกิลซัลเฟตและวัด transmittance ของสารละลายค่าควรอยู่ในช่วง 24.2 - 28.2 %

3.2.5 ปรับไปที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตรและวัด transmittance ของสารละลายนิกเกิลซัลเฟต ค่าควรอยู่ในช่วง 53.8 – 55.8 % และทำเช่นเดียวกันกับความยาวคลื่นอื่นๆ ดังตารางที่ ก3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3 การคาลิเบรทเครื่องสเปรกโตโฟโตมิเตอร์

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

3.3 วิธีวิเคราะห์

3.3.1 ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 300 กรัม เติม Diatomaceous earth 0.5 กรัม

3.3.2 กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 2.5 นาที

3.3.3 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยวัดความยาวคลื่นที่ 460, 550, 620 และ 670 นาโนเมตร

3.3.4 คำนวณค่าสี

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

4.1 อุปกรณ์และสารเคมี

4.1.1 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

4.1.2 เครื่องสกัดซอกซ์เล็ต (Soxhlet apparatus)

4.1.3 ทิมเบิล (thimble) และบิกเกอร์ไขมัน

4.1.4 ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้

4.1.5 โถดูดความชื้น (desiccator)

4.1.6 Boiling chip จำนวน 2 เม็ด

4.1.7 ปิโตเลียมอีเทอร์ 40/60

4.2 วิธีวิเคราะห์

4.2.1 นำสารตัวอย่างไปอบไล่ความชื้นที่ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1-2 ชั่วโมง ทำให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องในโถอบความชื้น ชั่งสารตัวอย่างนี้ 5.00-10.00 กรัม บันทึกน้ำหนัก

4.2.2 อบบิกเกอร์ที่ 105 องศาเซลเซียส ทำให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องในโถอบความชื้น ชั่งบิกเกอร์ด้วยน้ำหนักละเอียด บันทึกน้ำหนักที่ชั่งไว้

4.2.3 สามารถเลือกใส่สารตัวอย่างลงใน extraction thimble ได้ 2 แบบ ดังนี้

4.2.3.1 นำสำลีที่ปราศจากไขมัน เกลี่ยบางๆ ลองที่ก้นของ extraction thimble ก่อนชั่งสารตัวอย่างใส่ลงไป กรณีที่ไม่ต้องการห่อสารตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง จะช่วยให้ทำความสะอาดง่าย เมื่อทำการทดลองเสร็จเรียบร้อยแล้ว

4.2.3.2 ชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างละเอียดแล้วห่อด้วยกระดาษกรองที่ปราศจากไขมันพับใส่ใน extraction thimble เพื่อทำการสกัดหาปริมาณไขมันต่อไป

4.2.4 เทตัวทำละลาย Petroleum ether 140 มิลลิลิตร ลงในบิกเกอร์นำ extraction thimble ประกอบเข้ากับ holder วางลงในบิกเกอร์ แล้วนำไปประกอบเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ไขมัน รุ่น S306 AK ตั้งโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ไขมัน

4.2.5 หลังจากวิเคราะห์แล้ว ทิ้งไว้ให้เย็นสักครู่จึงนำบิกเกอร์ที่มีคราบไขมันสีเหลืองอ่อน ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถอบความชื้น จากนั้นนำออกมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียดบันทึกน้ำหนักที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 การคำนวณหาเปอร์เซ็นไขมัน คำนวณจากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{(B - A) \times 100}{C}$$

A = น้ำหนักของบิกเกอร์ก่อนสกัด (กรัม)

B = น้ำหนักของบิกเกอร์หลังสกัด (กรัม)

C = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก5 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 1998)

5.1 อุปกรณ์

5.1.1 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

5.1.2 ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา (Aluminium can)

5.1.3 ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้

5.1.4 โถดูดความชื้น (desiccator)

5.1.5 ที่คีบ (Tong)

5.2 วิธีวิเคราะห์

5.2.1 นำถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา ไปอบที่อุณหภูมิ 130±3 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบ ใส่โถดูดความชื้น (desiccator) ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งจนได้น้ำหนักที่แน่นอน (4 ตำแหน่ง)

5.2.2 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอาหารที่บดแล้ว 3.0000 – 5.0000 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียม

5.2.3 นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 – 3 ชั่วโมง

5.2.4 เมื่อครบเวลา ปิดฝา นำมาทำให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccator) ก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก อบซ้ำอีกครั้งๆ ละครึ่งชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ หรือผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้ 2 ครั้งต้องแตกต่างกันไม่เกิน 0.003 – 0.005 กรัม

5.2.5 เก็บตัวอย่างไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน

5.2.6 คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{(A - B) \times 100}{A}$$

A = น้ำหนักสด

B = น้ำหนักแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 1ข ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันสัดส่วนต่างๆ ภายหลังการใช้ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน

ค่ากรดไขมันอิสระ (mg KOH/ 1 g oil) น้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน															
วันที่	100:0			75:25			50:50			25:75			0:100		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
1	0.17	0.14	**0.16**	0.17	0.11	**0.14**	0.17	0.11	**0.14**	0.17	0.14	**0.16**	0.22	0.17	**0.20**
2	0.17	0.14	**0.16**	0.17	0.14	**0.16**	0.23	0.11	**0.17**	0.17	0.17	**0.17**	0.17	0.20	**0.19**
3	0.25	0.17	**0.21**	0.31	0.17	**0.24**	0.20	0.17	**0.19**	0.17	0.17	**0.17**	0.20	0.22	**0.21**
4	0.25	0.23	**0.24**	0.28	0.20	**0.24**	0.22	0.20	**0.21**	0.23	0.20	**0.22**	0.25	0.20	**0.23**
5	0.20	0.14	**0.17**	0.39	0.17	**0.28**	0.37	0.14	**0.26**	0.25	0.20	**0.23**	0.31	0.25	**0.28**
6	0.20	0.14	**0.17**	0.37	0.17	**0.27**	0.31	0.20	**0.26**	0.28	0.20	**0.24**	0.23	0.28	**0.26**
7	0.28	0.20	**0.24**	0.28	0.25	**0.27**	0.28	0.28	**0.28**	0.28	0.20	**0.24**	0.28	0.34	**0.31**
8	0.20	0.23	**0.22**	0.31	0.20	**0.26**	0.25	0.25	**0.25**	0.28	0.28	**0.28**	0.28	0.28	**0.28**
9	0.23	0.20	**0.22**	0.25	0.20	**0.23**	0.31	0.23	**0.27**	0.34	0.23	**0.29**	0.31	0.36	**0.34**
10	0.20	0.20	**0.20**	0.28	0.25	**0.27**	0.28	0.28	**0.28**	0.28	0.28	**0.28**	0.28	0.37	**0.33**
11	0.23	0.26	**0.25**	0.28	0.28	**0.28**	0.31	0.34	**0.33**	0.28	0.37	**0.33**	0.28	0.40	**0.34**
12	0.23	0.28	**0.26**	0.28	0.37	**0.33**	0.34	0.37	**0.36**	0.31	0.34	**0.33**	0.28	0.51	**0.40**
13	0.28	0.28	**0.28**	0.28	0.31	**0.30**	0.34	0.39	**0.37**	0.34	0.37	**0.36**	0.37	0.37	**0.37**
14	0.28	0.28	**0.28**	0.31	0.45	**0.38**	0.42	0.40	**0.41**	0.31	0.45	**0.38**	0.34	0.48	**0.41**
15	0.28	0.40	**0.34**	0.39	0.48	**0.44**	0.40	0.40	**0.40**	0.28	0.54	**0.41**	0.39	0.67	**0.53**

ตารางที่ 2ข ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันสัดส่วนต่างๆ ภายหลังการใช้ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน

ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq. Peroxide/ 1 kg oil) น้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน															
วันที่	100:0			75:25			50:50			25:75			0:100		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
1	0.00	1.72	**0.86**	1.73	3.47	**2.60**	3.44	3.47	**3.46**	5.13	5.12	**5.13**	3.43	6.81	**5.12**
2	1.71	1.73	**1.72**	1.73	3.43	**2.58**	3.43	3.46	**3.45**	5.19	5.12	**5.16**	6.91	6.87	**6.89**
3	1.72	1.70	**1.71**	1.71	3.43	**2.57**	3.42	3.41	**3.42**	5.12	5.12	**5.12**	6.83	6.84	**6.84**
4	1.72	3.43	**2.58**	3.45	3.42	**3.44**	3.41	3.46	**3.44**	3.43	5.19	**4.31**	6.92	5.21	**6.07**
5	1.73	3.42	**2.58**	3.41	5.15	**4.28**	5.15	5.18	**5.17**	3.46	5.19	**4.33**	6.92	5.19	**6.06**
6	1.73	3.49	**2.61**	3.43	5.12	**4.28**	5.16	5.17	**5.17**	3.46	5.13	**4.30**	5.13	5.09	**5.11**
7	1.71	3.45	**2.58**	3.45	5.20	**4.33**	5.13	5.21	**5.17**	3.47	5.16	**4.32**	5.18	6.81	**6.00**
8	1.73	3.45	**2.59**	6.83	5.16	**6.00**	5.17	5.20	**5.19**	5.13	5.16	**5.15**	5.15	6.87	**6.01**
9	1.72	3.45	**2.59**	6.87	5.20	**6.04**	5.19	5.16	**5.18**	5.14	5.16	**5.15**	6.87	8.57	**7.72**
10	1.71	5.20	**3.46**	6.81	5.17	**5.99**	6.84	5.15	**6.00**	5.16	5.18	**5.17**	6.94	8.63	**7.79**
11	3.45	5.12	**4.29**	6.87	6.92	**6.90**	6.95	5.14	**6.05**	6.85	5.20	**6.03**	6.92	8.67	**7.80**
12	3.43	5.18	**4.31**	6.91	6.87	**6.89**	6.89	5.17	**6.03**	6.83	8.63	**7.73**	6.84	8.65	**7.75**
13	5.19	6.91	**6.05**	6.89	6.83	**6.86**	6.94	5.13	**6.04**	6.95	8.62	**7.79**	8.69	8.51	**8.60**
14	5.14	6.94	**6.04**	6.89	6.87	**6.88**	6.92	5.18	**6.05**	6.91	8.53	**7.72**	8.67	8.60	**8.64**
15	5.18	6.88	**6.03**	6.88	6.95	**6.92**	6.92	6.87	**6.90**	6.85	8.69	**7.77**	8.51	8.58	**8.55**

ตารางที่ 3ข ปริมาณสารประกอบมีขั้วของน้ำมันสัดส่วนต่างๆ ภายหลังการใช้ในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน

วันที่	เปอร์เซ็นต์ปริมาณสารประกอบมีขั้ว น้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน					
	Liquid R:P 100:0			Solid R:P 0:100		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
1	5.50	3.50	**4.50**	11.00	11.00	**11.00**
2	7.00	6.00	**6.50**	11.00	12.50	**11.75**
3	6.00	7.00	**6.50**	12.00	13.50	**12.75**
4	6.50	7.50	**7.00**	13.00	14.50	**13.75**
5	6.00	9.00	**7.50**	14.00	13.00	**13.50**
6	5.00	11.00	**8.00**	15.50	14.50	**15.00**
7	7.00	13.00	**10.00**	16.50	16.50	**16.50**
8	7.00	14.50	**10.75**	17.50	16.50	**17.00**
9	6.50	15.00	**10.75**	18.50	19.00	**18.75**
10	4.50	17.50	**11.00**	19.00	21.00	**20.00**
11	5.50	18.50	**12.00**	19.50	23.00	**21.25**
12	7.00	22.00	**14.50**	20.00	24.00	**22.00**
13	9.50	23.50	**16.50**	24.00	24.50	**24.25**
14	11.00	26.00	**18.50**	23.50	26.50	**25.00**
15	11.00	27.50	**19.25**	24.50	27.50	**26.00**

ตารางที่ 4ข ค่าสีของน้ำมันสัดส่วนต่างๆในการทอดเฟรนช์ฟรายส์ 15 วัน

ค่าสีของน้ำมัน น้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน															
วันที่	100:0			75:25			50:50			25:75			0:100		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
1	2.4083	3.0495	**2.73**	2.6519	3.5046	**3.08**	2.7591	3.5294	**3.14**	2.8478	3.0960	**2.97**	3.0015	3.1765	**3.09**
2	2.6322	3.4134	**3.02**	2.7801	3.4972	**3.14**	3.1907	3.7328	**3.46**	3.4712	3.7427	**3.61**	3.3490	3.3436	**3.35**
3	2.7365	3.3744	**3.06**	3.0544	3.6557	**3.36**	3.5167	3.8872	**3.70**	3.5661	3.6205	**3.59**	3.4851	3.3455	**3.42**
4	3.0879	3.6482	**3.37**	3.2527	4.3907	**3.82**	3.5220	3.9607	**3.74**	4.1624	3.7942	**3.98**	3.5096	3.3414	**3.43**
5	3.0259	3.6598	**3.34**	3.4526	4.1759	**3.81**	3.7868	3.7747	**3.78**	4.2388	3.7958	**4.02**	3.5064	3.3762	**3.44**
6	3.4046	3.3674	**3.39**	3.5440	3.8005	**3.67**	4.0491	3.8405	**3.94**	4.6161	3.8353	**4.23**	3.5206	3.4318	**3.48**
7	3.4869	3.4613	**3.47**	3.7191	3.8650	**3.79**	4.3355	3.7663	**4.05**	4.7628	3.7313	**4.25**	3.5111	3.4648	**3.49**
8	3.7710	3.9076	**3.84**	3.8791	4.4023	**4.14**	4.4747	3.7869	**4.13**	5.2076	3.6087	**4.41**	3.5395	3.5501	**3.54**
9	3.9310	3.9528	**3.94**	4.0562	4.3665	**4.21**	4.6221	3.9026	**4.26**	5.3624	3.5932	**4.48**	3.5457	3.5613	**3.55**
10	4.0436	4.1502	**4.10**	4.1972	4.3611	**4.28**	4.8212	3.8481	**4.33**	5.5575	3.6445	**4.60**	3.5471	3.5706	**3.56**
11	4.3129	4.239	**4.28**	4.2075	4.4733	**4.34**	4.4250	3.9275	**4.18**	5.4851	3.7344	**4.61**	3.5874	3.6186	**3.60**
12	4.7565	4.3515	**4.55**	4.2717	4.6655	**4.47**	4.7968	4.1634	**4.48**	5.3870	3.8871	**4.64**	3.6229	3.7728	**3.70**
13	4.9863	4.4862	**4.74**	5.1246	4.6733	**4.90**	4.7337	4.4632	**4.60**	4.8143	4.4278	**4.62**	3.7703	3.8799	**3.83**
14	5.0643	4.9053	**4.98**	4.4321	5.3112	**4.87**	4.8024	5.4979	**5.15**	4.9814	4.5723	**4.78**	3.8022	4.6243	**4.21**
15	5.4907	5.5089	**5.50**	4.7945	5.7625	**5.28**	5.2446	5.2560	**5.25**	5.3169	5.2948	**5.31**	4.2402	4.8593	**4.55**

ตารางที่ 5ข ค่าสี L* ของเฟรนช์ฟรายส์ในการทอด 15 วันในน้ำมันสัดส่วนต่างๆ

วันที่	ค่าสี L* ของเฟรนช์ฟรายส์ น้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน														
	L*/1	L*/2	เฉลี่ยL*100:0	L*/1	L*/2	เฉลี่ยL*75:25	L*/1	L*/2	เฉลี่ยL*50:50	L*/1	L*/2	เฉลี่ยL*25:75	L*/1	L*/2	เฉลี่ยL*0:100
1	66.86	62.35	**64.61**	64.32	68.26	**66.29**	66.57	65.63	**66.10**	63.54	63.31	**63.43**	62.30	63.58	**62.94**
2	62.55	67.40	**64.98**	66.87	64.91	**65.89**	62.38	68.15	**65.27**	59.71	65.06	**62.39**	66.31	65.42	**65.87**
3	63.66	67.67	**65.67**	66.43	64.71	**65.57**	67.06	65.20	**66.13**	61.68	68.18	**64.93**	63.23	69.04	**66.14**
4	64.56	62.59	**63.58**	65.43	67.33	**66.38**	61.19	63.66	**62.43**	62.90	59.54	**61.22**	61.37	61.26	**61.32**
5	61.83	59.98	**60.91**	60.38	69.80	**65.09**	61.58	64.42	**63.00**	63.70	62.81	**63.26**	63.90	65.55	**64.73**
6	63.03	66.92	**64.98**	59.43	64.66	**62.05**	59.99	57.69	**58.84**	59.13	65.86	**62.50**	63.05	63.21	**63.13**
7	57.53	62.89	**60.21**	66.55	62.45	**64.50**	54.38	56.75	**55.57**	59.48	63.79	**61.64**	59.59	59.97	**59.78**
8	58.86	62.68	**60.77**	55.03	63.14	**59.09**	59.95	62.15	**61.05**	63.11	61.60	**62.36**	62.88	63.19	**63.04**
9	65.52	62.21	**63.87**	59.49	63.05	**61.27**	60.18	56.44	**58.31**	56.06	57.16	**56.61**	59.43	56.07	**57.75**
10	55.89	61.36	**58.63**	55.51	61.76	**58.64**	61.13	56.10	**58.62**	62.93	58.78	**60.86**	62.15	59.69	**60.92**
11	58.37	57.13	**57.75**	59.70	58.00	**58.85**	60.07	61.56	**60.82**	60.62	56.37	**58.50**	56.28	58.02	**57.15**
12	58.58	57.15	**57.87**	56.77	54.73	**55.75**	59.28	54.83	**57.06**	57.07	56.27	**56.67**	59.63	54.77	**57.20**
13	51.94	57.48	**54.71**	55.90	52.30	**54.10**	51.65	56.69	**54.17**	59.43	53.02	**56.23**	57.68	53.53	**55.61**
14	49.12	49.97	**49.55**	53.66	52.81	**53.24**	51.93	55.61	**53.77**	54.37	54.01	**54.19**	57.57	52.90	**55.24**
15	54.91	53.07	**53.99**	58.53	51.39	**54.96**	56.57	49.99	**53.28**	55.69	52.93	**54.31**	52.40	53.52	**52.96**

ตารางที่ 6ข ค่าสี a* ของเฟรนช์ฟรายส์ในการทอด 15 วันในน้ำมันสัดส่วนต่างๆ

วันที่	ค่าสี a* ของเฟรนช์ฟรายส์ น้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน														
	a*/1	a*/2	เฉลี่ยa*100:0	a*/1	a*/2	เฉลี่ยa*75:25	a*/1	a*/2	เฉลี่ยa*50:50	a*/1	a*/2	เฉลี่ยa*25:75	a*/1	a*/2	เฉลี่ยa*0:100
1	1.45	2.74	**2.10**	3.00	0.85	**1.93**	1.55	1.96	**1.76**	1.77	1.74	**1.76**	2.83	1.56	**2.20**
2	1.81	0.65	**1.23**	1.55	2.34	**1.95**	2.37	0.77	**1.57**	1.87	1.49	**1.68**	1.60	0.95	**1.28**
3	1.45	0.75	**1.10**	2.34	0.50	**1.42**	2.01	1.17	**1.59**	2.26	0.80	**1.53**	2.31	0.46	**1.39**
4	1.59	1.46	**1.53**	1.21	1.16	**1.19**	1.65	2.14	**1.90**	0.65	2.20	**1.43**	0.98	2.15	**1.57**
5	2.58	2.15	**2.37**	1.04	1.16	**1.10**	1.05	1.83	**1.44**	1.82	1.09	**1.46**	0.55	0.37	**0.46**
6	1.22	0.65	**0.94**	1.14	1.76	**1.45**	0.54	2.48	**1.51**	2.08	0.99	**1.54**	1.82	1.61	**1.72**
7	1.82	1.76	**1.79**	1.79	2.28	**2.04**	2.97	3.14	**3.06**	3.92	1.59	**2.76**	1.42	1.57	**1.50**
8	3.07	1.24	**2.16**	1.89	1.03	**1.46**	1.94	0.95	**1.45**	1.73	3.74	**2.74**	3.42	0.66	**2.04**
9	2.04	1.61	**1.83**	2.47	1.69	**2.08**	2.43	3.22	**2.83**	4.15	1.84	**3.00**	4.36	2.80	**3.58**
10	2.38	3.71	**3.05**	2.36	3.39	**2.88**	1.83	4.75	**3.29**	2.61	1.61	**2.11**	3.37	2.46	**2.92**
11	4.05	4.36	**4.21**	2.52	4.75	**3.64**	3.47	3.81	**3.64**	2.41	3.15	**2.78**	2.06	4.10	**3.08**
12	3.26	3.40	**3.33**	5.45	7.59	**6.52**	4.72	2.23	**3.48**	4.07	3.50	**3.79**	3.31	3.32	**3.32**
13	4.03	7.10	**5.57**	2.91	5.26	**4.09**	5.63	4.90	**5.27**	4.07	4.13	**4.10**	3.27	6.26	**4.77**
14	5.35	3.69	**4.52**	3.81	7.20	**5.51**	3.43	6.94	**5.19**	5.48	6.54	**6.01**	5.58	7.28	**6.43**
15	5.85	7.05	**6.45**	4.75	8.21	**6.48**	5.14	10.06	**7.60**	5.58	7.51	**6.55**	8.29	7.86	**8.08**

ตารางที่ 7ข ค่าสี b* ของเฟรนช์ฟรายส์ในการทอด 15 วันในน้ำมันสัดส่วนต่างๆ

วันที่	ค่าสี b* ของเฟรนช์ฟรายส์ น้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน														
	b*/1	b*/2	**เฉลี่ยb*100:0**	b*/1	b*/2	**เฉลี่ยb*75:25**	b*/1	b*/2	**เฉลี่ยb*50:50**	b*/1	b*/2	**เฉลี่ยb*25:75**	b*/1	b*/2	**เฉลี่ยb*0:100**
1	19.80	23.49	**21.65**	24.58	21.26	**22.92**	21.74	20.61	**21.18**	19.68	21.90	**20.79**	22.99	19.77	**21.38**
2	19.13	20.25	**19.69**	18.69	22.47	**20.58**	20.67	20.51	**20.59**	20.94	23.45	**22.20**	21.44	18.83	**20.14**
3	17.27	20.80	**19.04**	23.38	16.20	**19.79**	23.75	19.38	**21.57**	19.85	21.15	**20.50**	17.15	21.62	**19.39**
4	21.35	22.52	**21.94**	20.30	22.10	**21.20**	19.24	22.72	**20.98**	18.28	20.67	**19.48**	18.99	24.37	**21.68**
5	29.60	17.71	**23.66**	16.81	23.06	**19.94**	18.02	21.02	**19.52**	25.48	20.21	**22.85**	21.80	20.13	**20.97**
6	19.12	21.45	**20.29**	19.33	20.30	**19.82**	17.18	20.85	**19.02**	21.68	20.96	**21.32**	23.44	20.36	**21.90**
7	20.23	20.30	**20.27**	26.39	20.80	**23.60**	21.57	20.12	**20.85**	23.41	20.19	**21.80**	19.85	19.85	**19.85**
8	20.08	20.32	**20.20**	16.80	18.34	**17.57**	20.62	19.31	**19.97**	22.73	20.70	**21.72**	25.72	16.13	**20.93**
9	24.20	21.68	**22.94**	22.40	22.59	**22.50**	21.55	22.83	**22.19**	24.05	20.68	**22.37**	26.17	21.83	**24.00**
10	18.22	26.46	**22.34**	19.21	24.81	**22.01**	19.00	26.92	**22.96**	22.15	21.27	**21.71**	22.12	23.05	**22.59**
11	26.64	24.95	**25.80**	24.58	24.86	**24.72**	23.90	26.62	**25.26**	24.35	22.52	**23.44**	19.80	25.41	**22.61**
12	23.51	23.15	**23.33**	25.96	24.06	**25.01**	27.98	22.14	**25.06**	24.99	22.75	**23.87**	24.69	23.64	**24.17**
13	19.31	28.17	**23.74**	22.30	22.31	**22.31**	21.24	22.35	**21.80**	25.97	19.87	**22.92**	23.28	22.11	**22.70**
14	19.62	18.38	**19.00**	18.06	24.49	**21.28**	16.22	26.35	**21.29**	21.47	28.13	**24.80**	23.35	24.13	**23.74**
15	22.90	25.92	**24.41**	20.72	23.87	**22.30**	19.67	24.53	**22.10**	19.67	25.64	**22.66**	20.17	24.39	**22.28**

ตารางที่ 8ข ปริมาณเปอร์เซ็นต์ไขมันของเฟรนช์ฟรายส์ในการทอด 15 วันในสัดส่วนต่างๆ

ปริมาณเปอร์เซ็นต์ไขมันของเฟรนช์ฟรายส์ น้ำมันรำข้าว : น้ำมันปาล์มโอเลอีน															
วันที่	100:0			75:25			50:50			25:75			0:100		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
1	28.5254	26.7461	**27.64**	27.2565	28.3988	**27.83**	24.2189	29.3877	**26.80**	27.9734	22.9561	**25.46**	32.2923	27.9112	**30.10**
2	29.9565	26.8770	**28.42**	29.3863	28.9104	**29.15**	25.2777	30.5515	**27.91**	30.4058	26.5230	**28.46**	26.3579	27.5320	**26.94**
3	30.0011	26.9158	**28.46**	28.9739	25.9379	**27.46**	28.5469	30.1972	**29.37**	29.0019	29.1674	**29.08**	28.0024	27.5008	**27.75**
4	30.8658	27.2163	**29.04**	27.1821	26.6791	**26.93**	29.3362	30.2492	**29.79**	27.1361	29.3778	**28.26**	30.8334	30.5398	**30.69**
5	30.8505	27.0461	**28.95**	30.1118	25.7225	**27.92**	27.2011	30.6634	**28.93**	32.4288	27.1639	**29.80**	32.9540	30.2672	**31.61**
6	30.6326	26.8073	**28.72**	29.4819	28.9260	**29.20**	34.2644	30.3145	**32.29**	29.9505	28.5200	**29.24**	29.9153	27.8304	**28.87**
7	33.7652	29.7423	**31.75**	34.9037	26.9904	**30.95**	35.5060	30.1448	**32.83**	32.1442	31.9379	**32.04**	33.7845	28.9007	**31.34**
8	33.9039	29.9143	**31.91**	35.6668	26.3900	**31.03**	34.0419	30.1298	**32.09**	32.6061	27.3856	**30.00**	33.7326	27.0489	**30.39**
9	34.0607	29.7839	**31.92**	35.7872	31.1850	**33.49**	34.9952	30.2147	**32.60**	32.4007	30.4892	**31.44**	31.4175	28.3765	**29.90**
10	34.1331	29.5453	**31.84**	35.5650	29.4826	**32.52**	31.7310	30.6636	**31.20**	30.4497	30.3833	**30.42**	34.9737	28.5474	**31.76**
11	35.9624	27.0033	**31.48**	34.2252	30.6342	**32.43**	31.2490	29.7655	**30.51**	31.1387	29.5271	**30.33**	31.1803	29.1519	**30.17**
12	35.9970	27.9931	**32.00**	34.3216	32.1790	**33.25**	34.7362	29.2614	**32.00**	30.8782	29.9327	**30.41**	33.9105	32.4022	**33.16**
13	32.6540	33.4704	**33.06**	37.2640	30.9664	**34.12**	33.2967	31.1293	**32.21**	32.1178	30.1689	**31.14**	34.6007	31.6706	**33.14**
14	36.3090	33.4507	**34.88**	35.2939	35.4730	**35.38**	35.4628	31.9149	**33.69**	36.2523	37.2431	**36.75**	33.3385	34.2051	**33.77**
15	38.9990	37.0307	**38.01**	35.4613	36.7440	**36.10**	36.0093	31.8449	**33.93**	33.8700	34.5327	**34.20**	35.2849	33.7063	**34.50**